

ЭКОЛОГИЯ

Ч Е Л О В Е К А

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

01.2019

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Адрес типографии:

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

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

Подписано в печать 28.12.18. Дата выхода в свет 15.01.19. Формат 60×90/8. Печать цифровая.

Уч.-изд. л. 6,7. Тираж 1000 экз., зак. 2063.

Индекс 20454. Цена свободная

© Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

HUMAN

ECOLOGY

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC JOURNAL

01.2019

Publisher - Northern State Medical University
In continuous publication since 1994

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

- Самойлов А. С., Ушаков И. Б., Шуршаков В. А.**
Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных
космических полётах: мониторинг и защита 4
- Сальникова Е. В., Бурцева Т. И., Скальный А. В.**
Микроэлементный статус населения Оренбургской области..... 10
- Цыганков В. Ю., Ярыгина М. В., Лукьянова О. Н.,
Боярова М. Д., Ерофеева Н. И., Гамова С. В., Гумовский А. Н.**
Следовые концентрации хлорорганических соединений
в биологических жидкостях жителей
юга Дальнего Востока России..... 15

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

- Киричук А. А., Радыш И. В., Чижов А. Я.**
Активность, дисбаланс и адаптационные реакции
функциональных систем организма иностранных студентов
Российского университета дружбы народов
в условиях мегаполиса..... 20

СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Павленко В. И., Петров А., Куценко С. Ю., Деттер Г. Ф.**
Коренные малочисленные народы Российской Арктики
(проблемы и перспективы развития) 26

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Куликова О. И., Федорова Т. Н., Кузнецов В. И.,
Орлова В. С.**
Экзогенные факторы риска возникновения
болезни Паркинсона 34
- Никифоров Д. В., Межова Л. А., Кульнев В. В.,
Луговской А. М., Никанов А. Н., Кизеев А. Н., Репина Е. М.**
Здоровье населения радоноопасных территорий 40

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Егошин В. Л., Иванов С. В., Саввина Н. В.,
Капанова Г. Ж., Жамалиева Л. М., Гржибовский А. М.**
Анализ категориальных данных с использованием
программной среды R 51

УДК 613.693 + 614.876

РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В ОРБИТАЛЬНЫХ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТАХ: МОНИТОРИНГ И ЗАЩИТА

© 2019 г. А. С. Самойлов, И. Б. Ушаков, *В. А. Шуршаков

ФГБУН «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизической центр имени А. И. Бурназяна», г. Москва; *ФГБУН «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН», г. Москва

В обзоре представлены современные данные об основных источниках радиационного воздействия на человека в космосе: галактические космические лучи, радиационные пояса Земли и солнечные космические лучи. Дозы радиации на космической станции в ~200 раз больше, чем при среднем фоне облучения человека в обычных земных условиях. За год полета на Международной космической станции космонавт получает дозу, примерно в 10 раз превышающую (200 мЗв/год) пределы доз работника атомной промышленности. Внутри тела космонавта за счет «самоэкранированности» органов происходит дальнейшая трансформация дозового поля космической радиации, которая должна быть учтена для оценки доз на органы и эффективной дозы. С целью сопоставления с нормативами необходимо измерять дозы на критические органы, для чего и используются тканезквивалентные фантомы-манекены. Рассмотрены измерения дозы в космических экспериментах, облучение в скафандре во время внекорабельной деятельности, использование физических способов защиты космонавтов, а также радиационные воздействия на Луне и Марсе. За средний «выход» длительностью ~5 часов при невозмущенных условиях космонавт дополнительно получает 0,3–0,5 мЗв, что близко к среднесуточной дозе внутри станции. Космическая радиация на поверхности Луны более жесткая, чем, например, на Марсе. Радиационная нагрузка на поверхности Марса составляет в среднем 0,7 мЗв/сут. Это сопоставимо со среднесуточной дозой на МКС 0,3–0,8 мЗв/сут. На Луне доза может вдвое превышать уровень, зафиксированный на Марсе.

Ключевые слова: радиация, космические полёты, дозовые пределы и ограничения, мониторинг облучения, средства защиты

RADIATION EXPOSURE DURING THE ORBITAL AND INTERPLANETARY SPACEFLIGHTS: MONITORING AND PROTECTION

A. S. Samoylov, I. B. Ushakov, *V. A. Shurshakov

A. I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Centre (FMBC, Moscow; *Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Science (IBMP RAS), Moscow, Russia

This review presents actual knowledge and recent findings on the main sources of radiation exposure on human in space: galactic cosmic rays, Earth radiation belts and solar cosmic rays. Doses of radiation on the space station are in ~200 times higher than the average human exposure in ordinary terrestrial conditions. During yearlong flight on the International space station (ISS) astronaut receives a dose, which exceeds the limits in approximately 10 times (200 mSv/year) for nuclear industry worker. There is a further transformation of cosmic radiation field inside the body of the astronaut at the expense of organs' "self-shielding". These changes should be taken into account to estimate dose exposure on organs and effective dose. In order to compare with the standards the doses for the critical organs must be measured with the help of tissue-equivalent phantoms dummies. Authors consider such problems as phantom dose measurement in space experiments; irradiation through the spacesuit during the extravehicular activity; application of physical methods for the astronauts' protection and radiation exposure on the Moon and Mars. For the average "exit" with duration of ~5 hours with undisturbed conditions the astronaut receives a further 0.3-0.5 mSv, which is close to the average dose inside the station. Cosmic radiation on the Moon's surface is severer than, for example, on Mars. The radiation load on the surface of Mars is average 0.7 mSv/day. This is comparable with a daily dose on ISS 0.3-0.8 mSv/day. The Moon dose may twice exceeds the level seen on Mars.

Key words: radiation, spaceflights, dose limits and restrictions, monitoring of the irradiation, means of protection

Библиографическая ссылка:

Самойлов А. С., Ушаков И. Б., Шуршаков В. А. Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных космических полётах: мониторинг и защита // Экология человека. 2019. № 1. С. 4–9.

Samoylov A. S., Ushakov I. B., Shurshakov V. A. Radiation Exposure During the Orbital and Interplanetary Spaceflights: Monitoring and Protection. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 4-9.

В ходе космических полетов живые системы непрерывно подвергаются радиационному облучению, во много раз превышающему естественный наземный фон. Доза облучения зависит от длительности полета, параметров орбиты, фазы цикла солнечной активности, таких факторов космической погоды, как геомагнитная обстановка и проникновение на трассу полета заряженных частиц высокой энергии, обусловленных солнечной активностью, а также от условий

защищенности (например, оболочкой космического аппарата или скафандром).

В конце 50-х годов прошлого века на первых же российских и американских спутниках были открыты радиационные пояса Земли — области повышенной «захваченной» магнитным полем радиации в околоземном пространстве. При первых же пилотируемых полетах проводились измерения доз космической радиации в отсеках пилотируемых космических ко-

раблей. При спокойной радиационной обстановке, когда нет солнечных частиц высокой энергии, различие дозовых нагрузок не превышает полутора-двух раз, однако при радиационных возмущениях в околоземном пространстве перепады доз по отсекам могут достигнуть десяти и более раз, что связано с энергетическими спектрами частиц и особенностями защищенности отсеков. Основные источники радиационной опасности в космосе представлены на рис. 1.

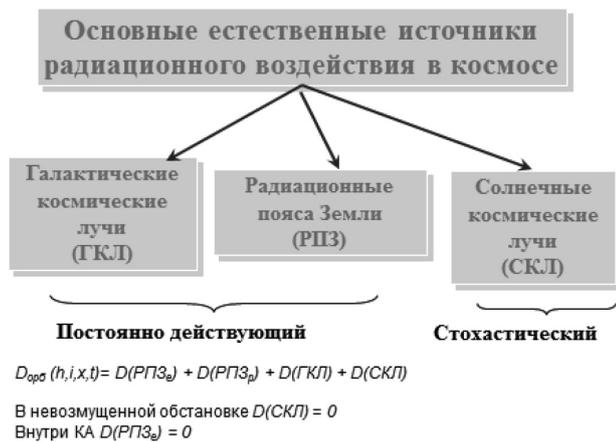


Рис. 1. Основные источники радиационной опасности в космосе

С учетом неоднородности дозового поля на космической станции и необходимости определять суммарную дозу, полученную за весь полет, для каждого космонавта предусмотрен индивидуальный дозиметр, который необходимо в течение всего полета носить в специальном кармане полетного костюма. Дальнейшие исследования показали, что внутри тела космонавта за счет «самоэкранированности» органов происходит дальнейшая трансформация дозового поля космической радиации, которая должна быть учтена для оценки доз на органы и так называемой эффективной дозы [1–9].

Радиация в космосе и фантомы-манекены

Дозы радиации на космической станции в ~200 раз

больше, чем при среднем наземном фоне облучения человека в обычных земных условиях. За год полета на Международной космической станции (МКС) космонавт получает дозу, примерно в 10 раз превышающую (200 мЗв/год) нормы радиационной безопасности для работника атомной промышленности (в среднем 20 мЗв/год), что все же допустимо, поскольку современные российские нормативы лимитируют дозу на кроветворные органы космонавтов в размере 500 мЗв/год [4]. Для сопоставления с нормативами необходимо измерять дозы на критические органы: желудочно-кишечный тракт, кроветворную систему, центральную нервную систему и т. п., для чего и используются тканеэквивалентные фантомы-манекены типа фантома «Рэндо» или шарового фантома, как в российском космическом эксперименте «Матрешка-Р». Фантомы-манекены перспективны для использования при измерении динамики накопления дозы в теле космонавта в спокойных и «возмущенных» условиях; других способов экспериментального определения распределения дозы по телу космонавта нет.

На рис. 2 показаны примеры фантомов для определения распределения доз в теле космонавтов МКС.

Радиация при работе в скафандре

Масса скафандра для работы в открытом космосе порядка 100 кг (много меньше массы модуля космической станции, составляющей порядка 10 т), и защита от радиации слабее, чем внутри станции. В результате при работе в скафандре средняя мощность дозы на поверхности тела примерно в ~5 раз больше, чем внутри станции и составляет уже 1 000-кратный земной фон. За средний «выход» длительностью ~5 часов при невозмущенных условиях космонавт дополнительно получает 0,3–0,5 мЗв, что близко к среднесуточной дозе внутри станции. Таким образом, каждый выход в открытый космос с точки зрения воздействия космической радиации эквивалентен одному «лишнему» дню на станции.

Все приведенные выше оценки относятся только к невозмущенным радиационным условиям, когда



Рис. 2. Примеры тканеэквивалентных фантомов космического эксперимента «Матрешка-Р»

нет ни солнечных протонных событий, ни сильных магнитных бурь. Магнитные бури могут увеличить потоки электронов в околоземном пространстве в десятки и сотни раз, и если стенки отсеков станции их практически полностью поглотят, то для работы в скафандре это может быть достаточно опасно с точки зрения облучения кожи и хрусталика глаза.

Рекомендации специалистов по радиационной безопасности позволяют минимизировать воздействие космической радиации при внекорабельной деятельности (ВКД) как за счет выбора оптимального времени начала ВКД, так и за счет такого явления, как анизотропия захваченной магнитным полем Земли космической радиации. Это явление приводит к тому, что на некоторых участках орбиты (в зоне Южно-Атлантической магнитной аномалии) потоки частиц с запада существенно больше, чем с востока. В этом случае при ВКД можно использовать экранирование самим телом станции или просто, если позволяет задача, поставленная космонавту, повернуться к западному направлению спиной, так как защита скафандра со стороны спины максимальна (рис. 3).

Максимальная доза, полученная неким условным космонавтом, может быть оценена, исходя из суммарной длительности его полетов и числа выходов в открытый космос, например, если длительность 700 суток и 10 выходов в открытый космос, то доза составит $700 \times 0,5 + 10 \times 0,5 = 350 + 5 = 355$ мЗв. С учетом доз, получаемых при медицинских предполетных обследованиях, необходимо добавить еще 10–50 мЗв. Согласно нормативам, предельная доза за карьеру космонавта — 1 000 мЗв, но и для наземных специалистов-атомщиков рассчитанная доза существенно превышена. Космические туристы

за недельный полет получают не более 4–5 мЗв. Таким образом, с учетом современных нормативов по космической радиации суммарное пребывание на станции на низкой околоземной орбите не может превысить 4 года.

Шторка защитная в каюте служебного модуля МКС

Исторические особенности проектирования модулей МКС привели к тому, что в среднем суточная доза в американской каюте (0,3 мЗв/сут) в 2 раза ниже, чем в российской (0,6 мЗв/сут). Для снижения доз при годовом полете для дополнительной защиты от космической радиации рекомендовано применение изделия «Шторка защитная», которое состоит из пропитанных водой гигиенических салфеток и полотенец, размещаемых в каюте служебного модуля в специальной укладке в 4 слоя (рис. 4). Расчетные и экспериментальные данные подтверждают защитный эффект — доза для космонавта в каюте при наличии шторки снижается на 20–30 % и более, что дает ощутимый эффект по снижению доз за всю экспедицию.

Радиация на Луне

Создание обитаемой лунной базы планируется после 2030-го года. Космическая радиация на поверхности Луны более жесткая, чем, например, на Марсе. По данным, полученным с марсохода «Кьюриосити» [4, 10], радиация на поверхности Марса составляет в среднем 0,7 мЗв/сут. Это сопоставимо со среднесуточной дозой на МКС 0,3–0,8 мЗв/сут. На Луне доза может вдвое превышать уровень, зафиксированный на Марсе. Это связано с несколькими факторами. Во-первых, Луна ближе к Солнцу, чем



Рис. 3. При ориентации космонавта «спиной к западу» дозы при внекорабельной деятельности снижаются

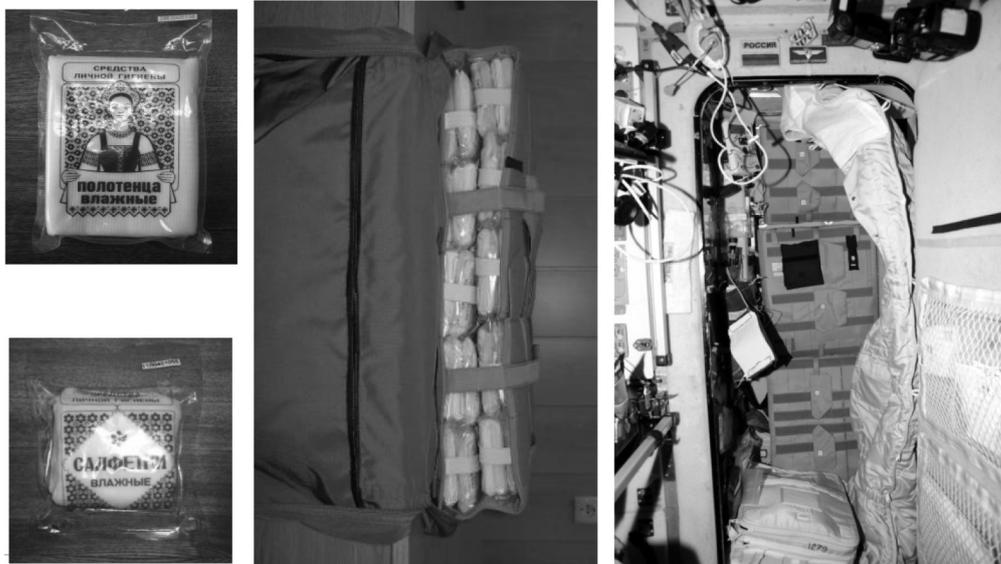


Рис. 4. Шторка защитная в каюте служебного модуля МКС

Марс, и доза от солнечных энергичных частиц на поверхности Луны с учетом разницы расстояния от Солнца в два-три раза больше, чем на Марсе. Во-вторых, на Марсе в отличие от Луны все же есть разреженная атмосфера толщиной ~ 20 г/см², которая ослабляет как галактическую, так и солнечную радиацию. И в-третьих, на Марсе имеется вода (в виде льда в составе грунта и т. п.), которая эффективно замедляет вторичные нейтроны, появляющиеся после бомбардировки космическими частицами марсианского грунта, т. е. лед уменьшает выход вторичных нейтронов на поверхность.

В итоге если среднесуточная доза на Луне составляет примерно 1,4 мЗв, то за полгода уровень радиации достигнет 250 мЗв. Столько же получают члены экипажа на МКС в течение годового полета. Однако необходимо иметь укрытие — радиационное убежище, в котором обитатели лунной базы смогли бы переждать солнечные протонные события, например, естественные лунные пещеры или надувные лунные модули, покрытые сверху реголитом.

Радиация на Марсе

Измерения доз на трассе полета к Марсу, а потом и на его поверхности, проведенные учеными НАСА в 2012–2013 годах прибором RAD, позволили уточнить имеющиеся расчетные оценки: на трассе полета доза была 1,8 мЗв/сут, а на поверхности Марса — 0,7 мЗв/сут, за весь полет — более 1 Зв.

Американские астронавты, побывавшие на Луне, получали за весь полет, длившийся 8–12 суток, сравнительно небольшие дозы, оцениваемые ~ 10 мЗв, что обусловлено отсутствием солнечных энергичных частиц. Однако в августе 1972 года произошло мощное солнечное протонное событие, которое привело бы к облучению дозами, близкими к летальным, при нахождении астронавтов на поверхности Луны или в процессе полета вне магнитосферы Земли. Отметим,

что расстояние до Луны — 60 земных радиусов, а магнитосфера Земли простирается не далее 10 радиусов, на немагнитосферном участке космонавты не защищены от мощных солнечных энергичных частиц.

И на Луне, и на Марсе необходима автономная система радиационного контроля, работающая оперативно и независимо от наличия связи с Землей. Должны не только фиксироваться полученные космонавтами индивидуальные дозы, но и заблаговременно выдаваться сигналы об опасности — о начале мощной солнечной вспышки, что позволит оперативно уходить в радиационное убежище. Возможно, придется использовать и медицинские препараты-радиопротекторы. Прототип такой автономной системы разработан российскими специалистами и в настоящее время размещен в служебном модуле российского сегмента МКС.

Опасна ли доза в 1 Зв, ожидаемая за полет на Марс и обратно при нынешних ракетных двигателях? В российских космических нормативах 1 Зв — это лимит дозы за карьеру космонавта (кстати, такой же лимит и у персонала ядерной отрасли). Но дело в том, что этот лимит установлен без учета возраста и пола и представляет собой некую усредненную оценку для принятия решений о возможности продолжения «карьеры» на Земле или в космосе. Практически этот лимит недостижим: чтобы приблизиться к нему на ядерном объекте, надо отработать более 50 лет или отлетать на космической станции 5 лет. При более точном радиобиологическом подходе нормированию подлежит не доза, а радиационный риск, например, как принято в НАСА на уровне 3 % дополнительно-го канцерогенного риска от космической радиации. С учетом того, что при полете на Марс дозовый лимит 1 Зв будет набран с гарантией, специалисты НАСА, проводя более точные оценки, приходят к выводу, что при 1 Зв канцерогенный риск будет неоправданно высок: 5 % вместо нормируемых 3 %. Казалось бы,

все просто: теперь надо снизить допустимый дозовый лимит (например, не 1 000, а 666 мЗв за карьеру), и это устойчивая тенденция последних десятилетий при нормировании радиационного воздействия, и тогда-то можно лететь к другим планетам. Но проблема в том, что при современном уровне развития ракетной техники и космических технологий снизить дозу при полете на Марс весьма сложно. И с такими «новыми» нормативами, планирование марсианской миссии остается весьма проблематичным...

Как быть человечеству, остаться навсегда в своей «колыбели» или лететь к далеким мирам — это предмет отдельного рассмотрения.

Радиационный мониторинг в ходе космических полетов с участием живых систем требует особого методического подхода для определения биологически значимых характеристик поля излучения, а также учета сложного состава излучения с возможными сильными перепадами дозовых величин. Полученные на МКС результаты об эффективных дозах радиации и апробированные методы снижения радиационного воздействия, наряду с результатами об ожидаемых радиобиологических эффектах космического излучения, могут быть использованы при планировании дальних и длительных космических полетов за пределами магнитосферы Земли.

Авторство

Самойлов А. С. внес существенный вклад в общую концепцию, анализ и перспективы будущего использования результатов работы для обеспечения радиационной безопасности дальних полетов, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Ушаков И. Б. внес существенный вклад в концепцию, дизайн и анализ представленных данных, подготовил первый вариант статьи; Шуршаков В. А. внес существенный вклад в получение данных космических экспериментов, подготовил первый вариант статьи.

Благодарности

Авторы безмерно благодарны кандидату физико-математических наук Владиславу Михайловичу Петрову, многие годы руководившему отделом радиационной безопасности пилотируемых космических полетов Института медико-биологических проблем, за органичное и постоянное руководство экспериментально-теоретическими работами по оценке радиационных рисков человека в космосе.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Самойлов Александр Сергеевич — ORCID 0000-0002-9241-7238; SPIN 3771-4848

Ушаков Игорь Борисович — ORCID 0000-0002-6988-9261; SPIN 7120-1771

Шуршаков Вячеслав Александрович — ORCID 0000-0003-3361-4255; SPIN 1839-2847

Список литературы

1. Григорьев Ю. Г., Ушаков И. Б., Красавин Е. А., Давыдов Б. И., Шафиркин А. В. Космическая радиобиология за 55 лет (к 50-летию ГНЦ РФ-ИМБП РАН) / Российская академия наук, Институт медико-биологических проблем и др. М.: Экономика, 2013. 303 с.

2. Давыдов Б. И. Авиакосмическая радиобиология:

основные итоги, люди, события / под ред. И. Б. Ушакова. М.; Воронеж: Истоки, 2007. 164 с.

3. Карташов Д. А., Толочек Р. В., Шуршаков В. А., Ярманова Е. Н. Расчет радиационных нагрузок в отсеке космической станции при использовании дополнительной защиты // Авиакосмическая и экологическая медицина, 2013. Т. 47, № 6. С. 61–66.

4. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.6.1. 44-03-2004. Методические указания МУ 2.6.1. 44-03-2004. Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах (ОКОКП-2004). М.: Федеральное управление «Медбиоэкстрем», 2004.

5. Сәнецкий А. О., Ушаков И. Б., Сәнецки Н. В., Штемберг А. С., Косицын Н. С., Тимофеев Н. Н. Радиационная нейробиология дальних космических полетов // Успехи современной биологии. 2017. Т.137, № 2. С. 165–194.

6. Уйба В. В. Роль ФМБА России в программе освоения космоса // Медицина экстремальных ситуаций. 2014. № 4. С. 6–10.

7. Kodaira S., Tolochek R. V., Ambrozova I., Kawashima H., Yasuda N., Kurano M., Kitamura H., Uchihori Y., Kobayashi I., Hakamada H., Suzuki A., Kartsev I. S., Yarmanova E. N., Nikolaev I. V., Shurshakov V. A. Verification of shielding effect by the water-filled materials for space radiation in the International Space Station using passive dosimeters // Advances in Space Research. 2014. Vol. 53 (1). P. 1–7.

8. Puchalska M., Bilski P., Berger T., Hajek M., Horwacik T., Körner C., Olko P., Shurshakov V., Reitz G. NUNDO: a numerical model of a human torso phantom and its application to effective dose equivalent calculations for astronauts at the ISS // Radiation and environmental biophysics. 2014, Nov. Vol. 53 (4). P. 719–727.

9. Shurshakov V., Tolochek R. V., Kartsev I. S., Petrov V. M., Nikolaev I. V., Moskalyeva S. I., Lyagushin V. I. Study of dose distribution in a human body in International space station compartments with the tissue-equivalent spherical phantom // J. of Radiat Research. 2014. Vol. 55. P. 61–62.

10. Zeitlin C., Hassler D. M., Cucinotta F. A., Ehresmann B., Wimmer-Schweingruber R. F., Brinza D. E., Kang S., Weigle G., Böttcher S., Böhm E., Burmeister S., Guo J., Köhler J., Martin C., Posner A., Rafkin S., Reitz G. Measurements of energetic particle radiation in transit to Mars on the Mars Science Laboratory // Science. 2013. Vol. 340. P. 1080–1084.

References

1. Grigor'ev Yu. G., Ushakov I. B., Krasavin E. A., Davydov B. I., Shafirkin A. V. *Kosmicheskaya radiobiologiya za 55 let (k 50-letiyu GNTs RF-IMBP RAN)* [Space radiobiology for 55 years (to 50-th anniversary of SSC RF - IBMP RAS)]. Russian Academy of Sciences (RAS), Institute of biomedical problems, etc. Moscow, Economica Publ., 2013, 303 p.

2. Davydov B. I. *Aviakosmicheskaya radiobiologiya: osnovnye itogi, lyudi, sobytiya* [Aerospace radiobiology: main results, people, events]. Ed. by I. B. Ushakov. Moscow, Voronezh, Istoki Publ., 2007, 164 p.

3. Kartashov D. A., Tolochek R. V., Shurshakov V. A., Yarmanova E. N. Calculation of radiation loads in a compartment of the space station when using extra protection. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina* [Aerospace and environmental medicine], 2013, 47 (6), pp. 61-66. [In Russian]

4. Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1. 44-03-2004. Guidelines MU 2.6.1. 44-03-2004. Limit exposure of astronauts in near-earth space flights (ООКОК-2004). Moscow, The Federal office "Medbioekstrem", 2004. [In Russian]

5. Sapetskiy O. A., Ushakov I. B., Sapetski N. V., Stenberg S. A., Kositsyn N. S., Timofeev N. N. Radiation neurobiology of long-space flights. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Successes of modern biology]. 2017, 137 (2), pp. 165-194. [In Russian]

6. Uiba V. V. The Role of the FMBA of Russia in the space exploration program. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii* [Medicine of emergency situations]. 2014, 4, pp. 6-10. [In Russian]

7. Kodaira S., Tolochek R. V., Ambrozova I., Kawashima H., Yasuda N., Kurano M., Kitamura H., Uchihori Y., Kobayashi I., Hakamada H., Suzuki A., Kartsev I. S., Yarmanova E. N., Nikolaev I. V., Shurshakov V. A. Verification of shielding effect by the water-filled materials for space radiation in the International Space Station using passive dosimeters. *Advances in Space Research*. 2014, 53 (1), pp. 1-7.

8. Puchalska M., Bilski P., Berger T., Hajek M., Horwacik T., Körner C., Olko P., Shurshakov V., Reitz G. NUNDO: a numerical model of a human torso phantom and its application to effective dose equivalent calculations

for astronauts at the ISS. *Radiation and environmental biophysics*. 2014, Nov., 53 (4), pp. 719-27.

9. Shurshakov V., Tolochek R. V., Kartsev I. S., Petrov V. M., Nikolaev I. V., Moskalyeva S. I., Lyagushin V. I. Study of dose distribution in a human body in International space station compartments with the tissue-equivalent spherical phantom. *J. of Radiat Research*. 2014, 55, pp. 61-62.

10. Zeitlin C., Hassler D. M., Cucinotta F. A., Ehresmann B., Wimmer-Schweingruber R. F., Brinza D. E., Kang S., Weigle G., Böttcher S., Böhm E., Burmeister S., Guo J., Köhler J., Martin C., Posner A., Rafkin S., Reitz G. Measurements of energetic particle radiation in transit to Mars on the Mars Science Laboratory. *Science*. 2013, 340, pp. 1080-1084.

Контактная информация:

Ушаков Игорь Борисович – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России)

Адрес: 123182, г. Москва, ул. Живописная, д. 46

E-mail: iushakov@fmbcfmba.ru; ibushakov@gmail.com

УДК 574.4(460.117)

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС НАСЕЛЕНИЯ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2019 г. **Е. В. Сальникова, Т. И. Бурцева, А. В. Скальный**

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

Цель исследования – изучить особенности микроэлементного статуса населения Оренбургской области и установить границы распространения географической и экологической патологии. *Методы.* Содержание химических элементов в волосах выявляли методами атомноэмиссионной и масс-спектрометрии с использованием масс-спектрометра Elan 9000 и атомноэмиссионного спектрометра Optima 2000 V в лаборатории «Центр биотической медицины» (г. Москва). Статистическую обработку материала производили с использованием пакета программ MS Excel и программы STATISTICA version 6.1. Для оценки нормальности данных использовался тест Шапиро – Вилка. *Результаты.* Установлено, что содержание Zn в волосах мужчин, проживающих на востоке области, выше, чем у мужчин Центральной и Западной зон, в 1,6 и 1,3 раза соответственно. Уровень Zn в волосах женщин в Восточной зоне больше, чем в Центральной и Западной, в 1,9 и 1,5 раза соответственно. Содержание Cu в волосах жителей Центральной и Восточной зон превышало таковое Западной зоны на 10 ($p = 0,016$) и 20 % ($p < 0,001$) соответственно. Полученные референтные значения содержания Cd и Pb в волосах жителей Восточной зоны превышали соответствующие общероссийские уровни. Ранговое соотношение территорий Приволжского федерального округа (ПФО) и Уральского федерального округа, находящихся на границе с Оренбургской областью, показывает, что среди мужского населения Оренбуржья наблюдается дефицит Zn (ранг 14). У женщин Оренбургской области установлено максимальное для ПФО содержание в волосах Cu (ранг 2), Cd и Pb (ранг 3, 4). *Вывод.* Благополучными по изучаемым элементам регионами являются Республики Башкортостан, Татарстан и Самарская область. К неблагоприятным относятся Оренбургская и Челябинская области.

Ключевые слова: микроэлементы, токсичные элементы, волосы, население, ранговое соотношение, заболеваемость

MICROELEMENT STATUS OF THE ORENBURG REGION POPULATION

E. V. Salnikova, T. I. Burtseva, A. V. Skalny

Orenburg State University, Orenburg, Russia

The aim of the paper is to study the features of the microelement status of the population of the Orenburg region and to establish the distribution limits of geographical and ecological pathology. *Methods.* The content of chemical elements in the hair was estimated by atomic emission and mass spectrometry using an Elan 9000 mass spectrometer and an Optima 2000 V atomic emission spectrometer in the laboratory "Center for Biotic Medicine" (Moscow). Statistical data processing was carried out by means of programs MS Excel and STATISTICA version 6.1. Shapiro-Wilk's test was used to assess data normality. *Results.* It was found that the zinc content in the hair of men living in the east of the region is higher than in men living the Central and Western zones - 1.6 and 1.3 times, respectively. The zinc content in the hair of women in the Eastern zone is 1.9 times and 1.5 times higher than in the Central and Western zones, respectively. The copper content in the hair of residents of the Central and Eastern zones exceeded the values of the Western zone by 10 % ($p = 0.016$) and 20 % ($p < 0.001$), respectively. The obtained reference values of cadmium and lead in the hair of the inhabitants of the Eastern Zone exceeded the corresponding all-Russian values. The ranking ratio of the territories of the Volga Federal District and the Ural Federal District located on the border with the Orenburg region shows Zn deficiency among the male population of Orenburg (rank 14). Maximum levels of Cu (rank 2), Cd and Pb (rank 3, 4) for PFD are found in hair of women of the Orenburg region. *Conclusion.* The prosperous regions for the studied elements are the Republic of Bashkortostan, the Samara Region and the Republic of Tatarstan. The adverse regions include the Orenburg and Chelyabinsk regions.

Key words: microelements, toxic elements, hair, population, rank ratio, incidence

Библиографическая ссылка:

Сальникова Е. В., Бурцева Т. И., Скальный А. В. Особенности микроэлементного статуса населения Оренбургской области // Экология человека. 2019. № 1. С. 10–14.

Salnikova E. V., Burtseva T. I., Skalny A. V. Microelement Status of the Orenburg Region Population. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 10-14.

Оренбургская область является крупным промышленным центром Южного Урала с высоко развитой индустрией. В Центральной зоне области располагаются предприятия металлообработки, машиностроения, энергетики, нефтемазославовод и газовая отрасль. В Восточной зоне сосредоточены предприятия цветной и черной металлургии, в Западной — предприятия нефтедобывающей промышленности.

В районах размещения крупных промышленных предприятий изменение среды обитания человека сопровождается формированием химических анома-

лий, влияющих со временем на элементный статус не только работников этих предприятий, но и населения, не занятого в производстве. Неблагоприятные изменения отражаются на состоянии здоровья человека и проявляются снижением естественной сопротивляемости его организма, функциональными изменениями в различных физиологических системах вплоть до развития болезни [1, 9, 11, 12, 14].

Рядом авторов [2, 8, 19] описаны особенности элементного статуса населения Оренбургской области на основе изучения волос в качестве биосубстрата.

Выявлен низкий уровень I, Se и Zn наряду с избытком Cu в организме жителей, проживающих на территории региона [4].

На территории Оренбуржья с 1998 по 2008 год проводился мониторинг окружающей среды по установлению статуса I и Se [19]. Содержание же Zn, Cu и их антагонистов в окружающей среде и организме человека не изучалось.

В своей работе мы остановились на четырех элементах: Zn, Cu, Pb, Cd. Выбор таких микроэлементов, как Zn и Cu, обусловлен их важной биологической ролью. Цинк принимает участие в функционировании более чем 300 металлоферментов, процессах роста, деления и дифференцировки клеток, он также необходим для нормального роста ногтей, волос, кожи и заживления ран [5, 13, 17, 20]. Его недостаток в организме может привести к задержке роста, циррозу печени, половой дисфункции, вторичному иммунодефициту, анемии, формированию пороков развития плода [10]. По оценкам ВОЗ, дефицитом Zn страдает от 4 до 73 % населения мира [15, 21–25].

Медь присутствует в системе антиоксидантной защиты организма. Она входит в состав многих важнейших ферментов, таких как аскорбиназа, цитохромоксидаза, тирозиназа и др. Дефицит Cu опасен для организма человека, так как приводит к торможению всасывания Fe [16].

С биологической точки зрения интерес к Pb и Cd сосредоточился на их токсических свойствах, представляющих опасность для человека и животных. Известен также антагонизм для некоторых групп металлов: Cu – Cd, Cu – Pb, Zn – Cd. Выведению Cd из организма способствуют Cu и Zn [3].

Цель настоящего исследования – изучение особенностей микроэлементного статуса населения Оренбургской области и установление границ распространения географической и экологической патологии. Для достижения поставленной цели были изучены уровни содержания Zn, Cu, Cd и Pb у жителей Оренбуржья и других областей Приволжского федерального округа (ПФО) и Уральского федерального округа (УФО), граничащих с Оренбургской областью.

Методы

Выбор волос в качестве предмета анализа был обусловлен многочисленными исследованиями, подтверждающими их пригодность как объекта в исследованиях элементного статуса популяции [7, 13]. Волосы – это легкодоступный биологический материал, сбор их прост и безболезнен. Хранение волос практически не ограничено длительно и не требует каких-либо особых условий. В связи с малой скоростью роста волос результаты анализа показывают не сиюминутное содержание макро- и микроэлементов в образце, а усреднённый уровень за несколько месяцев [17]. Химический состав волос отражает как внутреннее состояние организма, так и следствие воздействия различных экзогенных факторов [15].

Были отобраны образцы волос у мужчин и женщин (25–50 лет), долгое время проживающих на территориях ПФО и УФО, граничащих с Оренбургской областью. Проведено обследование элементного состава волос взрослых жителей Республики Башкортостан – 514 мужчин и 624 женщин; Оренбургской области – 1 049 мужчин и 1 106 женщин; Самарской области – 322 мужчин и 1 137 женщин; Саратовской области – 108 мужчин и 363 женщины; Республики Татарстан – 460 мужчин и 1 667 женщин; Челябинской области – 155 мужчин и 320 женщин. Элементный состав волос оценивался в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (г. Москва, аттестат аккредитации ГСЭН.RU.ЦОА.311, регистрационный номер в Государственном реестре РОСС RU.0001.513118) с использованием методов атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой (АЭС-ИСП и МС-ИСП) на приборах ICP-9000 «ThermoJarrellAsh», США, PerkinElmer Optima 2000DV, США согласно методическим указаниям [6]. Собственные результаты по содержанию химических элементов в волосах сравнивали с референтными значениями [15].

Результаты

Анализ полученных данных по содержанию микроэлементов в волосах обследованных показал, что уровень Cu несколько (в 0,8 раза) превышает значения 75 центиля, а содержание Pb соответствует верхнему уровню рекомендованного значения (табл. 1 и 2).

Таблица 1
Содержание микроэлементов в волосах мужчин 25–50 лет, проживающих на территории Оренбургской области, мкг/г

Показатель	Zn	Cu	Pb	Cd
Среднее (M ± m)	163,0 ± 4,4	17,00 ± 0,44↑	1,40 ± 0,15	0,094 ± 0,008
Медиана (Me)	193	16,1↑	0,45	0,027
Минимум (Min)	22,2	8,8	0,008	0,004
Максимум (Max)	242	52,9	7,41	0,51
Значение центильных интервалов [11] (25–75)	155–206	9–14	0,38–1,40	0,02–0,12

Таблица 2
Содержание микроэлементов в волосах женщин 25–50 лет, проживающих на территории Оренбургской области, мкг/г

Показатель	Zn	Cu	Pb	Cd
Среднее (M)	180,0 ± 4,5	16,50 ± 0,27↑	1,17 ± 0,12	0,097 ± 0,008
Медиана (Me)	194	16,6↑	0,43	0,024
Минимум (Min)	27,3	8,77	0,003	0,003
Максимум (Max)	305	40,9	6,28	0,52
Значение центильных интервалов [11] (25–75)	155–206	9–14	0,38–1,40	0,02–0,12

Медиана (Me) выборки в волосах испытуемых показывает сближение результатов обследованных половых групп по всем исследуемым химическим элементам.

В табл. 3, 4 представлено ранговое соотношение территорий ПФО и УФО, находящихся на границе с Оренбургской областью, по медиане содержания химических элементов в волосах женщин и мужчин в возрасте от 25 до 50 лет. Высший ранг имеет минимальное численное значение (ранг 1) и соответствует наибольшему содержанию элемента, а также распространенности его дефицита или избытка.

Таблица 3

Ранговое соотношение территорий по медиане содержания микроэлементов в волосах женщин 25–50 лет [17]

Территория	Zn	Cu	Cd	Pb
Приволжский федеральный округ				
Республика Башкортостан	10	1	2	1
Оренбургская область	13	2	3	4
Самарская область	5	8	6	8
Саратовская область	9	11	8	9
Республика Татарстан	3	9	5	3
Уральский федеральный округ				
Челябинская область	3	1	4	4

Таблица 4

Ранговое соотношение территорий по медиане содержания микроэлементов в волосах мужчин 25–50 лет [17]

Территория	Zn	Cu	Cd	Pb
Приволжский федеральный округ				
Республика Башкортостан	13	2	2	2
Оренбургская область	14	5	1	1
Самарская область	5	3	8	7
Саратовская область	12	9	5	4
Республика Татарстан	4	10	12	8
Уральский федеральный округ				
Челябинская область	3	1	4	3

Для взрослых из Республики Башкортостан типично преобладание повышенных в сравнении со средними значениями по ПФО уровней содержания в волосах химических элементов.

Это касается классических экотоксикантов Cd и Pb (ранг 1 и 2) и эссенциального микроэлемента Cu (ранг 1, только женщины).

Обсуждение результатов

Проведенный анализ биосубстратов выявил повышенное содержание Cu в группе как мужчин, так и женщин Оренбуржья. Кроме того, отмечено: содержание Pb в волосах у мужчин соответствует верхнему уровню референтного значения, тогда как у женщин оно находится в пределах нормы, что, скорее всего, обусловлено физиологическими признаками.

Содержание Cu также превышает верхнюю границу референтных значений, что, по нашему мнению, связано с геоэкологическими особенностями области. Добыча Cu открытым способом велась с XII века, что привело к повсеместному загрязнению биосферы данным металлом [19].

У женщин Оренбургской области наблюдается максимальное для ПФО повышенное содержание в волосах Cu (22 %, ранг 2), Cd и Pb (12 %, 7 %, ранг 3, 4). Также у них увеличена частота дисбалансов Cd/Zn, Cu/Zn, что может отрицательно влиять на состояние нервной системы, клеточного иммунитета, печени и почек [10]. Среди мужского населения области отмечен дефицит Zn (34 %, ранг 14), повышающий риск развития кожных заболеваний, расстройств репродуктивной системы, иммунодефицитных состояний, а также риск развития диабета, новообразований, в том числе рака простаты, особенно в сочетании с дефицитом Se [16].

В волосах мужчин Самарской области наблюдается максимальный для ПФО показатель Cu (11 %, ранг 1), выявлено незначительное превышение фоновых показателей по Zn (35 %, ранг 4). У больных холециститом, гепатитом, у лиц, злоупотребляющих алкоголем, часто отмечается повышенное содержание Cu в волосах при потреблении воды с повышенным содержанием Cu [16].

Интересно, что у мужчин на фоне повышенного содержания Cu выявлены отклонения в частоте как повышенного, так и пониженного уровней Mn – микроэлемента, являющегося антагонистом Cu. Сочетание дисбалансов Cu и Zn может отрицательно повлиять в первую очередь на заболеваемость опорно-двигательного аппарата.

В Саратовской области отмечено преобладание пониженных в сравнении со средними значениями по ПФО уровней содержания Cu (ранг 11) у женщин, Zn (ранг 12) у мужчин, что типично для данного региона.

В УФО сосредоточена значительная часть предприятий отечественной индустрии, вклад которых в загрязнение окружающей среды особенно заметен. Это объекты черной и цветной металлургии, машиностроения, электроэнергетики, топливной промышленности, лесохимического комплекса. Регион относится к числу наиболее загрязненных в экологическом отношении территорий России [18].

Н. Л. Наумовой и М. Б. Ребезовым (2012) проведена оценка элементного статуса жителей г. Челябинска [10]. Хотя содержание микроэлементов Zn и Cu в волосах всех возрастных групп находится в пределах допустимых уровней, с возрастом риск развития гипозэлементоза Zn значительно повышается (с 26,6 до 43,2 %), а Cu (22,1–25,6 %) – относительно стабилен. В течение жизни риск развития гиперэлементозов челябинцев снижается незначительно: Zn – с 12,7 до 8,0 %, Cu – с 15,2 до 12,0 % [10]. Дефицитные состояния по Zn и Cu, вероятно, указывают на недостаточность поступления этих микроэлементов с пищей и часто являются

следствием интоксикации организма тяжелыми металлами, в первую очередь — Pb, Cd, Hg, а также Mn и Fe. У мужчин из Челябинской области риск гиперэлементоза Cu максимален по УФО (5,2 %, ранг 1). Также у них относительно повышен (ранг 2) показатель содержания Zn (39 %). Возможно, это влияние выбросов цинкэлектролитного завода в г. Челябинске. Относительно часто у женщин из Челябинской области отмечаются превышения верхних уровней содержания химических элементов в волосах. Челябинская область располагается на границе с восточной зоной Оренбургской области, в волосах жителей которой обнаружены превышения референтных значений по содержанию Zn. По-видимому, трансграничный перенос вредных веществ со стороны Челябинской области (ЗАО «Бурибаевский ГОК») усиливает неблагоприятную экологическую напряженность.

Таким образом, для сохранения здоровья населения Восточного Оренбуржья необходимо контролировать уровень его элементного статуса, так как там уже наблюдается дисбаланс микроэлементов. Также это необходимо делать в тех районах, где наблюдается их недостаток (Центральное Оренбуржье).

Авторство

Сальникова Е. В. участвовала в анализе данных, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Бурцева Т. И. подготовила первый вариант статьи; Скальный А. В. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Велданова М. В., Скальный А. В. Экологический портрет человека и роль микроэлементов. М., 2001. 236 с.
2. Барышева Е. С. Структурно-функциональные взаимоотношения щитовидной железы и гипоталамо-гипофизарной нейроэндокринной системы при воздействии токсических доз кадмия и свинца // Вестник ОГУ. 2006. № 12. С. 36–39.
3. Бокова Т. И. Экологические основы инновационного совершенствования пищевых продуктов. Новосибирск: НГАУ, 2011. 284 с.
4. Бурцева Т. И., Нотова С. В., Скальный А. В. Моделирование системы экологического мониторинга за состоянием селенового статуса населения // Инновации и инвестиции. 2015. № 6. С. 149–152.
5. Доклад о состоянии здравоохранения в мире, 2002 год: Преодоление воздействия факторов риска, пропаганда здорового образа жизни. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2002. 805 с.
6. Иванов С. И., Подунова Л. Г., Скачков В. Б. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрией. Методические указания. МУК 4.1.1482–03, МУК 4.1.1483–03. М.: ФЦГ Минздрава России, 2003. 23 с.
7. Калетина Н. И. Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2007. 352 с.
8. Конюхов В. А. Современный методический подход к изучению причин и условий формирования йодного дефицита у населения // Вестник ОГУ. 2005. № 5. С. 73–77.

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

10. Наумова Н. Л., Ребезов М. Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания // Фундаментальные исследования. 2012. № 4, ч. 1. С. 196–200.

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

12. Нотова С. В., Киреева Г. Н., Жуковская Е. В., Грабеклис А. Р., Кияева Е. В., Скальный А. В., Дерягина Л. Е. Влияние антропогенных и геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей Челябинской области // Экология человека. 2017. № 11. С. 23–28.

13. Скальный А. В., Демидов В. А. Элементный состав волос как отражение сезонных колебаний обеспеченности организма детей макро- и микроэлементами // Микроэлементы в медицине. 2001. Т. 2, № 1. С. 36–41.

14. Скальный А. В., Быков А. Т. Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 272 с.

15. Скальный А. В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4, № 1. С. 55–56.

16. Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. М.: Издательский дом «Оникс 21 век», «Мир», 2004. 272 с.

17. Элементный статус населения России / под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. Санкт-Петербург: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2010. 576 с.

18. Федеральные округа России. Региональная экономика / под ред. В. Г. Глушковой, Ю. А. Симагиной. М.: КНОРУС, 2009. 352 с.

19. Чибилёв А. А., Павлейчик В. М. Природное наследие Оренбургской области: особо охраняемые природные территории. Оренбург: УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2009. 328 с.

20. Шафран Л. М., Пыхтеева Е. Г., Большой Д. В. Металлотиионы. Одесса: Чорномор'я, 2011. 427 с.

21. Chasapis C. T., Loutsidou A. C., Spiliopoulou C. A., Stefanidou M. E. Zinc and human health: an update // Arch Toxicol. 2012. N 86 (4). P. 521–34.

22. Costello L. C., Franklin R. B. Zinc is decreased in prostate cancer: an established relationship of prostate cancer! // Biological Inorganic Chemistry. 2011. N 16. P. 3–8.

23. De Jong N., Gibson R. S., Thomson C. D. Selenium and zinc status are suboptimal in a sample of older New Zealand women in a community-based study // J. Nutr. 2001. N 131. P. 2677–2684.

24. Gibson R. S., Heath A. L. Population groups at risk of zinc deficiency in Australia and New Zealand // Nutr. Diet. 2011. N 68. P. 97–108.

25. Haase H., Rink L. The immune system and the impact of zinc during aging // Immun. Ageing. 2009. N 12. P. 6–9.

References

1. Agadzhanian N. A., Veldanova M. V., Skalny A. V. *Ekologicheskii portret cheloveka i rol' mikroelementov* [Ecological portrait of man and the role of microelements]. Moscow, 2001, 236 p.

2. Barysheva E. S. Structural-functional relationship of the thyroid gland and the hypothalamic-pituitary neuroendocrine system when exposed to toxic doses of cadmium and lead. *Vestnik OGU* [Vestnik of the Orenburg State University]. 2006, 12, pp. 36-39. [In Russian]
3. Bokova T. I. *Ekologicheskie osnovy innovatsionnogo sovershenstvovaniya pishchevykh produktov* [The environmental basis for the innovative improvement of food products]. Novosibirsk, 2011, 284 p.
4. Burtseva T. I., Notova S. V., Skalny A. V. Modeling of the system of ecological monitoring of the selenium status of the population. *Innovatsii i investitsii* [Innovation and Investment]. 2015, 6, pp. 149-152. [In Russian]
5. *Doklad o sostoyanii zdorookhraneniya v mire, 2002 god: Preodolenie vozdeistviya faktorov riska, propaganda zdorovogo obraza zhizni* [Overcoming the impact of risk factors, promotion of a healthy lifestyle]. Zheneva, 2002, 805 p.
6. Ivanov S. I., Podunova L. G., Skachkov V. B. *Opredelenie khimicheskikh elementov v biologicheskikh sredakh i preparatakh metodami atomno-emissionnoi spektrometrii s induktsionno svyazannoi plazmoi i mass-spektrometrii. Metodicheskie ukazaniya. MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03* [The determination of chemical elements in biological red and prepared methods - emission spectrometry with inductive swear plasma and mass spectrometry. Methodical instructions. MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03]. Moscow, 2003, 23 p.
7. Kaletina N. I. *Toksikologicheskaya khimiya. Metabolizm i analiz* [Toxicology chemistry. Metabolism and analysis]. Moscow, 2007, 352 p.
8. Konyukhov V. A. Modern methodological approach to the study of the causes and conditions of formation of iodine deficiency in the population. *Vestnik OGU* [Vestnik of the Orenburg State University]. 2005, 5, pp. 73-77. [In Russian]
9. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]
10. Naumova N. L., Rebezov M. B. Micronutrients status of chelyabinsk as the rationale for the development of production of fortified foods. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2012, 4 (1), pp. 196-200. [In Russian]
11. Nikanov A. N., Krivosheev Yu. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink "Algapekt" on blood mineral composition in children - residents of Monchergorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [In Russian]
12. Notova S. V., Kireeva G. N., Zhukovskaya E. V., Grabeklis A. R., Kiyeva E. V., Skalny A. V., Deryagina L. E. The influence of anthropogenous and geochemical environmental factors on the elementary status of children of Chelyabinsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 11, pp. 23-28. [In Russian]
13. Skalny A. V., Demidov V. A. Elemental composition of hair as a reflection of seasonal fluctuations in the availability of child organism macro- and microelements. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2001, 2 (1), pp. 36-41. [In Russian]
14. Skalny A. V., Bykov A. T. *Ekologo-fiziologicheskie aspekty primeneniya makro- i mikroelementov v vosstanovitel'noi meditsine* [Ecological and physiological aspects of macro- and microelements in rehabilitation medicine]. Orenburg, 2003, 272 p.
15. Skalny A. V. Reference values of concentration of chemical elements in hair, obtained by ICP-AES. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2003, 4 (1), pp. 55-56. [In Russian]
16. Skalny A. V., Rudakov I. A. *Bioelementy v meditsine* [Bioelements in medicine]. Moscow, 2004, 272 p.
17. *Elementnyi status naseleniya Rossii* [Elemental status of the population of Russia]. Eds. A. V. Skalny, M. F. Kiselev. Saint Petersburg, 2010, 576 p.
18. *Federal'nye okruga Rossii. Regional'naya ekonomika* [Federal district of Russia. Regional economy]. Eds. V. G. Glushkova, Yu. A. Simagina. Moscow, 2009, 352 p.
19. Chibilev A. A., Pavleichik V. M. *Prirodnoe nasledie Orenburgskoi oblasti: osobo okhranyaemye prirodnye territorii* [The natural heritage of the Orenburg region: specially protected natural areas.]. Orenburg, 2009, 328 p.
20. Shafran L. M., Pykhteeva E. G., Bol'shoi D. V. *Metallothioneiny* [Metallothioneiny]. Odessa, 2011, 427 p.
21. Chasapis C. T., Loutsidou A. C., Spiliopoulou C. A., Stefanidou M. E. Zinc and human health: an update. *Arch. Toxicol.* 2012, 86 (4), pp. 521-534.
22. Costello L. C., Franklin R. B. Zinc is decreased in prostate cancer: an established relationship of prostate cancer! *Biological Inorganic Chemistry*. 2011, 16, pp. 3-8.
23. De Jong N., Gibson R. S., Thomson C. D. Selenium and zinc status are suboptimal in a sample of older New Zealand women in a community-based study. *J. Nutr.* 2001, 131, pp. 2677-2684.
24. Gibson R. S., Heath A. L. Population groups at risk of zinc deficiency in Australia and New Zealand. *Nutr. Diet.* 2011, 68, pp. 97-108.
25. Haase H., Rink L. The immune system and the impact of zinc during aging. *Immun. Ageing*. 2009, 12, pp. 6-9.

Контактная информация:

Бурцева Татьяна Ивановна – доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
Адрес: 450018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13
E-mail: burtat@yandex.ru

УДК 546.13:613.63

СЛЕДОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ ЖИТЕЛЕЙ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

© 2019 г. ¹В. Ю. Цыганков, ¹М. В. Ярыгина, ^{2,3}О. Н. Лукьянова, ¹М. Д. Боярова,
¹Н. И. Ерофеева, ⁴С. В. Гамова, ¹А. Н. Гумовский, ¹П. Ф. Кику

¹Школа биомедицины ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»;

²Школа естественных наук ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»; ³ФГБНУ «Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр» (ТИНРО-центр); ⁴ФГБУЗ «Дальневосточный окружной медицинский центр Федерального медико-биологического агентства России», г. Владивосток

Проблема накопления хлороорганических соединений (ХОС) в организме человека весьма актуальна, поскольку эти вещества обладают потенциальными тератогенными, канцерогенными, гормональными, неврологическими и иммунологическими свойствами. В связи с этим целью работы явилось выявление остаточных уровней содержания хлороорганических соединений – α -, β -, γ -гексахлорциклогексана (ГХЦГ), дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ), дихлордифенилдихлорэтана, дихлордифенилдихлорэтилена (ДДЕ) – в крови и моче жителей юга Дальнего Востока России. *Методы.* Исследованы моча и кровь жителей юга Дальневосточного региона России на содержание следовых концентраций ХОС методом газовой хромато-масс-спектрометрии. *Результаты.* В моче выявлен широкий спектр стойких органических веществ: α - и γ -изомеры ГХЦГ, ДДТ, ДДЕ. В крови из всех ХОС обнаружен только β -изомер ГХЦГ. *Выводы.* Спектр видов ХОС в моче говорит о возможностях выведения их организмом, однако обнаружение в крови только β -ГХЦГ указывает на более долгое удерживание последнего как самого устойчивого изомера. Сравнительная оценка полученных результатов с таковыми других авторов показала, что выявленные концентрации ХОС в крови жителей Дальнего Востока ниже, чем в типичных аграрных странах, и обнаруживаются не более чем у 30 % выборки.

Ключевые слова: изомеры гексахлорциклогексана, дихлордифенилтрихлорэтан и его метаболиты, кровь, моча, юг Дальнего Востока России

TRACE CONCENTRATIONS OF ORGANOCHLORINE COMPOUNDS IN BIOLOGICAL LIQUIDS OF THE RUSSIAN FAR EAST RESIDENTS

¹V. Yu. Tsygankov, ¹M. V. Yarygina, ^{2,3}O. N. Lukyanova, ¹M. D. Boyarova,
¹N. I. Erofeeva, ⁴S. V. Gamova, ¹A. N. Gumovskiy, ¹P. F. Kiku

¹School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, Vladivostok; School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, Vladivostok; ³Pacific Research Fisheries Centre (TINRO-Centre), Vladivostok; ⁴The Far Eastern District Medical Center of the Federal Medical Biological Agency (FEDMC FMBA of Russia), Vladivostok, Russia

The aim. The problem of accumulation of organochlorine compounds (OCPs) in the human body is relevant, because these substances have potential teratogenic, carcinogenic, hormonal, neurological and immunological properties. Thus, the purpose of the work is to identify trace organochlorine compounds (α -, β -, γ -hexachlorocyclohexane (HCH), dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), dichlorodiphenyldichloroethane, dichlorodiphenyldichlorethylene (DDE)) in the blood and urine of the residents of the south of the Russian Far East. *Methods.* The urine and blood of residents of the south of the Russian Far Eastern region were examined by gas chromatography-mass spectrometry to study the content of OCPs trace concentrations. *Results:* α - and γ -isomers of hexachlorocyclohexane (HCH), dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), dichlorodiphenyldichlorethylene (DDE) were detected in the urine. Only β -HCH in the blood was detected. *Conclusions.* The spectrum of basic OCPs in the urine indicates the possibility of its excretion by the body; however, the detection in the blood of only β -HCH indicates a longer retention of the latter as the most stable isomer. A comparative evaluation of the obtained results with the data of other authors showed that the detected concentrations of cholesterol in the blood of residents of the Far East were lower than in typical agricultural countries and were found in no more than 30 % of the sample.

Key words: isomers of HCHs, DDT and its metabolites, blood, urine, south of the Russian Far East

Библиографическая ссылка:

Цыганков В. Ю., Ярыгина М. В., Лукьянова О. Н., Боярова М. Д., Ерофеева Н. И., Гамова С. В., Гумовский А. Н., Кику П. Ф. Следовые концентрации хлороорганических соединений в биологических жидкостях жителей юга Дальнего Востока России // Экология человека. 2019. № 1. С. 15–19.

Tsygankov V. Yu., Yarygina M. V., Lukyanova O. N., Boyarova M. D., Erofeeva N. I., Gamova S. V., Gumovskiy A. N., Kiku P. F. Trace Concentrations of Organochlorine Compounds in Biological Liquids of the Russian Far East Residents. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 15-19.

Хлороорганические соединения (ХОС) являются стойкими токсичными веществами антропогенного происхождения, находившими и продолжающими находить широкое применение в сельском хозяйстве развивающихся стран. В XX веке использовались в

качестве пестицидов в основном гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ). В конце 1970-х годов производство этих двух веществ официально запретили в ряде стран, в 2001 году по решению Стокгольмской конвенции был составлен

список особо опасных поллютантов («грязная дюжина»), в который вошел ДДТ и его метаболиты (дихлордифенилдихлорэтан — ДДД и дихлордифенилдихлорэтилен — ДДЕ) [23]. В 2009 году список был расширен девятью соединениями, в том числе и изомерами ГХЦГ. Проблема их накопления в организме человека весьма актуальна, поскольку эти вещества обладают потенциальными тератогенными, канцерогенными, гормональными, неврологическими и иммунологическими свойствами [3, 15, 17]. Основной источник поступления поллютантов в организм человека — пища. Предположительно около 90 % общего загрязнения происходит через пищу и только 10 % — за счет ингаляции и кожной абсорбции [17].

Несмотря на многочисленные работы по обнаружению токсикантов в тканях и органах человека, механизмы поступления и уровни аккумуляции загрязнителей, а также их воздействие остаются недостаточно изученными или находятся на уровне теорий [5–7, 24, 25]. Хотя на использование этих соединений введены запреты и ограничения в большинстве стран, из-за стойкости и сохранения в биосфере их негативное действие на организмы продолжается.

Юг Дальнего Востока России — сельскохозяйственно развитая территория, где хлорорганические пестициды использовали на полях до их запрета. Помимо этого, регион соседствует с Китаем, где данные вещества до сих пор продолжают применяться для борьбы с вредителями сельского хозяйства и переносчиками болезней.

Национальные программы мониторинга ХОС в организме человека осуществляются в разных странах, например, Чешской республике [5, 6], Республике Корея [7]. В России аналогичные исследования также проводятся [1, 4, 13, 14]. По Дальнему Востоку России опубликованы только предварительные данные о накоплении ХОС в организме человека [19].

В связи с этим целью работы явилось выявление остаточных уровней содержания хлорорганических соединений — α -, β -, γ -ГХЦГ, ДДТ, ДДД, ДДЕ — в крови и моче жителей юга Дальнего Востока России.

Методы

Для выявления воздействия факторов среды на человека часто из биологических жидкостей рассматриваются моча и кровь, которые обеспечивают гомеостатические функции организма [26].

Тип исследования. Проведено эколого-аналитическое изучение образцов крови и мочи 21 жителя самой южной части Дальнего Востока, столицы Приморского края — г. Владивостока. Исследование является начальным этапом регулярного мониторинга стойких органических загрязняющих веществ в организме человека.

Способ отбора материала. Биологические жидкости собирались в одном из учреждений здравоохранения с письменного согласия участников эксперимента. Возраст жителей составлял от 27 до 65 лет. Число мужчин и женщин в исследовании составило

19 (27–65 лет) и 2 (42 и 48) соответственно. В связи с небольшой выборкой женщин половые различия в накоплении поллютантов не рассматривались.

Методика проведения измерений. Замороженные при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ пробы крови и мочи доставляли в лабораторию. Хлорорганические соединения извлекали экстракцией п-гексаном с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой [20, 22].

Для приготовления стандартных растворов ХОС использовали государственные стандартные образцы (ГСО) α -ГХЦГ (ГСО 8024), β -ГХЦГ (ОСО 113-04), γ -ГХЦГ (ГСО 1855П), ДДТ (ГСО 7379), ДДД (ГСО 7386), ДДЕ (ГСО 7387) с установленными метрологическими характеристиками — содержание основного вещества 99,4–99,6 % с погрешностью определения 0,4 %. Для хроматографии применяли рабочие растворы ХОС в диапазоне концентрации 1–100 нг/мл, приготовленные путем разбавления растворов ГСО соответствующим объемом очищенного п-гексана. Массовое содержание ХОС в биоматериале определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010Ultra. Более подробные параметры прибора представлены в нашей предыдущей работе [21].

Представление и обработка данных. Статистический анализ проводили с помощью пакета IBM SPSS Statistics для Mac OS X. Для сравнения полученных результатов с данными других авторов единицы измерения из пг/л переводились в нг/г липидов в связи с тем, что ХОС являются липофильными соединениями.

Результаты

Хлорорганические соединения в моче были обнаружены у восьми человек, то есть почти у 40 % из выборки. Выявленный спектр включал широкий набор ХОС (табл. 1): α - и γ -изомеры ГХЦГ, ДДТ и ДДЕ. Из изомеров ГХЦГ β -изомер обнаружен только у одного человека (50 пг/л), ДДТ — у трех (50, 70, 120 нг/л), ДДД не обнаружен, ДДЕ — у одного (490 пг/л). Суммарное содержание ХОС варьировало

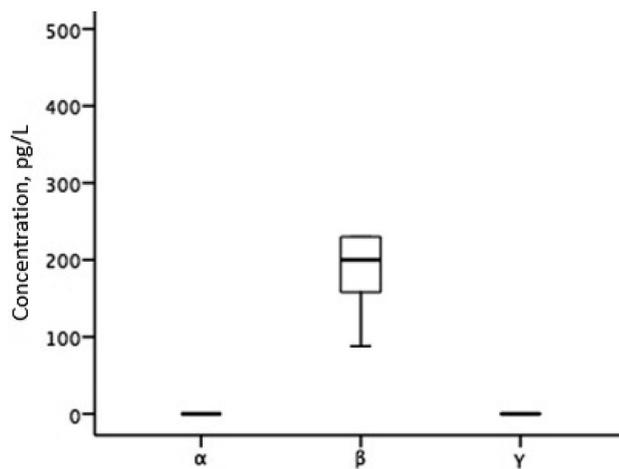
Таблица 1
Содержание хлорорганических соединений в моче пациентов, пг/л

№ п/п	Изомеры ГХЦГ				ДДТ и его метаболиты				Σ ХОП
	α -	β -	γ -	$\Sigma_{\text{сп}}$	ДДТ	ДДД	ДДЕ	$\Sigma_{\text{сп}}$	
1	160	—	110	270	—	—	—	—	270
3	—	—	—	—	120	—	—	120	120
6	70	—	—	70	—	—	—	—	70
7	—	50	—	50	—	—	—	—	50
9	—	—	—	—	50	—	—	50	50
14	50	—	50	100	—	—	—	—	100
17	310	—	—	310	70	—	490	560	870
20	60	—	—	60	—	—	—	—	60

Примечание. «—» — ниже пределов обнаружения.

от 50 до 870 пг/л: сумма изомеров ГХЦГ — от 50 до 310 пг/л; сумма ДДТ и ДДЕ — от 50 до 560 пг/л.

В то же время в крови из всех определяемых поллютантов выявлен только β-изомер ГХЦГ, причем еще в меньшем количестве проб, чем в моче, — у шести человек, то есть менее чем у 30 % из выборки (рисунок). Его концентрация в крови варьировала от 90 до 950 пг/л, что выше, чем суммарное содержание ХОС в моче. Важно подчеркнуть: ХОС обнаружены как в крови, так и в моче у одних и тех же людей.



Содержание (медиана) изомеров гексахлорциклогексана в крови пациентов, пг/л

Обсуждение результатов

Гексахлорциклогексан в середине XX века применяли в виде технической смеси, где доли его изомеров составляли: α — 55–70 %, β — 5–14 %, γ — 9–13 % [5]. Его использование в Китае, Индии и других странах продолжается из-за отсутствия экономически рентабельных и экологически чистых альтернативных методов борьбы с насекомыми — переносчиками инфекций [7]. С 1990 года производство пестицидов в Китае увеличивалось и сейчас составляет $2,2 \cdot 10^6$ т/год [11]. Запрет на использование ДДТ в российском сельском хозяйстве был введен в 1971 году, ГХЦГ — в 1990-м [1, 2].

Полученные данные позволили оценить возможный экологический риск для здоровья человека в регионе на основе сравнения с пороговыми значениями ХОС в крови по международным стандартам: концентрация ДДТ в плазме — 200 мкг/л [12]; ГХЦГ и ДДТ в цельной крови — от 0,3 до 0,9 мкг/л и от 1,5 до 31 мкг/л соответственно [10].

Сравнение полученных нами данных (табл. 2), пересчитанных на нг/г липидов (диапазон концентраций — от 2 060 до 22 230; средняя концентрация ХОС — 8 363; медиана — 5 382 нг/г липидов), с результатами других авторов показало, что содержание ХОС в крови жителей юга Дальнего Востока России меньше, чем, например, в таких аграрных странах, как Мексика и Румыния, но больше, чем в Испании, Великобритании, Швейцарии и Японии.

Таблица 2

Концентрации хлорорганических соединений в крови жителей разных регионов мира, нг/г липидов

Регион	Диапазон	Среднее значение	Медиана	Источник
Приморский край, Дальневосточный федеральный округ, Россия	2 060–22 230	8 363	5 382	[17]
Мексика	1 600–182 600	23 100	13 800	[21]
Румыния	446–47 120	–	–	[8]
Испания	–	6 187	4 123	[16]
Великобритания	10–2 720	–	115	[18]
Швейцария	–	887	–	[22]
Япония	–	151	210	[9]

Примечание. «–» — нет данных.

Таким образом, выявление следовых количеств ХОС в биологических жидкостях жителей юга Дальнего Востока России показало их присутствие в окружающей среде. Спектр видов ХОС в моче говорит о возможностях выведения их организмом, в то же время обнаружение в крови только β-ГХЦГ указывает на более долгое удерживание последнего как самого устойчивого изомера ГХЦГ. Выявленные концентрации ХОС в крови жителей Приморского края ниже, чем в типичных аграрных странах, и обнаруживаются не более чем у 30 % выборки.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18-14-00120).

Авторство

Цыганков В. Ю., Ярыгина М. В., Лукьянова О. Н. подготовили первый вариант статьи, внесли существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, участвовали в анализе данных, утвердили окончательный вариант; Боярова М. Д., Ерофеева Н. И., Гамова С. В., Гумовский А. Н., Кику П. Ф. внесли существенный вклад в подготовку и проведение эколого-аналитических исследований в медицинском учреждении и научной лаборатории, провели лабораторные исследования материала, участвовали в анализе данных.

- Цыганков Василий Юрьевич — SPIN 5047-8410; ORCID 0000-0002-5095-7260
- Ярыгина Марина Викторовна — SPIN 8533-3910; ORCID 0000-0002-3559-4799
- Лукьянова Ольга Николаевна — SPIN 5297-9150; ORCID 0000-0002-6407-2383
- Боярова Маргарита Дмитриевна — SPIN 8872-8933; ORCID 0000-0003-0496-7000
- Ерофеева Наталья Ильинична — SPIN 3530-1586; ORCID 0000-0003-0108-1853
- Гамова Светлана Владимировна — SPIN 7176-7080; ORCID 0000-0002-8253-529X
- Гумовский Александр Николаевич — SPIN 4319-4728; ORCID 0000-0002-3414-2010
- Кику Павел Федорович — SPIN 1238-5081; ORCID 0000-0003-3536-8617

Список литературы

1. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его

- влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.
2. Мамонтова Е. А., Тарасова Е. Н., Кузьмин М. И. и др. Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке жительниц Иркутской области // Гигиена и санитария. 2010. № 1. С. 35–38.
 3. Чащин В. П., Ковшов А. А., Гудков А. Б., Моргунов Б. А. Социально-экономические и поведенческие факторы риска нарушений здоровья среди коренного населения Крайнего Севера // Экология человека. 2016. № 6. С. 3–8.
 4. Чащин М. В., Чащин В. П., Фёдоров В. Н., Захарова Н. В., Кузьмин А. В., Ковшов А. А., Янталец Е. В., Кусраева З. С., Абрамян С. М., Зибарев Е. В., Мишквич И. А. Основные тенденции изменения концентраций стойких токсичных веществ в крови коренного населения Арктики // Экология человека. 2012. № 6. С. 3–7.
 5. Černá M., Spěváčková V., Batářiová A. et al. Human biomonitoring system in the Czech Republic // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2007. Vol. 210 (3–4). P. 495–499.
 6. Černá M., Krsková A., Čejchanová M. et al. Human biomonitoring in the Czech Republic: An overview // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2012. Vol. 215 (2). P. 109–119.
 7. Choi W., Kim S., Baek Y.-V. et al. Exposure to environmental chemicals among Korean adults—updates from the second Korean National Environmental Health Survey (2012–2014) // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2017. Vol. 220 (2). P. 29–35.
 8. Dirtu A. C., Cernat R., Dragan D. et al. Organohalogenated pollutants in human serum from Iassy, Romania and their relation with age and gender // Environment International. 2006. Vol. 32 (6). P. 797–803.
 9. Fukata H., Omori M., Osada H. et al. Necessity to measure PCBs and organochlorine pesticide concentrations in human umbilical cords for fetal exposure assessment // Environ. Health Perspect. 2005. Vol. 113 (3). P. 297–303.
 10. GHBC. Aktualisierung der Referenzwerte Für PCB-138, -153, -180 im Vollblut sowie Referenzwerte für HCB, β-HCH und DDE im Vollblut // Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz. 2003. Vol. 46 (2). P. 161–168.
 11. Grung M., Lin Y., Zhang H. et al. Pesticide levels and environmental risk in aquatic environments in China – A review // Environment International. 2015. Vol. 81. P. 87–97.
 12. DDT and its derivatives: environmental aspects / ed. International Programme on Chemical Safety et al. Geneva: World Health Organization, 1989. 98 p.
 13. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Mamontov A. A. et al. The influence of soil contamination on the concentrations of PCBs in milk in Siberia // Chemosphere. 2007. Vol. 67 (9). P. S71–S78.
 14. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Mamontov A. A. PCBs and OCPs in human milk in Eastern Siberia, Russia: Levels, temporal trends and infant exposure assessment // Chemosphere. 2017. Vol. 178. P. 239–248.
 15. Nicholson W. J., Landrigan P. J. Human Health Effects of Polychlorinated Biphenyls // Dioxins and Health / ed. Schecter A. Boston, MA: Springer US, 1994. P. 487–524.
 16. Porta M., de Basea M. B., Benavides F. G. et al. Differences in serum concentrations of organochlorine compounds by occupational social class in pancreatic cancer // Environmental Research. 2008. Vol. 108 (3). P. 370–379.
 17. Tanabe S., Subramanian A. Bioindicators of POPs: monitoring in developing countries. Kyoto, Japan: Kyoto University Press; Melbourne: Trans Pacific Press, 2006. 190 p.
 18. Thomas G. O., Wilkinson M., Hodson S. et al. Organohalogen chemicals in human blood from the United Kingdom // Environmental Pollution. 2006. Vol. 141 (1). P. 30–41.
 19. Tsygankov V. Y., Boyarova M. D., Kiku P. F., Yarygina M. V. Hexachlorocyclohexane (HCH) in human blood in the south of the Russian Far East // Environmental Science and Pollution Research. 2015. Vol. 22 (18). P. 14379–14382.
 20. Tsygankov V. Y., Khristoforova N. K., Lukyanova O. N. et al. Selected Organochlorines in Human Blood and Urine in the South of the Russian Far East // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2017. Vol. 99 (4). P. 460–464.
 21. Tsygankov V. Y., Lukyanova O. N., Boyarova M. D. Organochlorine pesticide accumulation in seabirds and marine mammals from the Northwest Pacific // Marine Pollution Bulletin. 2018. Vol. 128. P. 208–213.
 22. Tsygankov V. Y., Boyarova M. D. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography // Achievements in the Life Sciences. 2015. Vol. 9 (1). P. 65–68.
 23. UNEP (United Nations Environmental Program). Ridding the World of POPs: A Guide to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Geneva, Switzerland, 2005.
 24. Waliszewski S. M., Caba M., Herrero-Mercado M. et al. Organochlorine pesticide residue levels in blood serum of inhabitants from Veracruz, Mexico // Environmental Monitoring and Assessment. 2012. Vol. 184 (9). P. 5613–5621.
 25. Wicklund Glynn A., Wolk A., Aune M. et al. Serum concentrations of organochlorines in men: a search for markers of exposure // Science of The Total Environment. 2000. Vol. 263 (1–3). P. 197–208.
 26. Yusa V., Millet M., Coscolla C., Rocaet M. Analytical methods for human biomonitoring of pesticides. A review // Analytica Chimica Acta. 2015. Vol. 891. P. 15–31.

References

1. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]
2. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Kuz'min M. I. i dr. The levels of stable organic pollutants in the breast milk of women living in the Irkutsk region. *Gigiena i Sanitariya*. 2010, 1, pp. 35-38. [In Russian].
3. Chashchin V. P., Kovshov A. A., Gudkov A. B., Morgunov B. A. Socioeconomic and behavioral risk factors of disabilities among the indigenous population in the far north. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 6, pp. 3-8. [In Russian]
4. Chashchin M. V., Chashchin V. P., Fedorov V. N., Zakharova N. V., Kuz'min A. V., Kovshov A. A., Yantalets E. V., Kusraeva Z. S., Abramyan S. M., Zibarev E. V., Mishkich I. A. Key trends in the concentrations of persistent toxic substances in the blood of Arctic indigenous peoples. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 6, pp. 3-7. [In Russian]
5. Černá M., Spěváčková V., Batářiová A. et al. Human biomonitoring system in the Czech Republic. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2007, 210 (3-4), pp. 495-499.
6. Černá M., Krsková A., Čejchanová M. et al. Human biomonitoring in the Czech Republic: An overview. *International*

Journal of Hygiene and Environmental Health. 2012, 215 (2), pp. 109-119.

7. Choi W., Kim S., Baek Y.-V. et al. Exposure to environmental chemicals among Korean adults—updates from the second Korean National Environmental Health Survey (2012–2014). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2017, 220 (2), pp. 29-35.

8. Dirtu A. C., Cernat R., Dragan D. et al. Organohalogenated pollutants in human serum from Iassy, Romania and their relation with age and gender. *Environment International*. 2006, 32 (6), pp. 797-803.

9. Fukata H., Omori M., Osada H. et al. Necessity to measure PCBs and organochlorine pesticide concentrations in human umbilical cords for fetal exposure. *Environmental Health Perspectives*. 2005, 113 (3), pp. 297-303.

10. GHBC. Aktualisierung der Referenzwerte Für PCB-138, -153, -180 im Vollblut sowie Referenzwerte für HCB, β -HCH und DDE im Vollblut. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz. 2003, 46 (2), pp. 161-168.

11. Grung M., Lin Y., Zhang H. et al. Pesticide levels and environmental risk in aquatic environments in China - A review. *Environment International*. 2015, 81, pp. 87-97.

12. DDT and its derivatives: environmental aspects. International Programme on Chemical Safety et al. Geneva, World Health Organization, 1989, 98 p.

13. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Mamontov A. A. et al. The influence of soil contamination on the concentrations of PCBs in milk in Siberia. *Chemosphere*. 2007, 67 (9), pp. S71-S78.

14. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Mamontov A. A. PCBs and OCPs in human milk in Eastern Siberia, Russia: Levels, temporal trends and infant exposure assessment. *Chemosphere*. 2017, 178, pp. 239-248.

15. Nicholson W. J., Landrigan P. J. Human Health Effects of Polychlorinated Biphenyls. *Dioxins and Health*. Ed. Schecter A. Boston, 1994, pp. 487-524.

16. Porta M., de Basea M. B., Benavides F. G. et al. Differences in serum concentrations of organochlorine compounds by occupational social class in pancreatic cancer. *Environmental Research*. 2008, 108 (3), pp. 370-379.

17. Tanabe S., Subramanian A. *Bioindicators of POPs: monitoring in developing countries*. Kyoto, Melbourne, 2006, 190 p.

18. Thomas G. O., Wilkinson M., Hodson S. et al. Organohalogen chemicals in human blood from the United Kingdom. *Environmental Pollution*. 2006, 141 (1), pp. 30-41.

19. Tsygankov V. Y., Boyarova M. D., Kiku P. F., Yarygina M. V. Hexachlorocyclohexane (HCH) in human blood in the south of the Russian Far East. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015, 22 (18), pp. 14379-14382.

20. Tsygankov V. Y., Khristoforova N. K., Lukyanova O. N. et al. Selected Organochlorines in Human Blood and Urine in the South of the Russian Far East. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017, 99 (4), pp. 460-464.

21. Tsygankov V. Y., Lukyanova O. N., Boyarova M. D. Organochlorine pesticide accumulation in seabirds and marine mammals from the Northwest Pacific. *Marine Pollution Bulletin*. 2018, 128, pp. 208-213.

22. Tsygankov V. Y., Boyarova M. D. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography. *Achievements in the Life Sciences*. 2015, 9 (1), pp. 65-68.

23. UNEP (United Nations Environmental Program). *Ridding the World of POPs: A Guide to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Geneva, Switzerland, 2005.

24. Waliszewski S. M., Caba M., Herrero-Mercado M. et al. Organochlorine pesticide residue levels in blood serum of inhabitants from Veracruz, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012, 184 (9), pp. 5613-5621.

25. Wicklund Glynn A., Wolk A., Aune M. et al. Serum concentrations of organochlorines in men: a search for markers of exposure. *Science of the Total Environment*. 2000, 263 (1-3), pp. 197-208.

26. Yusa V., Millet M., Coscolla C., Rocaet M. Analytical methods for human biomonitoring of pesticides. *A review. Analytica Chimica Acta*. 2015, 891, pp. 15-31.

Контактная информация:

Цыганков Василий Юрьевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экобиотехнологии Департамента пищевых наук и технологий, доцент Департамента пищевых наук и технологий Школы биомедицины ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
 Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8
 E-mail: tsig_90@mail.ru; tsygankov.vyu@dvfu.ru

УДК 612.017.2-054.6-057.875(470-25)

АКТИВНОСТЬ, ДИСБАЛАНС И АДАПТАЦИОННЫЕ РЕАКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСА

© 2019 г. А. А. Киричук, И. В. Радыш, А. Я. Чижов

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

Выявление причинно-следственных связей между воздействием факторов среды и изменениями адаптационного потенциала человека является одной из актуальных задач эколого-биологического мониторинга. *Цель* – сравнительная оценка состояния активности функциональных систем, дисбаланса и характера адаптационных реакций организма у иностранных студентов, студентов из России и Содружества Независимых Государств (СНГ). *Методы*. Активность функциональных систем и дисбаланс определяли методом электропунктурной диагностики (ЭПД) по Y. Nakatani. Обследованы 180 мужчин-студентов Российского университета дружбы народов из Российской Федерации, СНГ, Юго-Восточной Азии, Ближнего и Среднего Востока, Латинской Америки и Африки в возрасте 18–22 лет (по 30 человек в каждой группе). Характер адаптационных реакций организма оценивали у 916 студентов по методу Л. Х. Гаркави с соавторами. Для определения адаптационных реакций анализировали по 200 клеток периферической крови. *Результаты*. Выявлено, что чем ниже величина среднего тока и выше степень дисбаланса при ЭПД у иностранных студентов из различных климатогеографических зон, тем больше отмечается доля неблагоприятных адаптационных реакций – коэффициенты корреляции $r = -0,9048$ и $r = +0,8989$ соответственно. Неблагоприятные адаптационные реакции – острый стресс, хронический стресс и реакция переактивации (РП), в большей степени РП, – чаще наблюдались у студентов из Африки и Латинской Америки. *Выводы*. Смена иностранными студентами климатоэкологических, хронобиологических и социальных условий сопровождается статистически значимым снижением энергетического потенциала, выраженным дисбалансом активности функциональных систем организма и соответственно в большей степени проявлениями неблагоприятных адаптационных реакций – стресса и РП. Выявление зависимости резкой смены климатоэкологических и социальных условий проживания со статистически значимым ухудшением показателей функционального состояния молодых людей наиболее рельефно обозначает необходимость целенаправленной коррекции адаптационного потенциала у иностранных студентов, приезжающих на обучение в московский мегаполис.

Ключевые слова: эколого-биологический мониторинг, факторы окружающей среды, электропунктурная диагностика, адаптационные реакции, иностранные студенты

ACTIVITY, IMBALANCE AND ADAPTATION RESPONSES OF FUNCTIONAL SYSTEMS OF ORGANISM OF FOREIGN STUDENTS OF PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA IN MEGAPOLIS CONDITIONS

A. A. Kirichuk, I. V. Radysh, A. Ya. Chizhov

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

The identification of causation and incidence between the impact of environmental factors and changes in the human adaptive potential is one of the urgent tasks of ecological and biological monitoring. *The aim*: a comparative assessment of the state activity of functional systems, imbalance and the nature of adaptation reactions of the body in foreign students, students from Russia and the Commonwealth of Independent States (CIS). *Methods*. The activity of the functional systems and the imbalance were determined by the method of electropuncture diagnostics (EPD) according to Y. Nakatani. 180 men-students (aged 18-22) of PFUR from Russia, CIS, Southeast Asia, Middle East, Latin America and Africa were examined (30 people in each group). The nature of the adaptive reactions of the body was evaluated in 916 students by the method of L.H. Garkavi et al. To determine the adaptation reactions, 200 peripheral blood cells were analyzed. *Results*. It was found that the lower the average current and the higher the degree of imbalance in EPD in foreign students from different climatic and geographical zones, the more the percentage of unfavorable adaptation reactions is noted - correlation coefficients $r = -0.9048$ and $r = +0.8989$, respectively. Unfavorable adaptation reactions - acute stress, chronic stress and reaction of re-activation (AS, ChS, REA), to a greater degree reaction of extra activation, were more often observed in students from Africa and Latin America. *Conclusions*. The change in climatic, ecological, chronobiological and social conditions in foreign students is accompanied by a significant decrease in the energy potential, expressed by an imbalance in the activity of the body's functional systems and, accordingly, to a greater extent, by manifestations of adverse adaptive reactions-stress and reaction of re-activation. Revealing the dependence in change of climatic-ecological and social living conditions with a reliable deterioration in the indicators of the functional state of young people most clearly indicates the need for a purposeful correction of the adaptation potential in foreign students coming to study in the Moscow megapolis.

Key words: environmental and biological monitoring, environmental factors, electropuncture diagnostics, adaptation reactions, foreign students

Библиографическая ссылка:

Киричук А. А., Радыш И. В., Чижов А. Я. Активность, дисбаланс и адаптационные реакции функциональных систем организма иностранных студентов РУДН в условиях мегаполиса // Экология человека. 2019. № 1. С. 20–25.

Kirichuk A. A., Radysh I. V., Chizhov A. Ya. Activity, Imbalance and Adaptation Responses of Functional Systems of Organism of Foreign Students of Peoples' Friendship University of Russia in Megapolis Conditions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 20-25.

Из года в год повышается значимость интегрированных антропогенных влияний в масштабном загрязнении окружающей среды крупных городов, что все чаще приводит к изменениям гомеостатических реакций организма человека [1, 14, 15, 27]. Чрезмерное увеличение автотранспорта, активная деятельность промышленных предприятий, другие неблагоприятные факторы, приводящие к загрязнению среды мегаполисов, не предполагают быстрого и легкого решения проблемы. Выявление и изучение причинно-следственных связей между воздействием факторов среды и изменениями адаптационного потенциала человека является одной из актуальных задач эколого-биологического мониторинга [4, 10, 15], основная цель которого – выявление зависимости между состоянием окружающей среды и здоровьем популяции или отдельного индивидуума [19–22, 24, 25].

Российский университет дружбы народов (РУДН) отличается от большинства российских вузов тем, что в нем обучаются студенты более чем из 160 стран. Иностранцы, поступая в университет, сталкиваются не только с интенсивной нагрузкой (необходимо за год выучить русский язык), но и с изменением привычных климатических, экологических, хронобиологических и социальных условий [14, 15]. Все это предъявляет повышенные требования к функциональным системам организма и может приводить к срыву механизмов адаптации [9]. В практическом плане, как правило, анализируются объём и характер антропогенного влияния на человека и популяцию [2, 6, 7, 12]. В то же время оценка индивидуальных физиологических показателей, характеризующих уровень адаптационного потенциала, позволит оценить влияние негативных факторов среды на показатели, характеризующие количество здоровья, и своевременно принять соответствующие профилактические меры.

В рассматриваемом вопросе ключевым моментом является определение критериев здоровья и их биологическое обоснование. Метод определения уровня здоровья должен быть неинвазивным, легко переносимым пациентами независимо от возраста. Кроме того, в связи с перспективой широкого применения метод определения интегрального показателя здоровья не должен требовать значительных временных, кадровых и финансовых ресурсов. Сами показатели должны быть немногочисленными. В результате сложения индивидуальных результатов измерения здоровья нескольких человек должны получаться общие показатели здоровья группы.

Одним из объективных методов интегральной оценки активности функциональных систем организма и уровня здоровья человека, удовлетворяющим все вышеперечисленные условия, является компьютерная электропунктурная диагностика (ЭПД) – исследование электропроводности биологически активных точек (БАТ) кожных покровов. Биологический смысл показателя среднего тока БАТ, измеренного по методу японского профессора Y. Nakatani, в современном

понимании представляется как характеристика «жизненного запаса» энергии организма, требующейся для поддержания гомеостаза [3, 14, 18, 26].

От электропроводности кожных БАТ зависит степень энергоинформационного влияния внешнего электромагнитного поля на организм. Кожные БАТ являются своего рода «шлюзами», регулирующими степень открытости организма для окружающей среды. Для адаптационного процесса в организме нужна энергия, «наличный запас» которой характеризуется величиной среднего тока БАТ [3]. Чем больше средний ток, тем выше энергетический ресурс организма для успешной адаптации, понимаемой как адекватное приспособление «меньшей» ценой, другими словами, сохранение максимальной свободы организма в измененных условиях среды пребывания. Согласно исследованиям в этой области [3, 14, 18] популяционной нормой для взрослых считается 40–60 мкА. Средний ток порядка 10 мкА критичен для жизни [3]. Безусловно, применение ЭПД как интегрального критерия здоровья человека не претендует на абсолютную истину, но на данном этапе развития науки ее использование наиболее оправданно в широкой практике для экспресс-оценки большого контингента людей [17].

В 70-х годах прошлого столетия Л. Х. Гаркави с соавт. [5], в дополнение к реакции стресса Ганса Селье [23], описали еще три типа адаптационных реакций: реакцию тренировки (РТ), реакцию спокойной активации (РСА) и реакцию повышенной активации (РПА).

В отличие от стресса, они являются реакциями на «слабые» и «средние» раздражители и составляют основу нормы, обеспечивая адекватную резистентность организма к неблагоприятным и повреждающим факторам среды. В связи с этим появилась возможность подойти к управлению резистентностью путем вызова антистрессорных реакций с использованием обратной связи с организмом по сигнальным показателям реакций – соотношению форменных элементов лейкограммы. В 1984 году была впервые описана еще одна реакция, которая была названа реакцией переактивации (РП) [8]. Формируется РП при воздействии на организм сильнодействующих факторов и характеризуется выраженным повышением содержания в крови лимфоцитов – 43 % и более. Биологическая роль РП заключается в стремлении организма сохранить устойчивость в ответ на сильное воздействие негативного фактора и защитить организм от перехода в стресс, который наступает вслед за РП и характеризуется резким снижением лимфоцитов крови (менее 20 %). При РП расходуются значительные энергетические резервы организма [8].

Обнаружение общих неспецифических адаптационных реакций – стресса в ответ на действие разных по качеству сильных раздражителей, реакций активации и тренировки в ответ на действие средних по силе и слабым раздражителям соответственно, РП как максимальной степени реакции активации, а также

периодической закономерности их развития — свидетельствует о том, что организм реагирует как единая самоорганизующаяся система на все многообразие по качеству и количеству существующих раздражителей.

Учитывая тот факт, что значительная часть территории Российской Федерации (РФ), куда входит и московский мегаполис, характеризуется экологически неблагоприятными условиями, актуальность изучения характера адаптационных реакций к неблагоприятным условиям окружающей среды вполне очевидна. При условии подтверждения взаимосвязи характера адаптационных реакций и электрофизиологических свойств БАТ у обследуемых студентов неинвазивный метод компьютерной ЭПД позволит расширить возможности эколого-биологического мониторинга.

Методы

Методом ЭПД по Y. Nakatani обследованы 180 мужчин-студентов РУДН из России, СНГ, Юго-Восточной Азии, Ближнего и Среднего Востока, Латинской Америки и Африки в возрасте 18–22 лет (по 30 человек в каждой группе). В исследованиях использовался метод ЭПД на аппаратно-программном комплексе «Диаконс». Сравнивались интегральные показатели среднего тока всех измеренных (с правой и левой стороны БАТ) и дисбаланса токов, характеризующих активность функциональных систем организма. Дисбаланс функциональных систем отражает разброс 24 значений токов БАТ относительно среднего тока всех измерений обследуемого и является одним из важнейших критериев классической ЭПД по Y. Nakatani. Чем больше дисбаланс организма, тем последний менее стабилен, тем выше риск срывов в работе его функциональных систем [11, 17].

Подход с использованием минимума показателей общего адаптационного статуса (другими словами, уровня здоровья), например лейкоцитарной формулы в периодической системе адаптационных реакций по Л. Х. Гаркави с соавт. [5], успешно применяется в ряде высокоэффективных методик исследований уровня здоровья. По этому методу обследованы 916 студентов в возрасте от 18 до 22 лет. Из них 148 студентов из Африки, 111 — из Латинской Америки, 140 — из Ближнего и Среднего Востока, 171 — из Юго-Восточной Азии, 202 — из стран СНГ и 144 студента из различных регионов РФ. Для определения адаптационных реакций анализировали по 200 клеток периферической крови. Характер адаптационных реакций организма оценивали по процентному содержанию лимфоцитов в крови. Общее число лейкоцитов в крови обследуемых студентов и все остальные форменные элементы белой крови служили дополнительными признаками адаптационных реакций и свидетельствовали об их полноценности и уровне реактивности [5].

На момент обследования все участники не имели жалоб и клинических симптомов острых и обостренных хронических заболеваний.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью встроенного в программу «Диаконс» пакета современного статистического анализа обработки данных с использованием «StatPlus 5.8 Professional», экспресс-метода профессора Р. Б. Стрелкова [13], а также SPSS 23. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

Результаты

Средние величины токов и показателей дисбаланса, полученные при обследовании в группах, четко укладывались в нормальное Гауссовское распределение, что позволяло для статистического анализа применить t-критерий Стьюдента и значение функции Лапласа F(t) (табл. 1, 2).

Таблица 1

Показатели активности функциональных систем у иностранных студентов, студентов из Российской Федерации и Содружества Независимых Государств (в каждой группе n = 30)

Регион	Среднее значение токов (M ± m), мкА	Доверительные границы токов, мкА	t / F(t)
РФ	81,9 ± 3,2	75,3 ÷ 88,5	—
СНГ	66,7 ± 3,5	59,6 ÷ 73,8	3,21/<0,998
Юго-Восточная Азия	58,7 ± 2,8	52,8 ÷ 64,4	5,46/<0,999
Ближний и Средний Восток	52,9 ± 4,0	44,8 ÷ 61,0	5,12/<0,999
Латинская Америка	58,1 ± 4,0	50,0 ÷ 66,2	4,65/<0,999
Африка	45,6 ± 3,5	38,0 ÷ 53,2	17,90/<0,999

Примечание. t / F(t) — в сравнении с показателями Российской Федерации

Таблица 2

Показатели дисбаланса функциональных систем у иностранных студентов, студентов из Российской Федерации и Содружества Независимых Государств (в каждой группе n = 30)

Регион	Среднее значение дисбаланса (M ± m), %	Доверительные границы среднего значения, %	t / F(t)
РФ	11,4 ± 0,7	10,0 ÷ 12,8	—
СНГ	22,5 ± 1,0	20,4 ÷ 24,6	9,09/<0,999
Юго-Восточная Азия	26,8 ± 1,6	23,5 ÷ 30,1	8,80/<0,999
Ближний и Средний Восток	28,9 ± 2,3	24,2 ÷ 33,6	7,29/<0,999
Латинская Америка	29,8 ± 1,9	25,8 ÷ 33,8	9,11/<0,999
Африка	34,2 ± 2,7	28,7 ÷ 39,7	8,17/<0,999

Примечание. t / F(t) — в сравнении с показателями Российской Федерации.

В представленных результатах (см. табл. 1, 2) видны различия в интегральных показателях среднего тока и дисбаланса: у студентов РФ с высокой степенью значимости (P < 0,001) выше показатели средней электропроводности измеренных БАТ и более выражена равномерность электропроводности (меньше

Таблица 3

Адаптационные реакции у иностранных студентов, студентов из Российской Федерации и Содружества Независимых Государств
($M \pm m, \%$)

Регион (n)	РТ	РСА	РПА	РП	ОС	ХС	Благоприятные адаптационные реакции (РТ, РСА, РПА)	Неблагоприятные адаптационные реакции (РП, ОС, ХС)	$t_1 / F(t)$ $t_2 / F(t)$
РФ (144)	27,8±3,7	30,5±3,8	35,4±4,0	4,2±1,7	0,0±0,7	2,1±1,2	93,7±2,0	6,3±2,0	–
СНГ (202)	22,4±2,9	24,9±3,0	32,3±3,3	15,4±2,2	4,5±1,5	0,5±0,5	79,6±2,8	20,4±2,8	4,10 / < 0,99993
Юго-Восточная Азия (171)	13,5±2,6	24,1±3,3	38,2±3,7	17,7±2,9	5,9±1,8	0,6±1,0	75,8±3,3	24,2±3,3	4,64 / < 0,99993 0,88 / = 0,07171
Ближний и Средний Восток (140)	20,0±3,4	22,8±3,5	30,0±3,9	7,8±3,2	5,7±2,0	3,7±1,6	72,8±3,6	27,2±3,6	5,07 / < 0,99993 1,49 / = 0,86378
Латинская Америка (111)	22,7±4,0	18,2±4,2	27,3±3,7	27,3±3,7	2,7±1,5	1,8±1,7	68,2±4,4	31,8±4,4	4,83 / < 0,99993 2,18 / = 0,97074
Африка (148)	7,5±2,3	8,8±2,3	28,6±3,7	52,4±4,1	2,7±1,3	0,0±0,7	44,9±4,1	55,1±4,1	10,7 / < 0,99993 6,99 / < 0,99993

Примечания: РТ – реакция тренировки; РСА – реакция спокойной активации; РПА – реакция повышенной активации; РП – реакция переактивации; ОС – острый стресс; ХС – хронический стресс; $t_1 / F(t)$ – в сравнении с показателями РФ; $t_2 / F(t)$ – в сравнении с показателями СНГ.

показатель дисбаланса). Это указывает на значимо высокий адаптационный потенциал, или потенциал здоровья. Выявлено, что чем ниже средняя величина тока и выше степень дисбаланса при ЭПД у иностранных студентов из различных климатогеографических зон, тем больше отмечается доля неблагоприятных адаптационных реакций – коэффициенты корреляции $r = -0,9048$ и $r = +0,8989$ соответственно. Неблагоприятные адаптационные реакции – острый стресс, хронический стресс и реакция переактивации (ОС, ХС, РП), в большей степени РП, – чаще наблюдались у студентов из Африки и Латинской Америки, а у студентов из различных регионов России этот показатель был с высокой степенью значимости ниже (табл. 3).

Обсуждение результатов

Результаты исследований характера адаптационных реакций показали четкую корреляционную взаимосвязь параметров со средней электропроводностью и дисбалансом. Согласно существующей концепции [11, 18], большая величина среднего тока допускает больший дисбаланс как менее прогностически тревожный. Иными словами, при большем «запасе» здоровья организму менее опасны одни и те же относительные диспропорции в энергообеспечении различных его систем.

Подобная повторяемость результатов у иностранных студентов из различных регионов планеты свидетельствует об универсальности влияния резкой смены территории проживания и социальных условий на потенциал здоровья людей.

Выявлено, что показатели интегральной оценки функционального состояния, дисбаланса органов и систем, а также адаптационных реакций организма с высокой степенью значимости отличаются от аналогичных параметров студентов из РФ в худшую сторону.

Таким образом, для расширения возможностей биолого-экологического мониторинга целесообразно измерение в репрезентативной группе средней

активности и дисбаланса функциональных систем организма на основании данных измерения кожной электропроводности в проекции дистальных БАТ по методу Y. Nakatani.

Полученные результаты позволили выявить, что смена иностранными студентами климатоэкологических, хронобиологических и социальных условий сопровождается статистически значимым снижением энергетического потенциала, выраженным дисбалансом активности функциональных систем организма и соответственно в большей степени проявлениями неблагоприятных адаптационных реакций – стресса и реакции переактивации. Более высокий уровень активности функциональных систем у студентов из РФ сопровождается большей однородностью значений активности отдельных функциональных систем и низким дисбалансом, что эквивалентно меньшему напряжению приспособительных механизмов организма и отражает устойчивый уровень адаптации ко всем условиям среды пребывания. В связи с этим выявление зависимости резкой смены климатоэкологических и социальных условий проживания с ухудшением показателей физиологического состояния молодых людей наиболее рельефно обозначает необходимость целенаправленного анализа причин снижения адаптационного потенциала у иностранных студентов.

Авторство

Киричук А. А. разработал концепцию и дизайн исследования, собрал, обработал и осуществил анализ материала; Радыш И. В. участвовал в анализе и интерпретации данных; Чижов А. Я. участвовал в анализе и интерпретации данных, отредактировал рукопись.

Киричук Анатолий Александрович – ORCID ID 0000-0001-5125-5116

Радыш Иван Васильевич – SPIN 4780-5985

Чижов Алексей Ярославович – SPIN 6701-2688; ORCID ID 0000-0003-0542-1552

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Коновалова Г. М., Ожева Р. Ш. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека // Новые технологии. 2010. № 2. С. 142–145.
2. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.
3. Воронов В. Я. Модель системы энергетических связей между точками акупунктуры. М.: АНМИ, 1999. 193 с.
4. Гараева Г. Р., Еськов В. М., Еськов В. В., Гудков А. Б., Филатова О. Е., Химикина О. И. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного населения Югры // Экология человека. 2015. № 9. С. 50–55.
5. Гаркави Л. Х., Квакуина Е. Б., Кузьменко Т. С. Антистрессорные реакции и активационная терапия. М.: ИМЕДИС, 1998. 656 с.
6. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // Медицинская техника. 2001. № 3. С. 40–44.
7. Зоуроб А. М., Чижов А. Я., Радыш И. В. Изменения адаптационных реакций организма студентов, проживающих в условиях субтропического климата // Технологии живых систем. 2010. Т. 7, № 7. С. 48–52.
8. Караш Ю. М., Балака Ю. Д., Кононова Э. Ф., Чижов А. Я., Шутова Л. С. Об адаптационных реакциях у больных с хроническим неспецифическим воспалением придатков матки // Акушерство и гинекология. 1984. № 9. С. 61–64.
9. Киричук А. А., Чижов А. Я. Влияние московского мегаполиса на адаптационные реакции студентов РУДН из Латинской Америки // Научные технологии. 2016. Т. 17, № 11. С. 72–76.
10. 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.
11. Лакин В. В. Метод электропунктурной диагностики по Накатани и компьютерный комплекс «Диаконс». М.: РГМУ, 2003. 101 с.
12. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.
13. Стрелков Р. Б. Экспресс-метод статистической обработки экспериментальных и клинических данных. М., 1986. 86 с.
14. Сударушкин А. В., Михайличенко К. Ю., Чижов А. Я., Радыш И. В. Сравнительный анализ показателей кожной электропроводности биологически активных точек взрослого и детского населения экологически контрастных городов Московской области // Экология человека. 2011. № 8. С. 8–11.
15. Ходорович А. М., Радыш И. В., Крупнов А. И., Маслова О. В. Медико-психологическая адаптация иностранных граждан в условиях мегаполиса. М.: РУДН, 2008. 140 с.
16. Чащин В. П., Ковшов А. А., Гудков А. Б., Моргунов Б. А. Социально-экономические и поведенческие факторы риска нарушений здоровья среди коренного населения Крайнего Севера // Экология человека. 2016. № 6. С. 3–8.
17. Чижов А. Я. Диагностика, профилактика и лечение экологически обусловленной патологии. М.: РУДН, 2008. 252 с.
18. Amaro J. Contemporary Acupuncture Diagnosis: Electro-Meridian Diagnosis // Acupuncture Today. 2002. Vol. 3, iss. 9. P. 3–6.
19. Buckner S. L., Mouser J. G., Dankel S. J., Jesse M. B., Mattocks K. T., Loenneke J. P. The general adaptation syndrome: potential misapplications to resistance exercise // J. Sci. Med. Sport. 2017. Vol. 20, N 11. P. 1015–1017.
20. Cruz D. The Physiological Correlates of Race-Related Stress and Health Among African Americans and Latinos. Seton Hall University Dissertations and Theses (ETDs). 2010. 155 p.
21. Cunanan A. J., DeWeese B. H., Wagle J. P., Carroll K. M., Sausaman R., Hornsby III W., Haff G. G., Triplett N. T., Pierce K. C., Stone M. H. The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization // Sports Medicine. 2018. Vol. 48, iss. 4. P. 787–797.
22. Yaribeygi H., Panahi Y., Sahraei H., Johnston T. P., Sahebkar A. The impact of stress on body function: A review // EXCLI J. 2017. Vol. 21, N 16. P. 1057–1072.
23. Selye H. Thymus and adrenals in the response of the organism to injuries and intoxication // Brit. J. Exp. Path. 1936. N 17. P. 234–248.
24. Sidorov P. I., Gudkov A. B., Tedder Ju. R. Physiological aspects of optimization of expedition and shifted working schedules in Transpolar regions // Meditsina truda i promyshlennaia ekologiya. 1996. N 6. P. 4–7.
25. Szabo S., Tache Y., Somogyi A. The legacy of Hans Selye and the origins of stress research - a retrospective 75 years after his landmark brief letter to the editor of Nature // Stress. 2012. N 15. P. 472–478.
26. Tsai M. Y., Chen S. Y., Lin C. C. Theoretical basis, application, reliability, and sample size estimates of a Meridian Energy Analysis Device for Traditional Chinese Medicine Research // Clinics (San Paulo). 2017. Vol. 72 (4). P. 254–257.
27. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grjibovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry // Epidemiologia and prevenzione. 2010. Vol. 34, iss. 5–6. P. 138.

References

1. Agadzhanian N. A., Konovalova G. M., Ozhev R. Sh. Impact of external factors on formation of adaptation reactions of a human body. *Novye tekhnologii* [New technologies]. 2010, 2, pp. 142-145. [In Russian]
2. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i Sanitariya*. 2011, 3, pp. 91-95. [In Russian]
3. Voronov V. Ya. *Model sistemy energeticheskikh svyazei mezhdu tochkami akupunktury* [Model of the system of energy connections between points of acupuncture]. Moscow, 1999, 193 p.
4. Garaeva G. R., Eskov V. M., Eskov V. V., Gudkov A. B., Filatova O. E., Himikova O. I. Chaotic dynamics of cardiointervals in three age groups of indigenous people of Ugra. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 9, pp. 50-55. [In Russian]
5. Garkavi L. H., Kvakin E. B., Kuzmenko T. S. *Antistressornye reaktzii i aktivatsionnaya terapiya* [Antistress reactions and activation therapy]. Moscow, IMEDIS Publ., 1998, 656 p.

6. Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvina L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and specific features of cardiac rhythm regulation during occupational activity. *Meditsinskaya Tekhnika*. 2001, 35 (3), pp. 166-170. [In Russian]
7. Zourob A. M., Chizhov A. Ya., Radysh I. V. Changes adaptive reactions of organism students living in subtropical climate. *Tekhnologii zhivyykh sistem* [Technologies of Living Systems]. 2010, 7 (7), pp. 48-52. [In Russian]
8. Karash Yu. M., Balika Yu. D., Kononova E. F., Chizhov A. Ya., Shutova L. S. About adaptive reactions in patients with chronic non-specific inflammation of the uterine appendages. *Akusherstvo i Ginekologiya*. 1984, 9, pp. 61-64. [In Russian]
9. Kirichuk A. A., Chizhov A. Ya. The influence of the Moscow metropolis on the adaptation reactions of PFUR students from Latin America. *Naukoemkie tekhnologii* [High technology]. 2016, 17 (11), pp. 72-76. [In Russian]
10. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of population living in areas of local Earth's crust ruptures. *Problemy Sotsialnoi Gigieny i Istorii Meditsiny. III Sotsialnoi Gigieny Ekonomiki i Upravleniia Zdravookhraneniem im N. A. Semashko RAMN AO Assotsiatsiia Meditsinskaya Literatura*. 2005, 4, pp. 17-19. [In Russian]
11. Lakin V. V. *Metod elektropunkturoi diagnostiki po Nakatani i kompyuternyy kompleks «Diakoms»* [The method of electropuncture diagnostics by Nakatani and the computer complex "Diakoms"]. Moscow, 2003, 101 p.
12. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]
13. Strelkov R. B. *Ekspress-metod statisticheskoi obrabotki eksperimentalnykh i klinicheskikh dannykh* [Express method of statistical processing of experimental and clinical data]. Moscow, 1986, 86 p.
14. Sudarushkin A. V., Mikhailichenko K. Yu., Chizhov A. Ya., Radysh I. V. The comparative analysis of skin electrical conductivity of biologically active points of adult and children population of ecologically contrasting cities of the Moscow Region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 8, pp. 8-11. [In Russian]
15. Khodorovich A. M., Radish I. V., Krupnov A. I., Maslova O. V. *Mediko-psikhologicheskaya adaptatsiya inostrannykh grazhdan v usloviyakh megapolisa* [Medico-psychological adaptation of foreign citizens in a metropolis]. Moscow, 2008, 140 p.
16. Chashchin V. P., Kovshov A. A., Gudkov A. B., Morgunov B. A. Socioeconomic and behavioral risk factors of disabilities among the indigenous population in the Far North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 6, pp. 3-8. [In Russian]
17. Chizhov A. Ya. *Diagnostika, profilaktika i lechenie ekologicheskoi obuslovennoi patologii* [Diagnosis, prevention and treatment of environmentally caused pathology]. Moscow, 2008, 252 p.
18. Amaro J. Contemporary Acupuncture Diagnosis: Electro-Meridian Diagnosis. *Acupuncture Today*. 2002, 3 (9), pp. 3-6.
19. Buckner S. L., Mouser J. G., Dankel S. J., Jessee M. B., Mattocks K. T., Loenneke J. P. The general adaptation syndrome: potential misapplications to resistance exercise. *J. Sci. Med. Sport*. 2017, 20 (11), pp. 1015-1017.
20. Cruz D. The Physiological Correlates of Race-Related Stress and Health among African Americans and Latinos. Seton Hall University Dissertations and Theses (ETDs). 2010, 155 p.
21. Cunanan A. J., DeWeese B. H., Wagle J. P., Carroll K. M., Sausaman R., Hornsby III W., Haif G. G., Triplett N. T., Pierce K. C., Stone M. H. The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports Medicine*. 2018, 48 (4), pp. 787-797.
22. Yaribeygi H., Panahi Y., Sahraei H., Johnston T.P., Sahebkar A. The impact of stress on body function: A review. *EXCLI J*. 2017, 21 (16), pp. 1057-1072.
23. Selye H. Thymus and adrenals in the response of the organism to injuries and intoxication. *Brit. J. Exp. Path.* 1936, 17, pp. 234-248.
24. Sidorov P. I., Gudkov A. B., Tedder Ju. R. Physiological aspects of optimization of expedition and shifted working schedules in Transpolar regions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 1996, 6, pp. 4-7
25. Szabo S., Tache Y., Somogyi A. The legacy of Hans Selye and the origins of stress research - a retrospective 75 years after his landmark brief letter to the editor of Nature. *Stress*. 2012, 15, pp. 472-478.
26. Tsai M. Y., Chen S. Y., Lin C. C. Theoretical basis, application, reliability, and sample size estimates of a Meridian Energy Analysis Device for Traditional Chinese Medicine Research. *Clinics (San Paulo)*. 2017, 72 (4), pp. 254-257.
27. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grjibovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010, 34 (5-6), p. 138.

Контактная информация:

Радыш Иван Васильевич — доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой управления сестринской деятельностью Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 10, корп. 2

E-mail: iradysh@mail.ru

УДК 332.1 (985)

КОРЕННЫЕ МАЛОЧИСЛЕННЫЕ НАРОДЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ (ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ)

© 2019 г. ¹В. И. Павленко, ²А. Петров, ^{3,4}С. Ю. Куценко, ⁵Г. Ф. Деттер¹ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН», г. Москва;²Университет Северной Айовы, США; ³ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», г. Москва; ⁴ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН», г. Архангельск; ⁵ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард

Цель исследования – выявление факторов, обеспечивающих жизнедеятельность коренных малочисленных народов Севера (КМНС) в Арктике, а также анализ воздействия их на сохранение и развитие этноса. Выявление проблем и оценка перспектив развития КМНС состоит из трех этапов: анализа зарубежных и отечественных источников, результатов научных экспедиций авторского коллектива; систематизации статистических данных, включающих информацию о динамике развития КМНС (численность, занятость традиционными видами деятельности); оценки влияния правовых, экономических и социальных факторов на сохранение и развитие КМНС. Комплексный анализ широкого круга правовых, экономических и социальных проблем обеспечения традиционной жизнедеятельности КМНС в границах Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) показал необходимость совершенствования законодательных, финансовых и управленческих действий по их сохранению и как специфической общности, адаптированной к чрезвычайно жестким условиям постоянного проживания за Полярным кругом, и как уникального феногенотипа, деятельность которого тесно переплетена, сопряжена с состоянием природной среды макрорегиона и фактически всецело от него зависит. Подчеркнута исключительная роль и место коренных народностей в сохранении для будущих поколений природных комплексов Арктики в XXI веке. В условиях резкого нарастания техногенной и антропогенной нагрузки на природные комплексы макрорегиона, связанные с интенсивным освоением топливно-энергетических ресурсов, месторождений редких и драгоценных металлов, развитием береговой транспортной инфраструктуры и кратным повышением численности населения создаваемых в АЗРФ «опорных зон», формируется угроза исчезновения КМНС (энты осталось порядка 200 человек и воедь – менее 100 человек). В условиях масштабного, интегрального воздействия техногенных, антропогенных и климатических факторов на коренные сообщества в Арктике, среду их обитания и традиционного хозяйствования очевидна необходимость неотложного принятия комплекса конкретных и адресных правовых, экономических и социальных мер, направленных на обеспечение их жизнедеятельности и в конечном счете сохранение.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, коренные малочисленные народы Севера, территории традиционного природопользования, сохранение традиционной жизнедеятельности, инфраструктура, правовое регулирование

INDIGENOUS PEOPLES OF THE RUSSIAN ARCTIC (PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS)

¹V. I. Pavlenko, ²A. Petrov, ^{3,4}S. Yu. Kutsenko, ⁵G. F. Detter¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; ²University of Northern Iowa, USA; ³Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow;⁴Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia;⁵Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard, Russia

The aim of the study - identification of factors that ensure the vital activity of indigenous small-numbered peoples of the North in the Arctic, as well as the analysis of their impact on the preservation and development of the ethnic group. Identifying problems and assessing the prospects for the development of indigenous people consists of 3 stages: analysis of foreign and domestic sources, the results of scientific research teams; systematization of statistical data, including information on the dynamics of the development of indigenous people (number, employment in traditional activities); the impact assessing of legal, economic and social factors on the preservation and development of indigenous people. A comprehensive analysis of a wide range of legal, economic and social problems of ensuring the traditional life of indigenous people within the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF) has shown the need to improve legislative, financial and managerial actions to preserve them as a specific community, adapted to the extremely severe conditions of permanent residence beyond the Arctic Circle and as a unique phenogenotype, whose activity is closely conjugated with the environmental state of the macroregion and in fact is entirely dependent on it. The exclusive role of indigenous peoples in preserving the natural complexes of the Arctic in the 21st century for future generations was emphasized. Under the conditions of proliferation of technogenic and anthropogenic burden on the natural complexes of the macroregion, associated with the intensive development of fuel and power resources, deposits of rare and precious metals, development of coastal transport infrastructure and a multiple increase in the population in the Russian Arctic with a creation of "stronghold areas" the threat of the indigenous peoples' disappearance appeared (Enets - about 200 people remain and less than 100 people – the Votes). Under the conditions of a large-scale, integral impact of man-made, anthropogenic and climatic factors on indigenous communities in the Arctic, their life environment and traditional management the need for urgent adoption of a complex of specific and targeted legal, economic and social measures aimed at ensuring and preserving their livelihoods is obvious.

Key words: Arctic zone of the Russian Federation, indigenous small-numbered peoples of the North, territories of traditional nature management, preservation of traditional livelihoods, infrastructure, legal regulation

Библиографическая ссылка:

Павленко В. И., Петров А., Куценко С. Ю., Деттер Г. Ф. Коренные малочисленные народы Российской Арктики (проблемы и перспективы развития) // Экология человека. 2019. № 1. С. 26–33.

Pavlenko V. I., Petrov A., Kutsenko S. Yu., Detter G. F. Indigenous Peoples of the Russian Arctic (Problems and Development Prospects). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 26-33.

Основной предпосылкой проведения исследований служит наметившееся в последние годы резкое нарастание интегрального воздействия техногенных, антропогенных и климатических факторов [3, 16], а также несовершенства законодательной базы, создающих угрозу не только развитию традиционных видов деятельности, но и существованию этносов [6, 8, 13, 15]. Проблемы очевидны: изъятие земель традиционного природопользования и ухудшение состояния природных комплексов в результате техногенного воздействия. При этом вклад нарастающего влияния изменений климата в условиях отсутствия жесткого правового регулирования деятельности на землях коренных малочисленных народов Севера (КМНС) фактически не рассматривается. Таким образом, целью исследования является выявление всех факторов, обеспечивающих жизнедеятельность КМНС в Арктике, а также анализ воздействия их на сохранение и развитие этноса.

Исследование проведено на основе анализа зарубежных и отечественных источников, статистических данных, результатов научных экспедиций, полученных авторским коллективом в предыдущие годы, с использованием методов сравнительного и системного анализа, логики и индукции.

Следует сразу подчеркнуть, что показатели развития КМНС, оценка динамики их численности в России с начала XXI в. при помощи статистических методов столкнулась с серьезными законодательными трудностями, не преодоленными и до настоящего времени. В результате паспортной реформы 1997 г. в бланке паспорта гражданина России запись о национальности владельца была исключена. В то же время органы местного самоуправления продолжали формировать списки КМНС в целях учета и предоставления им законодательно установленных льгот и преференций. Однако с принятием в 2003 г. федерального закона «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» правоспособность органов местного самоуправления была ограничена, а учет КМНС не вошел в перечень их полномочий. Таким образом, источники получения информации о КМНС, в т. ч. для органов государственной статистики, значительно ограничены, качество статучета и переписи населения соответственно снизилось [20].

Отсутствие порядка документального подтверждения принадлежности граждан Российской Федерации (РФ) к КМНС создало проблемы для реализации их прав, предусмотренных законодательством, и поставило в затруднительное положение органы, осуществляющие разрешительную и контрольную деятельность. Этническая идентификация представителей КМНС дополнительно затрудняется ростом количества смешанных браков, размытым ареалом расселения и рядом других причин. Федеральный законодатель уравнивал в правах как лиц, непосредственно относящихся к КМНС, так и лиц, не относящихся к ним, но постоянно обитающих в местах их традици-

онного проживания и традиционной хозяйственной деятельности, ведущих такие же, как и малочисленные народы, традиционное природопользование и традиционный образ жизни, что не вполне соответствует целям и задачам по сохранению самобытного социально-экономического и культурного развития именно КМНС как этноса. Экономическая привлекательность отнесения к числу КМНС лиц иных национальностей, например в осуществлении рыболовства, содержит определенный конфликтный потенциал, предполагающий внесение соответствующих изменений в действующее законодательство [18].

Проблему документального подтверждения принадлежности граждан к КМНС федеральные и региональные органы власти пытаются урегулировать самостоятельно, доступными способами. Например, в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) в 2006 г. были приняты постановления, устанавливающие порядок взаимодействия исполнительных органов государственной власти и органов местного самоуправления, территории которых включены в перечень мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности КМНС, по сбору, накоплению и использованию данных о них: «О банке данных о социально-экономическом положении коренных малочисленных народов Севера ЯНАО» Администрации ЯНАО от 24 апреля 2006 г. № 188-А; «О Единой информационной системе по моделированию и прогнозированию социально-экономического развития коренных малочисленных народов Севера ЯНАО» Правительства ЯНАО от 20 октября 2016 г. № 986-П.

Соответствующее поручение Президента России В. В. Путина об исправлении ситуации до 1 марта 2018 г. было дано Правительству РФ в августе 2017-го [17]

Факторы и проблемы развития КМНС. Освоение ресурсов Арктики при сохранении традиционного уклада жизни КМНС, народов специфического фенотипа и ведущих отличный от титульных наций образ жизни, является чрезвычайно актуальной проблемой, интерес к которой нарастает по мере активизации добывающих, прежде всего энергетических, компаний в макрорегионе [16]. Это, безусловно, циркулярная проблема, так как охватывает интересы бизнеса и проживающего в пределах арктических территорий планеты аборигенного населения [21] (табл. 1). Проблема имеет и особую актуальность в связи с изменениями климата.

Коренные малочисленные народы РФ — это народы, проживающие на территориях традиционного расселения своих предков, сохраняющие традиционный образ жизни, хозяйствование и промыслы, насчитывающие менее 50 тыс. человек и осознающие себя самостоятельными этническими общностями. Правительство РФ Постановлением от 24.03.2000 № 255 (ред. от 25.08.2015) «О Едином перечне коренных малочисленных народов Российской Федерации» утвердило Единый перечень коренных малочисленных

Таблица 1

Территории циркулярных стран, отнесенные к Арктике	
Страна	Территории
Россия	Территория Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ)
США	Районы Аляски к северу от Полярного круга и районы к северу и западу от границы, формируемой реками Поркупайн, Юкон и Куковим, Алеутские острова
Канада	Водосборный бассейн территорий Юкона, Северо-Западных территорий, Нунавута, Лабрадора, частично Британской Колумбии, Альберты, Саскачевана, Манитобы, Квебека, Онтарио, все земли севернее 60° с. ш., а также область прибрежных зон Гудзонова залива, залива Джеймса, северо-восточный мыс на острове Элсмир и место выхода к морю Бофорта канадско-американской границы
Дания	Гренландия и Фарерские острова
Норвегия	Территории севернее Полярного круга
Финляндия	Лапландия
Швеция	Норботтен и территории к северу от Полярного круга

народов, в соответствии с которым к КМНС отнесены 47 народов, проживающих в 33 субъектах РФ.

Более половины КМНС проживают на территории Арктической зоны РФ (АЗРФ). По словам президента Ассоциации коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Г. Ледкова, самые многочисленные — ненцы (44 тыс.), эвенки — (37 тыс.), ханты — (30 тыс.). К исчезающим этносам относятся энцы (порядка 200 человек) и водь — менее 100 человек [9].

Несовершенство правовой и институциональной базы. Общероссийская Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации создана в 1990 г. Ассоциация является постоянным членом Арктического Совета, имеет консультативный статус при экономическом и социальном Совете ООН, участвует в работе законодательных и исполнительных органов власти РФ, имеет региональные отделения, обладающие организационной и финансовой самостоятельностью.

В соответствии с российским законодательством родовые угодья КМНС — особо охраняемые территории. Эта норма права исходит из предположения, что существование КМНС связано с сохранением традиционного уклада и образа жизни. В реальности она сдерживается (искусственно ограничивается) необходимостью развития экономики региона, в пределах которого есть территории традиционного природопользования (ТПП). Немало примеров возникновения конфликтов в Ненецком автономном округе (НАО), ЯНАО, Республике Саха (Якутия) по доступу коренных жителей этих субъектов федерации к родовым угодьям [15]. Основополагающий принцип международного отношения к КМНС состоит в том, что они имеют право на земли и ресурсы, которыми традиционно владели, и власть должна применять затрагивающие их законодательные или административные меры на основе консультаций и получения их

полного, предварительного и осознанного согласия. Эти принципы наиболее полно выражены в двух международных документах: Конвенции МОТ № 169 «О коренных народах, ведущих племенной образ жизни в независимых странах» (1991), которую Россия подписала, но пока не ратифицировала, и принятой в 2007 г. Генеральной Ассамблеей ООН Декларации о правах коренных народов.

Законодательная база РФ, на первый взгляд, содержит необходимые гарантии сохранения родовых угодий в соответствии с общепризнанными принципами и нормами международного права. В частности, статьей 69 Конституции РФ государство признает за КМНС их своеобразие, право на традиционный образ жизни, а также необходимость особого государственно-правового регулирования.

Федеральные законы (ФЗ), относящиеся к коренным малочисленным народам, были приняты достаточно давно (в 1991 г. «О гарантиях прав коренных малочисленных народов РФ»; в 2000 г. «Об общих принципах организации общин коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ»; в 2001 г. «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ»). Однако они формируют лишь юридические предпосылки для решения проблемы, но не содержат конкретных правовых, экономических или финансовых механизмов. Так, ФЗ «О гарантиях прав...» устанавливает возможность и право органам государственной власти субъектов РФ и органам местного самоуправления защищать интересы, традиции, окружающую природную среду и хозяйственную деятельность КМНС. При этом не указана обязанность эту возможность и право реализовать. Не определен и порядок проведения этнологической и экологической экспертиз, оценки специфического ущерба и т. д.

КМНС предоставлено право участия в принятии решений по вопросам защиты традиционной среды обитания, образа жизни и возмещения ущерба. Но на практике, так как коренное население не имеет юридических прав собственности на землю, на которой оно осуществляет традиционное хозяйствование, бизнес не считает себя обязанным получать их согласие на вовлечение этих земель в промышленное освоение. Решение этой проблемы не нашло своего отражения в принятых Земельном кодексе, ФЗ «О рыболовстве...» и других нормативных актах.

Анализ зарубежного опыта, в частности США (Аляска), Дании (Гренландия) и Норвегии, показывает, что даже при наличии более четких и конкретных формулировок разногласия неизбежны. В качестве компромиссного решения заключаются трехсторонние договоры между компаниями, коренными общинами и местной властью, с обязательным включением обещаний компаний в качестве условий в лицензионные соглашения.

Рассматривая проблемы взаимоотношений КМНС с добывающими корпорациями и компаниями, осу-

шествующими масштабную добычу минеральных и топливно-энергетических ресурсов в пределах ТТП, следует отметить определенное развитие региональной нормативно-правовой базы. Так, в НАО, ЯНАО и Республике Саха (Якутия) приняты специальные нормативные акты об обязательности для промышленных компаний вести переговоры и заключать соглашения с представителями коренных народов. Например, в договорах, заключаемых ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь», предусматривается возмещение убытков, проведение работ по рекультивации и лесовосстановлению. Подобные договоры заключаются и в других регионах [26].

Законодательное обеспечение прав КМНС на федеральном уровне продвигается крайне медленно. Годы обсуждаются проблемы порядка определения национальной принадлежности КМНС, земельных отношений и допуска к возобновляемым природным ресурсам, приобретения прав на земельные участки для ведения личного подсобного хозяйства, приоритетность получения «дальневосточного» гектара на ТПП, унификации терминологии при назначении социальной пенсии и др. Важнейшие вопросы, определяющие возможность жизнедеятельности КМНС, – земля для традиционного природопользования и порядок её изъятия для промышленных нужд с обеспечением экологической и этнологической безопасности, возмещением убытков малочисленным народам в результате нанесения ущерба, упорядочением взаимодействия компаний-недропользователей с коренным населением территорий, а также обеспечением адресности льгот и преференций [2, 4].

Следует отметить, что приарктическими странами используются различные организационные формы, ориентированные на законодательное решение проблем коренных народов. В Норвегии, где проживает около 40 тыс. саамов, действует общественный орган – Парламент саамов, в полномочия которого входят вопросы защиты их прав, жизнедеятельности и культурного развития. Однако его решения носят рекомендательный характер [23]. В Канаде существует постоянный комитет Сената по коренным народам, который курирует все вопросы коренных народов. В исполнительной власти страны проблемами коренного населения занимается специальная структура (министерство) по делам индейцев и развития Севера, созданная более пятидесяти лет назад.

К числу компаний, наиболее эффективно взаимодействующих с КМНС в АЗРФ, следует отнести «ЛУКОЙЛ». Компания поддерживает традиционный уклад жизни представителей ханты, манси и ненцев на территории ЯНАО, НАО и Красноярского края, строит объекты социальной инфраструктуры, содействует сохранению самобытной культуры и традиций местного населения, популяризации родных языков коренных народов [15]. Определенный положительный опыт по взаимодействию между компаниями и коренными народами накоплен и в других регионах, например в Якутии, Сахалинской и Иркутской областях. При этом

в циркумполярных странах практически нет четко прописанных, общепризнанных методов, механизмов и инструментов согласования интересов КМНС и добывающих компаний, сочетания экономического развития территорий с сохранением традиционных форм хозяйствования и образа жизни аборигенов. Задача согласования интересов коренного населения и бизнеса в Арктике является одним из элементов деятельности специальной рабочей группы Арктического Совета – межправительственной организации восьми арктических стран.

Демографическая ситуация. По данным Всероссийской переписи населения 2010 г., в России проживало 316 тыс. граждан, отнесенных законодательством к коренным малочисленным народам 47 различных народностей, из них 298,9 тыс. в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности в 34 субъектах РФ. Максимальное количество, или 13,85 % коренных малочисленных народов РФ, проживало в ЯНАО, что составляло 41 415 человек [2].

В последние десятилетия общая численность КМНС продолжала расти, несмотря на снижение рождаемости и рост смертности по сравнению с советским периодом. Однако необходимо отметить, что наряду со стабильным ростом численности населения одних народов (например, ненцы и ханты), другие, наоборот, быстро теряли население (нганасаны, чуванцы и алеуты).

Важнейшим демографическим явлением в постсоветские годы стал форсированный демографический переход у большинства КМНС, и как результат – резкое снижение рождаемости и скачок смертности, особенно в 1990-е гг. [25]. Как минимум у 12 народов в этот период была зафиксирована естественная убыль населения. Действительно, коэффициент рождаемости у КМНС упал с 31,9 на 1 000 населения в 1989 г. до 16,2 в 2003-м [7]. Эти показатели были ниже среднеарктических, но выше российских. В то же время смертность скачкообразно возросла. В последующие годы ситуация изменилась к лучшему, как и в целом по России. Однако демографическая обстановка у многих КМНС продолжает оставаться непростой, в особенности в сравнении с другими коренными народами Арктики [22].

Динамика численности этносов, прежде всего в 1990-е гг., также частично определялась демографическими факторами, такими как изменения в самосознании и самоидентификации представителей КМНС. Тенденция к возрождению этнического самосознания наряду с прочими демографическими процессами обеспечили дополнительное увеличение численности КМНС в целом на 5,5 % между 1989 и 2002 гг. [1]. При этом различные группы коренных народов испытывали эти процессы по-разному, и некоторые из них, наоборот, потеряли население. Таким образом, форсированный демографический переход от высокой-сверхвысокой рождаемости к более низкой и от низкой смертности к относительно-

Таблица 2

Динамика численности коренных малочисленных народов Севера Ямало-Ненецкого автономного округа

Народность	1939	1959	1970	1979	1989	2002	2010	Прирост 1939–2010, %	Прирост 2002–2010, %
Ненцы	13454	13977	17538	17404	20917	26435	29772	2,2	12,62
Ханты	5514	5519	6513	6466	7247	8760	9489	1,7	8,32
Селькупы	216	1245	1710	1611	1530	1797	1988	9,2	10,63
Манси	27	94	85	116	216	172	166	6,1	–3,49
Всего	19220	20974	25846	25597	29910	37164	41415	2,2	11,44

Примечание. Данные Всероссийской переписи населения 2010 г.

но высокой наряду с другими процессами создает значительные риски для развития коренных народов Российской Арктики. Миграционный отток с Севера, в том числе и молодежи из числа КМНС, также является серьезным фактором, ограничивающим возможности социально-экономического развития общин.

В ЯНАО коренные народы представляют четыре народности: ненцы, ханты, селькупы и манси. В табл. 2 показана динамика численности КМНС региона с 1939 г. по данным всесоюзных и всероссийских переписей. На протяжении 1939–2010 гг. происходил устойчивый ежегодный рост численности КМНС (порядка 3 %). Период некоторого замедления роста численности (в 1970-х гг.) связан с началом интенсивного промышленного освоения нефтегазовых месторождений ЯНАО и переводом на оседлый образ жизни части кочевых хозяйств.

Снижение численности манси в период 1989–2010 гг. вызвано в основном сменой национальности и ассимиляцией с близкой им родовой группой ханты при совместном проживании в обдорско-куноватском географическом районе [8].

Соотношение мужского и женского населения коренных народов ЯНАО в 2010 г. составляло 47 и

Таблица 3

Динамика численности коренных малочисленных народов Ямало-Ненецкого автономного округа, занятых традиционной хозяйственной деятельностью

Год	КМНС, занятые традиционной хозяйственной деятельностью, человек	Всего КМНС, человек	Доля КМНС ведущих традиционный образ жизни, %
1927	9806	11725	83,63
1967	11955	20749	57,62
1970	11580	25761	44,80
1975	10175	25600	39,75
1980	9281	25421	36,51
1995	12420	34004	36,53
1997	12976	34800	37,29
2000	13217	35994	36,72
2002	13209	36993	35,54
2005	13493	38739	34,83
2010	14667	41415	35,41

Примечание. Данные Всероссийской переписи населения 2010 г.

53 % соответственно, причем в городском населении – 41 и 59 %. Наибольшая часть КМНС (82 %) проживала в 70 сельских населенных пунктах. Более половины размещалось в г. Салехарде, столице округа. Основан город около 420 лет назад и является одним из основных центров получения среднего профессионального образования для коренных народов России.

Число представителей КМНС, ведущих традиционный образ жизни, в 2010 г. составляло 14 667 человек, т. е. 35 % от их общей численности в ЯНАО (табл. 3). Эта цифра остается довольно стабильной уже несколько десятилетий, отражая относительно устойчивое состояние традиционного хозяйства Ямала.

Ввиду отсутствия регулярного статистического наблюдения социально-демографического и экономического положения КМНС показатели, характеризующие положение КМНС в ЯНАО начиная с 2010 г., используемые в настоящей работе, основаны на данных единой региональной информационной системы по прогнозированию социально-экономического развития КМНС в ЯНАО [14].

К числу наиболее значимых проблем угрозы традиционной жизнедеятельности КМНС в ЯНАО можно отнести **истощение пастбищ**. Нарастание техногенной и антропогенной нагрузок, увеличение числа личных оленеводческих хозяйств и рост поголовья личных стад отрицательно влияют на состояние кормовой базы оленеводства. Проблема сокращения кормовой базы оленьих пастбищ ЯНАО остро проявилась в начале XXI в., и обусловлена она в основном усилением зоогенного фактора: ростом поголовья домашнего северного оленя в условиях нарушения сезонного оборота пастбищ. Важно отметить снижение влияния топливно-энергетического комплекса в последние годы на изъятие пастбищ из оборота и нарушение растительного покрова в освоенных районах. Значительным остается отчуждение богатых ягелем земель, повреждение растительного покрова тундры тракторами и вездеходами, разливы горюче-смазочных материалов и взрывные работы. Новой тенденцией в развитии оленеводства ЯНАО является смена специализации хозяйств КМНС с мясного на пантовое оленеводство. Это неизбежно приводит к росту поголовья и соответственно к большей нагрузке на пастбища. Нередки случаи и нарушений технологии выпаса.

Климатические факторы оказывают существенное влияние на изменение маршрутов миграции и

их дальности. Аномально жаркое лето в последние 5–7 лет сопровождалось появлением большого количества кровососущих насекомых (комары, оводы) и снижением упитанности оленей. Суровые зимы с обильными снегопадами и затяжная весна, в свою очередь, затрудняли доступ к кормам. В результате мало нагулянные в летне-осенний период олени к весне становятся истощёнными и ослабленными, начинаются падежи. При таком стечении обстоятельств кочевники, чтобы сберечь стадо, сокращают протяжённость маршрутов калания (переходы между пастбищами) и идут на нарушение сезонного (зима – лето) оборота пастбищ [6].

Изменяется и жилье оленеводов – кочевой балок (небольшой передвижной домик на санях, не требующий при перемещении разборки и сборки) вытесняет традиционный чум. Использование балка облегчает труд и быт оленеводов, но приводит к задержке на позднеосенних пастбищах до появления плотного устойчивого снежного покрова и условий к перемещению на зимнее пастбище. Маршруты миграции семей, живущих в кочевых балках, проходят в основном по равнинной части тундры.

Состояние здоровья КМНС в значительной степени определяется природной средой (главным образом качеством воды и традиционных продуктов питания – оленины и местной рыбы) [5].

Среди коренных жителей тундры и национальных поселков Ямальского, Тазовского и Надымского районов ЯНАО в течение последних пяти лет наблюдается снижение потребления местной рыбы на 50, а оленины – на 40 %. На здоровье КМНС наибольшее влияние оказывает обеспечение традиционными продуктами питания и воздействие климатических факторов [6].

Традиционное питание для КМНС – это не только набор неких пищевых продуктов, но и неотъемлемый элемент их культуры, средство профилактики и лечения, важнейший фактор повышения уровня адаптации к условиям Арктики [15]. Вести кочевой образ жизни в тундре, проживать в чуме, где большую часть суток отрицательная температура воздуха, очень трудно, если нет возможности придерживаться традиционного типа питания (в этом неоднократно убеждались все исследователи Арктики, питавшиеся в экспедициях привозными продуктами) [24].

Обеспечение населения местной рыбой, например, имеет существенные проблемы, связанные как с природными, так и антропогенными факторами. Промышленное освоение акватории Обской губы, отгрузка нефтепродуктов, ледакольные проводки, бурение, дноуглубительные и намывные работы в акватории оказывают серьезное влияние на продуктивность районов традиционного лова. Браконьерский лов сиговых и низкие объемы лова «черной рыбы» (ерш, щука, налим) вызывают межвидовые дисбалансы, приводящие к выеданию молоди сиговых другими видами рыб. Недостаточный лов «черной рыбы» обусловлен низкими закупочными ценами, нередко не

превышающими затраты на лов, транспортировку и хранение продукции [4].

Основой традиционного питания коренных жителей ЯНАО являются сиговые. Вместе с тем вылов сиговых в последние годы катастрофически снижается. Для сохранения и восстановления популяции муксуна уже введен полный запрет на вылов. Оправданный с точки зрения ихтиологов запрет на вылов муксуна скажется на увеличении доли углеводов в питании поселкового и тундрового населения, что может драматически снизить уровень здоровья коренных жителей, всегда служивших эталоном адаптации [10–12, 19]. Изменение рациона питания в результате сокращения запасов сиговых рыб может снизить адаптационные возможности значительной части населения округа и кардинально повлиять на здоровье КМНС, для которых местная рыба является основой рациона [5].

В условиях масштабного совместного воздействия техногенных, антропогенных и климатических факторов на коренные сообщества в Арктике, среду их обитания и традиционного хозяйствования очевидна необходимость неотложного принятия комплекса конкретных и адресных правовых, экономических и социальных мер, направленных на обеспечение их жизнедеятельности и в конечном счете сохранения.

Авторство

Павленко В. И. определил проблематику исследования, внес существенный вклад в содержание статьи, окончательно утвердил рукопись, присланную в редакцию; Петров А. Н. изложил ситуацию в зарубежных арктических странах; Куценко С. Ю. подготовила первый вариант статьи; Деттер Г. Ф. осуществил подборку статистических данных, участвовал в анализе данных.

Павленко Владимир Ильич – ORCID 0000-0001-5609-3638; SPIN 6704-0103

Куценко Светлана Юрьевна – ORCID 0000-0002-8862-084X; SPIN 4438-6291

Деттер Геннадий Филиппович – ORCID 0000-0003-2590-0243; SPIN 2718-0780

Список литературы

1. *Богоявленский Д. Д.* Вымирают ли народы Севера? // Демоскоп Weekly. 2004. № 165–166. 16–29 августа. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2004/0165/tema01.php> (дата обращения: 20.07.2018)
2. Всероссийская перепись населения 2010. Т. 4. Национальный состав и владение языками, гражданство. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612-tom4.htm (дата обращения: 20.07.2018)
3. *Лудков А. Б., Попова О. Н., Небученных А. А., Богданов М. Ю.* Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Арктики. Обзор литературы // Морская медицина. 2017. Т. 3, № 1 С. 7–13.
4. *Деттер Г. Ф., Константинова Т. С.* Ямал – прошлое, настоящее, будущее // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 3 (92). С. 125–131.
5. *Есида А.* Культура питания гыданских ненцев: Интерпретация и социальная адаптация: автореф. канд. дис., Москва, 1997. 12 с.
6. *Зуев С. М., Кибенко В. А., Сухова Е. А.* Социально-экономические факторы жизнедеятельности кочевого

населения Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. 2017. Т. 3, № 3. С. 33–44.

7. Клоков К. Б., Петина О. В., Хрущёв С. А. Семейное домохозяйство в районах проживания коренных народов Севера (информационно-аналитический обзор). СПб., 2004. 56 с.

8. Логинов В. Г., Попков Ю. В., Тюгашев Е. А. Коренные малочисленные народы Севера, Сибири и Дальнего Востока: политико-правовой статус и социально-экономическое положение. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2009. 138 с.

9. На поддержку коренных малочисленных народов до 2025 г. выделяют более 1,3 млрд рублей /ТАСС/23 марта 2017 г. URL:<https://tass.ru/obschestvo/4119309> (дата обращения: 26.08.2018)

10. Никитин Ю. П., Хаснулин Ю. В., Гудков А. Б. Итоги деятельности академии полярной медицины и экстремальной экологии человека за 1995–2015 года: современные проблемы северной медицины и усилия учёных по их решению // Медицина Кыргызстана. 2015. Т. 1, № 2. С. 8–14.

11. Нифонтова О. Л., Гудков А. Б., Щербакова А. Э. Характеристика параметров ритма сердца у детей коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2007. № 11. С. 41–44.

12. Нифонтова О. Л., Литовченко О. Л., Гудков А. Б. Показатели центральной и периферической гемодинамики детей коренной народности Севера // Экология человека. 2010. № 1. С. 28–32.

13. Новикова Н. И. Охотники и нефтяники: исследование по юридической антропологии. М.: Наука, 2014. 407 с.

14. Открытые данные департамента по делам коренных малочисленных народов Севера Ямало-Ненецкого автономного округа. URL: <http://dkmns.ru/opendata/986/> (дата обращения: 20.07.2018)

15. Павленко В. И., Куценко С. Ю. Проблемы согласования интересов и перспективы сосуществования в Арктике (коренные малочисленные народы Севера и нефтегазовые корпорации) // Социальная направленность менеджмента: инновации, проблемы, приоритеты: материалы Международной науч.-практ. конф. (5 декабря 2013 г., Москва) / под общ. ред.: канд. экон. наук. Т. В. Алексашиной; канд. экон. наук. Д. Е. Морковкина. М.: Изд. ЧОУВО «МУ им. С. Ю. Витте», 2014. 491 с., 3,64 Мб. С. 53–58.

16. Павленко В. И., Куценко С. Ю. Обеспечение комфортной жизнедеятельности человека в Арктике: проблемы и задачи // Экология человека. 2018. № 2. С. 57.

17. Перечень поручений по итогам заседания Совета по межнациональным отношениям, Пр-1710 от 28.08.2017 г. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/55464> (дата обращения: 17.06.2018)

18. Пивнева Е. А. Проблема статистического учета коренных малочисленных народов Севера: теория и практика // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2014. № 2 (83). С. 25–31.

19. Севостьянова Е. В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на севере (литературный обзор) // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 12, № 1. С. 93–100.

20. Степанов В. В. Российский опыт этнической статистики коренных малочисленных народов Севера // Демоскоп Weekly, № 319–320 (4–17 февраля 2008) URL: http://www.demoscope.ru/weekly/2008/0319/analit03.php#_FNR_1 (дата обращения: 05.05.2018)

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

22. AHDR (2015). Arctic Human Development Report. Temanord.

23. Josefsen E. Samene og de nasjonale parlamentene. Kanaler for politisk innflytelse // Gáldu Čála - Tidsskrift for urfolksrettigheter 2/2007.

24. Leonard W. R., Sorensen M. V., Galloway V. A., Spencer G. J., Mosher M. J., Osipova L., Spitsyn V. A. Climatic influences on basal metabolic rates among circumpolar populations // Am. J. Hum. Biol. 2002. Vol. 14, N 5 P. 609–620.

25. Petrov A. N. Lost generations? Indigenous population of the Russian North in the post-Soviet era // Canadian Studies in Population. 2008. Vol. 35 (2). P. 269–290.

26. Tysiachniouk M. S. & Petrov A. N. Benefit sharing in the Arctic energy sector: Perspectives on corporate policies and practices in Northern Russia and Alaska // Energy Research & Social Science. 2018. Vol. 39. P. 29–34.

References

1. Bogoyavlenskiy D. D. Do the peoples of the North die? *Demoskop Weekly* [Demoscope Weekly]. 2004, 165-166, August 16-29. Available at: <http://demoscope.ru/weekly/2004/0165/tema01.php> (accessed: 20.07.2018).

2. *Vserossiiskaya perepis' naseleniya 2010. T. 4. Natsional'nyi sostav i vladenie yazykami, grazhdanstvo* [All-Russian population census 2010. Vol. 4. National composition and language skills, citizenship]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612-tom4.htm (accessed: 20.07.2018)

3. Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennykh A. A., Bogdanov M. Yu. Ecological and physiological characteristics of the Arctic climatic factors. Review. *Morskaya meditsina* [Morskaya medicina]. 2017, 3 (1), pp. 7-13. [In Russian]

4. Detter G. F. Konstantinova T. S. Yamal: past, present and future. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous District]. 2016, 3 (92), pp. 125-131. [In Russian]

5. Esida A. *Kul'tura pitaniya gydanskikh nentsev: interpretatsiya i sotsial'naya adaptatsiya. Kand. Dis.* [The culture of nutrition of the gentian people: Interpretation and social adaptation. Cand. Diss.]. Moscow, 1997, p.12.

6. Zuev S., Kibenko V., Sukhova E. Socio-Economic Factors of Life of the Nomadic Population of the Yamal-Nenets Autonomous District. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskie i pravovye issledovaniya* [Tyumen State University Herald. Social, Economic, and Law Research]. 2017, 3 (3), pp. 33-44. [In Russian]

7. Klokov K. B., Petina O. V., Khrushchev S. A. *Semeynoye domokhozyaystvo v rayonakh prozhivaniya korennykh narodov Severa (inform.-analit. obzor)* [Family households in areas inhabited by indigenous peoples of the North (inform.-analyst. review)]. Saint Petersburg, 2004. 56 p.

8. Loginov V. G., Popkov I. V., Tyugashev E. A. *Korennyye malochislennyye narody Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka: politiko-pravovoi status i sotsial'no-ekonomicheskoe polozhenie* [The indigenous peoples Of the North, Siberia and the Far East: the Political and legal status and the social and economic situation]. Yekaterinburg, Institute of Economics of RAS, 2009, 138 p.

9. *Na podderzhku korennykh malochislennyykh narodov do 2025 g. vydelyat bolee 1,3 mlrd rublei* [More than 1.3

billion rubles will be allocated to support indigenous peoples until 2025]/TASS/March 23, 2017. Available at: <https://tass.ru/obschestvo/4119309> (accessed: 26.08.2018).

10. Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Results of the activities of the Academy of Polar Medicine and Extreme Human Ecology for 1995-2015: contemporary problems of Northern medicine and researchers' efforts to solve them. *Meditsina Kirgystana* [Medicine of Kyrgyzstan]. 2015, 1 (2), pp. 8-14. [In Russian]

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

12. Nifontova O. L., Litovchenko O. L., Gudkov A. B. Indices of central and peripheral hemodynamics in indigenous children of the North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2010, 1, pp. 28-32. [In Russian]

13. Novikova N. I. *Okhotniki i neftyaniki: issledovaniye po yuridicheskoy antropologii* [Hunters and oilmen: A study on legal anthropology]. Moscow, Nauka Publ., 2014, 407 p.

14. *Otkrytye dannye departamenta po delam korennykh malochislennykh narodov Severa Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Open data of the Department for indigenous peoples of the North of the Yamal-Nenets]. Available at: <http://dkmns.ru/opendata/986/> (accessed: 20.07.2018).

15. Pavlenko V. I., Kutsenko S. Problemy soglasovaniya interesov i perspektivy sosushchestvovaniya v Arktike (korennye malochislennyye narody Severa i neftegazovye korporatsii) [Problems of coordination of interests and prospects of co-existence in the Arctic (indigenous peoples of the North and oil and gas corporations)]. In: *Sotsial'naya napravlennost' menedzhmenta: innovatsii, problemy, prioritety. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (5 dekabrya 2013 g., Moskva)* [Social orientation of management: innovations, problems, priorities. Proceeding of the International scientific and practical conference (December 5, 2013, Moscow)]. Moscow, 2014. 491 p. 3,64 Mb, pp. 53-58.

16. Pavlenko V. I., Kutsenko S. Yu. Providing a comfortable life activity in the arctic: problems and challenges. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 2, pp. 57. [In Russian]

17. *Perechen' poruchenii po itogam zasedaniya Soveta po mezhnatsional'nyim otnosheniyam, Pr-1710 ot 28.08.2017* [List of instructions following the meeting of the Council on interethnic relations, PR-1710 of 28.08.2017]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/55464> (accessed: 17.06.2018).

18. Pivneva E. A. The problem of statistical accounting of indigenous peoples of the North: theory and practice. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District]. 2014, 2 (83), pp. 25-31. [In Russian]

19. Sevostyanova Ye. V. Some features of human lipid and carbohydrate metabolism in the north. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2013, 12 (1), pp. 93-100. [In Russian]

20. Stepanov V. V. Russian experience of ethnic statistics of indigenous peoples of the North. *Demoskop Weekly* [Weekly Demo], N 319-320 (4-17 february 2008). Available at: http://www.demoscope.ru/weekly/2008/0319/analit03.php#_FNR_1 (accessed: 05.05.2018)

21. Chashchin V. P., Kovshov A. A., Gudkov A. B., Morgunov B. A. Socioeconomic and Behavioral Risk Factors of Disabilities among the Indigenous Population in the Far North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 6, pp. 3-8. [In Russian]

22. AHDR (2015). Arctic Human Development Report. Temanord.

23. Josefsen E. The sami and the national parliaments. Channels for political influence. *The health and Social - Journal of indigenous peoples' rights* 2/2007.

24. Leonard W. R., Sorensen M. V., Galloway V. A., Spencer G. J., Mosher M. J., Osipova L., Spitsyn V. A. Climatic influences on basal metabolic rates among circumpolar populations. *Am. J. Hum. Biol.* 2002, 14 (5), pp. 609-620.

25. Petrov A. N. Lost generations? Indigenous population of the Russian North in the post-Soviet era. *Canadian Studies in Population*. 2008, 35 (2), pp. 269-290.

26. Tysiachniouk M. S., & Petrov A. N. Benefit sharing in the Arctic energy sector: Perspectives on corporate policies and practices in Northern Russia and Alaska. *Energy Research & Social Science*. 2018, 39, pp. 29-34.

Контактная информация:

Павленко Владимир Ильич – доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории геоинформатики ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН»
Адрес: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 35
E-mail: chairman.arhsc@mail.ru

УДК 616.858

ЭКЗОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

© 2019 г. ^{1,2}О. И. Куликова, ¹Т. Н. Федорова, ²В. И. Кузнецов, ²В. С. Орлова¹ФГБНУ «Научный центр неврологии», ²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

Болезнь Паркинсона (БП) – хроническое прогрессирующее нейродегенеративное мультифакториальное заболевание, характеризующееся селективной потерей дофаминергических нейронов в компактной части черной субстанции. Потенциальными факторами риска возникновения болезни являются воздействие токсичных веществ из окружающей среды, процессы старения и генетические мутации. При этом на долю генетически детерминированного паркинсонизма приходится 5–15 % случаев. В связи с этим оценка роли средовых факторов в развитии нейродегенеративного процесса при БП приобретает особую значимость. Однако в большинстве случаев причиной развития БП, по-видимому, является взаимодействие факторов окружающей среды и генетических факторов (генно-средовое взаимодействие). На клеточном уровне патогенетические механизмы заболевания связаны с нарушением конформации белка альфа-синуклеина и образованием телец Леви, развитием окислительного стресса, нейровоспаления, митохондриальной и протеазной дисфункции. В данном обзоре рассмотрены молекулярные механизмы токсичного действия различных загрязнителей окружающей среды, которые могут приводить к развитию нейродегенеративного процесса и БП: пестицидов, металлов, растворителей, полихлорированных бифенилов и наноразмерных частиц. Изучение сложных патофизиологических взаимодействий потенциальных нейротоксинов, определяющих риск повреждения дофаминергических нейронов и предотвращающих эти события нейропротекторов, является в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в разработке новых методов лечения БП.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, пестициды, тяжелые металлы, полихлорированные бифенилы, растворители, наночастицы

EXOGENOUS FACTORS OF PARKINSON'S DISEASE DEVELOPMENT

^{1,2}O. I. Kulikova, ¹T. N. Fedorova, ²V. I. Kuznetsov, ²V. S. Orlova¹Research Center of Neurology, Moscow, ²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Parkinson disease (PD) is a chronic progressive neurodegenerative multifactorial disease characterized by selective loss of dopaminergic neurons in substantia nigra pars compacta. Potential risk factors include exposure to environmental toxic substances, aging processes and genetic mutations. 5-15% of all the cases are genetically determined PD. In this regard, the role of environmental factors in the development of the PD neurodegenerative process becomes particularly important. However, in most cases, the interaction of environmental and genetic factors (gene-environment interaction), apparently, appears to be the cause of PD development. At the cellular level, the pathogenetic mechanisms of the disease are associated with a violation of alpha-synuclein conformation and the formation of Lewy bodies, the development of oxidative stress, neuroinflammation, mitochondrial and protease dysfunction. This review examines the molecular mechanisms of toxic effects of various environmental pollutants that can lead neurodegenerative process and PD development: pesticides, metals, solvents, polychlorinated biphenyls and nanoparticles. The study of complex pathophysiological interactions between potential neurotoxins determining the risk of dopaminergic neurons damage and preventive neuroprotectors is one of the most perspective areas in development of PD treatment.

Key words: Parkinson's disease, pesticides, heavy metals, polychlorinated biphenyls, solvents, nanoparticles

Библиографическая ссылка:

Куликова О. И., Федорова Т. Н., Кузнецов В. И., Орлова В. С. Экзогенные факторы риска возникновения болезни Паркинсона // Экология человека. 2019. № 1. С. 34–39.

Kulikova O. I., Fedorova T. N., Kuznetsov V. I., Orlova V. S. Exogenous Factors of Parkinson's Disease Development. *Ecologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 34-39.

Болезнь Паркинсона (БП) является вторым по распространенности хроническим прогрессирующим нейродегенеративным расстройством движения [42]. Средний возраст начала заболевания 55 лет, распространенность среди людей старше 80 лет составляет 5 % [21, 37]. Анализ оригинальных работ 2005–2015 годов, проведенный Раздорской В. В. и соавт. [6], позволил сделать следующие выводы: показатель распространенности БП в России по данным сквозных исследований находился на уровне показателей западных стран; степень распространенности БП по обращаемости была в 2–3 раза меньше

таковой, выявленной в сплошных исследованиях, как собственных, так и зарубежных; представленный в половине исследований индекс заболеваемости БП был устойчив от региона к региону и сопоставим с общепризнанными значениями.

Моторные проявления БП (тремор покоя, брадикинезия, ригидность) являются результатом истощения нейромедиатора дофамина вследствие гибели нейронов в компактной части черной субстанции [7, 8].

Симптомы моторного синдрома появляются, когда в черной субстанции погибает по меньшей мере 60 % дофаминергических нейронов и на 80–85 %

снижается содержание дофамина [14]. В дополнение к потере нейронов основным нейрпатологическим признаком БП является присутствие нерастворимых фибриллярных агрегатов белка, в частности альфа-синуклеина (α -син), называемых тельцами Леви и нейритами Леви в выживающих нейронах [4, 21]. На клеточном уровне при БП наблюдаются митохондриальная, лизосомальная и протеазная дисфункции, нарушение гомеостаза кальция, активизация микроглии, нейровоспаление и окислительный/нитразильный стресс [35]

Предполагается, что на развитие БП влияет несколько факторов: генетических, факторов внешней среды (экзогенных) и процессов старения [18, 37]. Паркинсонизм может быть вызван генетическими мутациями (например, в гене α -син [21]) и другими генетическими факторами, но унаследованные (семейные) формы составляют обычно лишь 5–15 % всех случаев. В дополнение к старению, являющемуся основным фактором риска БП, эпидемиологические данные свидетельствуют о том, что воздействие токсичных веществ из окружающей среды, главным образом пестицидов, металлов и растворителей, может увеличить риск развития болезни. Взаимодействие факторов окружающей среды и генетических факторов (генно-средовое взаимодействие), по видимому, вызывает большинство случаев БП [20, 37, 42]. Так как одним из ранних и значимых двигательных нарушений при болезни является ольфакторная дисфункция [1, 5], можно предположить, что интраназальное проникновение ксенобиотиков в мозг, в результате которого минует гематоэнцефалический барьер, вызывает нейродегенеративный процесс и БП.

При проведении ретроспективных исследований в оценке хронических воздействий различных ксенобиотиков существует трудность, связанная с тем, что подавляющее большинство случаев БП наблюдается у людей пожилого возраста, в то время как факторы риска воздействовали за несколько десятилетий до постановки диагноза и, таким образом, их тяжело связать с началом/развитием болезни [14]. Следовательно, для более точного определения характера воздействия, а также для идентификации ранних специфических биомаркеров диагностики этого заболевания представляется необходимым провести большее количество эпидемиологических и лабораторных исследований влияния загрязнителей окружающей среды (ксенобиотиков) на развитие БП.

В данном обзоре будут рассмотрены различные классы химических токсинов и ксенобиотиков: пестициды, металлы, растворители, полихлорированные бифенилы и наноразмерные частицы, которые приводят к развитию нейродегенеративного процесса и БП.

Экзогенные вещества, приводящие к болезни Паркинсона

Впервые развитие паркинсонического синдрома вследствие воздействия экзогенного вещества было отмечено в 70-х годах XX века у группы молодых лиц, употребляющих наркотики, при случайном введении в организм 1-метил-4-фенил-1,2,3,6-тетрагидропиридина, побочного продукта синтеза героина [11, 21, 30]. Лабораторные исследования показали, что он проникает в мозг через переносчик аминокислот и метаболизируется в реакционно-способный токсичный радикал MPP+, который блокирует митохондриальный комплекс I цепи переноса электронов, вызывая окислительный стресс, селективную гибель дофаминергических нейронов и экспериментальный паркинсонизм. Это стало первым доказательством того, что воздействие экзогенных веществ может приводить к БП у людей [14, 18, 35]. Многие ксенобиотики связывают белки системы окислительного фосфорилирования и влияют на их функцию. Количество известных ингибиторов митохондриального дыхательного комплекса I постоянно увеличивается, и воздействия этих соединений природного и антропогенного происхождения трудно избежать [27].

Пестициды

Структурное сходство 1-метил-4-фенил-1,2,3,6-тетрагидропиридина и гербицида параквата легло в основу интереса к пестицидам как потенциальным факторам риска возникновения БП [11, 15, 37]. Пестициды включают множество соединений, предназначенных для уничтожения насекомых (инсектициды), растений (гербициды) и грибов (фунгициды) [35].

По данным Российского союза производителей химических средств защиты растений, в 2015 году общее количество реализованных химических средств защиты растений составило 137 тыс. тонн. По данным Минсельхоза Российской Федерации [9], объемы мероприятий по защите растений в стране в 2016 году составили 87 млн га. Проведенные множественные эпидемиологические исследования доказывают, что развитие БП связано с занятием фермерским хозяйством, проживанием в сельской местности и употреблением колодезной воды [35, 43]. У людей, контактирующих с пестицидами, болезнь возникает в 1,5 раза чаще, чем в общей популяции [2]. Интересно отметить, что в большинстве исследований наблюдается положительная связь между воздействием гербицидов и инсектицидов и риском развития БП, но не с воздействием фунгицидов [14].

Остатки пестицидов попадают в организм человека с пищевыми продуктами, питьевой водой и, наиболее часто, при профессиональном использовании, в том числе у сельскохозяйственных полевых рабочих и

работников пестицид-производящей промышленности [35].

Ротенон и паракват

С воздействием двух пестицидов, гербицида параквата и инсектицида ротенона, наиболее часто связывают развитие БП. Они обладают сходным механизмом действия, ингибируя комплекс I цепи переноса электронов митохондрий, вызывая окислительный стресс, агрегацию α -син и образование ТЛ, что приводит к гибели дофаминергических нейронов [12]. Также запускается активация глиальных клеток и нейровоспалительный ответ [40, 48].

Системное введение параквата и ротенона приводит к паркинсоноподобной патологии у грызунов [15, 31]. Внутривентрикулярное введение ротенона крысам приводит к развитию дисфункции желудочно-кишечного тракта и изменению состава кишечной микробиоты, что является одним из наиболее часто встречающихся немоторных симптомов БП [25].

Паракват и ротенон часто используются в фундаментальных научных исследованиях для моделирования БП в системах *in vitro* и *in vivo*.

Хлорорганические, фосфорорганические пестициды и пиретроиды

Исследования, проведенные в последние 20 лет, обнаружили другие группы пестицидов, связанных с повышенным риском развития БП, — хлорорганические, фосфорорганические пестициды и пиретроиды. Хлорорганические пестициды (такие как дильдрин и ДДТ (1,1,1-трихлор-2,2-бис-4-хлорфенил-этан)) представляют собой хлорированные углеводороды, используемые в сельском хозяйстве и борьбе с комарами и москитами. Дильдрин и манеб ингибируют комплекс III дыхательной цепи митохондрий и вызывают БП в экспериментах *in vivo*, а также обнаруживаются посмертно в мозге больных БП [29]. Дильдрин является хлорорганическим инсектицидом, который использовался между 1950-м и серединой 1970-х годов в Соединенных Штатах Америки, но был запрещен из-за канцерогенности и способности к биоаккумуляции. Хотя эти соединения запрещены во многих странах, они все еще производятся в ряде развивающихся стран и представляют угрозу в связи с длительным периодом полувыведения и липофильностью [17]. Органофосфаты являются основным компонентом широко используемых бытовых пестицидов. Риск развития БП повышается при воздействии фосфорорганических пестицидов в условиях высокой влажности. Пиретроиды — новый класс пестицидов, широко используемых в бытовом и сельском хозяйстве. Хотя это наименее изученный класс пестицидов по отношению к риску развития БП, в экспериментах *in vivo* было показано, что они негативно влияют на дофаминергическую систему [19].

Таким образом, общим механизмом действия таких средовых факторов, как пестициды, является нарушение функционирования митохондрий (через ингибирование комплекса I дыхательной цепи), индукция окислительного стресса и апоптоз.

Металлы

Развитию нейродегенеративных процессов, включая БП, может способствовать контакт с некоторыми тяжелыми металлами (кадмий [36]) и металлами с переменной валентностью (железо и медь) [7]. Исследования мозга умерших больных с БП показали, что в черной субстанции у них было увеличено содержание цинка и железа и снижено содержание меди по сравнению с людьми, не страдающими БП [10].

Железо является необходимым микроэлементом, в мозг оно поступает через рецептор трансферрина и переносчик двухвалентных металлов 1 [49]. Накопление железа и нарушение его гомеостаза играют важную роль в патогенезе БП, обусловленную его прооксидантными свойствами, что приводит к генерации активных форм кислорода через реакции Фентона и Хабера — Вайсса [41]. Показано, что риск развития БП повышается при употреблении пищи с повышенным содержанием железа [24]. Черная субстанция имеет самый высокий уровень железа в мозге человека, вероятно, из-за присутствия нейромеланина в пигментированных дофаминергических нейронах, которые обладают высокой способностью к хелатированию металлов. С другой стороны, в патологических условиях при БП железо может реагировать с активными формами кислорода, образующимися в процессе метаболизма дофамина, что способствует развитию цепных реакций с дальнейшей генерацией высокотоксичных радикалов и повышает уязвимость нейронов [47].

Воздействие высоких доз необходимого для поддержания клеточного гомеостаза металла марганца приводит к развитию тяжелого и изнурительного расстройства, марганизма, который характеризуется БП-подобной моторной дисфункцией и когнитивными нарушениями [28, 38], но клинически отличается от БП, поскольку пациенты не реагируют на дофаминзаместительную терапию [33].

Наиболее обоснованным является влияние свинца на развитие БП, поскольку накопленное в течение жизни его количество может быть оценено по концентрации в костях в связи с тем, что период его полураспада составляет несколько десятилетий. В ряде эпидемиологических исследований показано, что взаимодействие со свинцом в течение 20–30 лет более чем в 2 раза увеличивает риск развития БП [16, 44]. Воздействие свинца значительно уменьшает высвобождение дофамина и чувствительность постсинаптического рецептора дофамина D1, увеличивает

перекисное окисление липидов, снижает активность антиоксидантной системы клетки [34].

Болезнь Паркинсона часто наблюдается у работников металлургической промышленности, сварщиков, контактирующих с тяжелыми металлами [43].

Таким образом, общий механизм действия металлов заключается в генерации активных форм кислорода, приводящей к окислительному стрессу, агрегации α -син и гибели нейронов в области черной субстанции.

Полихлорированные бифенилы

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) были синтезированы и использовались в 1930–1970-х годах в качестве теплоносителей, диэлектрических жидкостей в трансформаторах и конденсаторах, присутствовали в составе красок и клеев. Производство ПХБ практически полностью прекращено во всем мире. Они представляют собой липофильные соединения, которые обнаруживаются в жировых тканях рыб и морских млекопитающих. Полихлорированные бифенилы долго сохраняются в почве, воде и воздухе и, как правило, концентрируются в организме животных на высших уровнях в пищевой цепи [13]. Доказательства, подтверждающие влияние ПХБ на риск развития БП, противоречивы. Воздействие ПХБ приводит к избирательному стойкому снижению уровня дофамина в хвостатом ядре, скорлупе, черной субстанции и обонятельном тракте в организме животных [42]. Воздействие ПХБ на организм обезьян выражается в снижении дофамина в их мозге. Предполагается, что это происходит за счет подавления работы транспортера дофамина [39]. Проведенное в Гренландии эпидемиологическое исследование обнаружило зависимость повышенного риска возникновения БП от потребления с пищей ПХБ, содержащихся в организме рыб и морских млекопитающих [45]. Несмотря на то, что коммерческое использование ПХБ запрещено, угроза воздействия сохраняется в связи с их стойкостью в окружающей среде и организме человека и способностью биоаккумуляции в жировой ткани. Особой опасности подвергаются народы Севера, рацион которых в основном составляют морские млекопитающие [35].

Растворители

Профессиональное воздействие хлорсодержащих растворителей также повышает риск возникновения БП. Растворители обычно используются в качестве очистителей, обезжиривающих и, в прошлом, дезинфицирующих средств. Они экологически устойчивы и могут попадать в организм человека с питьевой водой [42]. Как правило, растворители являются липофильными и, проникая через гематоэнцефалический барьер, попадают в центральную и периферическую нервную системы [14].

Трихлорэтилен вызывает экспериментальный паркинсонизм у крыс, продуцирует реактивную микроглию, ингибирует митохондриальный комплекс I, вызывает ОС, агрегацию α -син и дегенерацию дофаминергических нейронов [32]. Эпидемиологические исследования обнаружили повышенный риск возникновения БП у рабочих, имеющих дело с профессиональным воздействием п-гексана и толуола [23]. Тем не менее большинство исследований не выявляют зависимости риска развития БП от профессионального воздействия растворителей [46].

Наноразмерные частицы

Наноразмерные частицы могут проникать в центральную нервную систему из вдыхаемого воздуха. Маленькие размеры позволяют им легко проходить через гематоэнцефалический барьер. Токсические эффекты могут быть вызваны физическими характеристиками самой частицы или токсичными соединениями, которые адсорбировались на ее поверхности. Основными источниками наночастиц являются дорожная и сельскохозяйственная пыль, износ шин, продукты сжигания древесины, строительные, монтажные и горные работы [22]. Кроме того, в последнее время появляется все больше лекарственных препаратов, включенных в наноразмерные частицы, которые защищают лекарственные компоненты от быстрого метаболизма и позволяют проникнуть в орган-мишень. Однако маленькие размеры и способность проникать в клетки и органеллы могут нарушать нормальную работу клеток. Интраназальное введение наночастиц оксида кремния крысам вызывает нейровоспаление, снижение содержания дофамина в стриатуме и паркинсонический синдром [14].

Сравнение мозга умерших людей, живущих в условиях высоко- и низкозагрязненного мелкими частицами воздуха, обнаружило у первых ультратонкие частицы в обонятельных луковицах и иммунореактивность к α -син в нейронах, глиальных клетках и/или кровеносных сосудах людей. Также была выявлена активизация вызванных загрязнением нейровоспалительных механизмов в мозге, что может приводить к развитию БП [42].

Заключение

Болезнь Паркинсона является мультифакториальным заболеванием, поскольку причиной нейрональной гибели являются различные эндогенные и экзогенные патофизиологические факторы. Возраст — наиболее доказанный независимый фактор риска развития болезни [4]. Понимание ключевых механизмов старения позволит выявить новые стратегические цели в терапии БП [3]. В то же время наиболее значимыми этиопатогенетическими экзогенными факторами БП на сегодняшний

день являются нейротоксины, в первую очередь пестициды, что обуславливает необходимость расширения исследований, направленных на выявление конкретных экологических факторов риска. Хроническое системное воздействие ротенона, параквата и других соединений воспроизводит в эксперименте многие клинические, нейрохимические и патоморфологические признаки, которые могут провоцировать конформационные изменения молекулы альфа-синуклеина при БП [4]. Важная роль в развитии нейродегенеративных процессов при болезни отводится редокс-металлам железу и меди, а также тяжелым металлам — кадмию, свинцу и цинку [26]. Эпидемиологические и лабораторные исследования показывают, что стойкие экологические загрязнители ПХБ и некоторые растворители приводят к нарушениям дофаминергической системы и гибели нейронов и повышают риск возникновения БП. Еще одним фактором риска являются наночастицы, представляющие собой дорожную и строительную пыль, продукты сгорания, а также оболочки некоторых новых лекарственных препаратов. Благодаря маленьким размерам и способности к адсорбции они попадают в мозг и нарушают нормальную работу клеток.

Несмотря на то, что патогенез БП довольно хорошо изучен, современные методы лечения являются симптоматическими, основываясь главным образом на заместительной терапии дофамина. Хотя методы оказывают симптоматическое облегчение, они становятся все более и более неэффективными по мере прогрессирования болезни [8, 21]. Это подчеркивает необходимость изучения ранних специфических/дифференциальных биомаркеров для более точной диагностики нейродегенеративных расстройств, а также биомаркеров для выявления групп риска с целью разработки нейропротекторной терапии. Следовательно, изучение сложных патофизиологических взаимодействий потенциальных нейротоксинов, определяющих риск повреждения моноаминергических нейронов центральной нервной системы, и предотвращающих эти события нейропротекторов, является в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в разработке новых методов лечения БП.

Авторство

Куликова О. И. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; подготовила первый вариант статьи, её существенно переработала на предмет важного интеллектуального содержания; Фёдорова Т. Н. окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Кузнецов В. И. окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Орлова В. С. окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись.

Куликова Ольга Игоревна — SPIN 3421-5893; ORCID 0000-0002-1129-6033

Федорова Татьяна Николаевна — SPIN 4658-2381; ORCID 0000-0002-0483-1640

Кузнецов Владимир Иванович — SPIN 5732-8789; ORCID 0000-0002-3036-779X

Орлова Валентина Сергеевна — ORCID 0000-0001-9178-5736

Список литературы

1. Алексеева Н. С., Иллариошкин С. Н., Пономарева Т. А., Федотова Е. Ю., Иванова-Смоленская И. А. Нарушения обоняния при болезни Паркинсона // Неврологический журнал. 2012. № 1. С. 10–14.

2. Ахметжанов В. К., Шашкин Ч. С., Джамантаева Б. Д. Болезнь Паркинсона. Патопфизиология экстрапирамидной системы. Современные представления о причинах возникновения и патогенезе паркинсонизма // Нейрохирургия и неврология Казахстана 2016. Т. 43, № 2. С. 44–51.

3. Васенина Е. Е., Левин О. С. Окислительный стресс в патогенезе нейродегенеративных заболеваний: возможности терапии // Нейропротективная терапия. 2016. № 3–4. С. 39–46.

4. Иллариошкин С. Н. Современные представления об этиологии болезни Паркинсона // Неврологический журнал. 2015. Т. 20, № 4. С. 4–13.

5. Кострюкова Е. С., Алифирова В. М., Жукова Н. Г., Жукова И. А., Ижболдина О. П., Петров В. А., Мирнова Ю. С., Латыпова А. В., Никитина М. А., Титова М. А., Тяхт А. В., Дорофеева Ю. Б., Салтыкова И. В., Сазонов А. Э. Обонятельная дисфункция и изменение микробиоты как ранние немоторные проявления болезни Паркинсона // Бюллетень сибирской медицины. 2016. Т. 15, № 5. С. 66–74.

6. Раздорская В. В., Воскресенская О. Н., Юдина Г. К. Болезнь Паркинсона в России: распространенность и заболеваемость (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2016. Т. 12, № 3. С. 379–384.

7. Крыжановский Г. Н., Карабань И. Н., Магаева С. В., Кучеряну В. Г. Болезнь Паркинсона (этиология, патогенез, клиника, диагностика, лечение, профилактика). М.: Медицина, 2002. 336 с.

8. Левин О. С., Федорова Н. В. Болезнь Паркинсона. М.: МЕДпресс-информ, 2012. 352 с.

9. Союзы производителей ХСЗР: что сделано и какие планы. URL: http://www.pesticidesunion.ru/news/43/?sphrase_id=212 (дата обращения: 20.05.2018).

References

1. Alekseeva N. S., Illarioshkin S. N., Ponomareva T. A., Fedotova E. Yu., Ivanova-Smolenskaya I. A. Olfactory dysfunction in Parkinson's disease. *Neurologicheskii Zhurnal*. 2012, 1, pp. 10-14. [In Russian]

2. Akhmetzhanov V. K., Shashkin Ch. S., Dzhamantaeva B. D. Parkinson's disease. Pathophysiology of extrapyramidal system. Modern concepts of the causes and pathogenesis of Parkinson's disease. *Neirokhirurgiya i neurologiya Kazakhstana* [Neurosurgery and Neurology of Kazakhstan]. 2016, 43 (2), pp. 44-51. [In Russian]

3. Vasenina E. E., Levin O. S. Oxidizing stress in pathogenesis of neurodegenerate diseases: possibilities of therapy. *Neuroprotektivnaya terapiya*. 2016, 3-4, pp. 39-46. [In Russian]

4. Illarioshkin S. N. Modern view on etiology of Parkinson's disease. *Neurologicheskii Zhurnal*. 2015, 20 (4), pp. 4-13. [In Russian]

5. Kostryukova E. S., Alifirova V. M., Zhukova N. G., Zhukova I. A., Izboldina O. P., Petrov V. A., Mironova Yu. S., Latypova A. V., Nikitina M. A., Titova M. A., Tyakht A. V., Dorofeeva Yu. B., Saltykova I. V., Sazonov A. E. Olfactory dysfunction and modification in microbiota as early non-motor manifestations of Parkinson's disease. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2016, 15 (5), pp. 66-74. [In Russian]

6. Razdorskaya V. V., Voskresenskaya O. N., Yudina G. K. Parkinson's disease in Russia: prevalence and incidence (review). *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal* [Saratov Journal of Medical Scientific Research]. 2016, 12 (3), pp. 379-384. [In Russian]

7. Kryzhanovskii G. N., Karaban' I. N., Magaeva S. V., Kucheryanu V. G. *Bolezn' Parkinsona (etiologiya, patogenez, klinika, diagnostika, lechenie, profilaktika)* [Parkinson's disease (etiology, pathogenesis, clinical picture, diagnosis, treatment, prevention)]. Moscow, Meditsina Publ., 2002, 336 p.

8. Levin O. S., Fedorova N. V. *Bolezn' Parkinsona* [Parkinson's disease]. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2012, 352 p.

9. *Soyuzy proizvoditelei XSR: chto sdelano i kakie plany* [The Russian Union of plant protection chemicals manufacturers: what has been done and what plans]. Available at: http://www.pesticidesunion.ru/news/43/?sphrase_id=212 (accessed: 20.05.2018).

Контактная информация:

Куликова Ольга Игоревна – младший научный сотрудник лаборатории клинической и экспериментальной нейробиологии ФГБНУ «Научный центр неврологии», аспирант кафедры системной экологии экологического факультета ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80
E-mail: posibilidad@mail.ru

УДК 546.296:616-006

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

© 2019 г. ¹Д. В. Никифоров, ¹Л. А. Межова, ²В. В. Кульнев, ³А. М. Луговской, ⁴А. Н. Никанов, ⁵А. Н. Кизеев, ²Е. М. Репина

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», г. Воронеж; ²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж; ³ГОУ ВО Московской области «Московский государственный областной университет», г. Москва; ⁴НИЛ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, г. Кировск; ⁵ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН, г. Апатиты

Цель исследования заключается в геоэкологической оценке радоноопасности территории и ее влияния на состояние здоровья населения. *Методы*. В процессе исследования были использованы следующие методы: картографический, геоинформационный, статистический, математического моделирования. Вспомогательные операции осуществлялись с помощью компьютерных программ ArcGIS 9.2, CorelDraw 9.0, Adobe Photoshop 10.0, Macromedia Flash MX, Statistica 10.0. *Результаты*. В статье представлен методический подход к изучению характера территориального распределения радона. Для обеспечения комфортности проживания населения необходим комплексный мониторинг радона, включающий изучение его природного фона, конструкций зданий и показателей онкологической заболеваемости. Анализ геотектонической типологии размещения селитебных территорий дает возможность выявить основные типы населенных пунктов с функциональной доминантой степени их радоноопасности. При оценке риска возникновения онкологических заболеваний важно учитывать отклонения от усредненных соотношений нозологических форм для определения факторов, влияющих на заболеваемость раком легких. Разработан механизм ГИС-контроля территорий, который в сочетании с картографическими моделями дает возможность оперативно определить степень ее радоноопасности. Предложенный в статье методический подход дает возможность выявлять зоны экологического риска для проживания населения с учетом радоноопасности как уже заселенной, так и предполагаемой к заселению территории. Особое внимание уделено селитебным территориям, расположенным на линиях тектонических разломов. *Выводы*. В процессе комплексного анализа радоноопасности территории определена природная составляющая радоноопасности исследуемого региона. Картографический подход выявляет пространственные закономерности проявлений онкозаболеваний и позволяет проводить районирование территории по степени онкологического риска.

Ключевые слова: радон, радоноопасность, экологический риск, онкологические заболевания, комплексный мониторинг, тектоническое строение территории

PUBLIC HEALTH IN RADON-AFFECTED TERRITORIES

¹D. V. Nikiforov, ¹L. A. Mezхова, ²V. V. Kulnev, ³A. M. Lugovskoi, ⁴A. N. Nikanov, ⁵A. N. Kizeev, ²E. M. Repina

¹Voronezh State Pedagogical University, Voronezh; ²Voronezh State University, Voronezh; ³Moscow State Regional University, Mytishi; ⁴Kola Research Laboratory for Occupational Health, Kirovsk; ⁵N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia

The *aim* of the study is to conduct the geoecological assessment of the territory's radon hazard and its impact on the public health. *Methods*. The following methods were used during the study: cartographic method, geoinformation method, statistical method and mathematical modeling method. Secondary operations were carried out with the computer software Arc GIS 9.2, CorelDraw 9.0, Adobe Photoshop 10.0, Macromedia Flash MX, Statistica 10.0. *Results*. The article presents a methodological approach to studying the geographical distribution of radon. To ensure the quality of life for the population one requires a comprehensive radon monitoring, including the study of its natural background level as well as the area building structures and the rate of cancer related diseases. Analyzing the geotectonic typology of residential areas provides an opportunity to identify the main types of (human) settlements with a focus on their radon hazard level. While assessing the risk of cancer-related diseases and outlining the factors that affect the lung cancer rate it is essential to consider the deviations from the average ratio of nosological forms. One has developed the GIS mechanism to monitor territories, which - if combined with cartographic models - enables to quickly determine their radon hazard level. The suggested methodological approach makes it possible to identify the areas with ecological risk for the inhabitants due to the radon hazard of both populated land and the one to be populated in the future. The increasing emphasis is being laid on the residential areas located on tectonic fault lines. *Conclusions*. The natural background level of radon for the investigated region was identified during the integrated analysis of the territory radon hazard level. The cartographic approach reveals spatial patterns of cancer-related diseases and allows mapping the territory according to the degree of cancer risk.

Key words: radon, radon hazard, ecological risk, cancer-related diseases, comprehensive monitoring, tectonic pattern of a territory

Библиографическая ссылка:

Никифоров Д. В., Межова Л. А., Кульнев В. В., Луговской А. М., Никанов А. Н., Кизеев А. Н., Репина Е. М. Здоровье населения радоноопасных территорий // Экология человека. 2019. № 1. С. 40–50.

Nikiforov D. V., Mezхова L. A., Kulnev V. V., Lugovskoi A. M., Nikanov A. N., Kizeev A. N., Repina E. M. Public Health in Radon-Affected Territories. *Ekologia cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 40-50.

Среднее значение годовой эффективной дозы граждан Российской Федерации (РФ) от всех источников ионизирующего излучения в расчете на одного жителя составляет 3,76 мЗв/год. При этом 86,1 % дозы дают природные источники и 13,6 % — медицинское облучение. Наибольшие значения этой величины в 2016 г. имели место в Республике Алтай (7,2 мЗв), Еврейской автономной области (6,6 мЗв), Республике Тыва и Иркутской области (5,7 мЗв). В восьмидесятые годы XX века особую актуальность приобрела проблема канцерогенного воздействия высоких доз ионизирующего облучения на людей в повседневной жизни за счет радона и продуктов его распада. Среднее в расчете на одного жителя РФ значение годовой эффективной дозы облучения населения за счет природных источников по данным за 1998–2016 гг. составляет 3,33 мЗв/год, а для отдельных наиболее облучаемых групп населения — 3–60 и более мЗв/год. Наибольший вклад в суммарную дозу природного облучения россиян (59,50 %) вносит радон [1–3, 6, 7, 11, 12].

Всемирной организацией здравоохранения радон был признан второй по значимости после табакокурения причиной возникновения рака легких. Поэтому в большинстве развитых стран мира, в том числе и в России, стали на государственном уровне приниматься национальные программы по изучению и снижению вредного воздействия радона на здоровье людей. В РФ программа «Радон» была принята в 1994 г. Анализ имеющихся материалов по радоноопасности, связанной с природными и техногенными факторами, воздействующими на человека, считается сложной и недостаточно изученной проблемой, особенно на региональном уровне [4, 5, 9, 15]. До настоящего времени отсутствуют научно обоснованные принципы, приоритеты и механизмы учета факторов влияния радоноопасности в системе комплексного экологического мониторинга. Все это определяет актуальность темы исследования. Выявление закономерностей миграции радона в компонентах природно-антропогенной среды и оценка экологических последствий для населения представляет научно-методологический интерес. Актуальность научных и методических исследований проблемы радоноопасности обусловлена необходимостью прогноза и моделирования миграции радона в системе «человек — окружающая среда». Теоретической и методологической основой работы являются результаты и методы исследований отечественных и зарубежных специалистов в области географии, геологии, геоэкологии [8, 13, 16–18, 20–23, 25–30]. В основу легли результаты исследований, проведенных авторами в Воронежской области в 2006–2017 гг., а также материалы Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Федерального государственного унитарного производственного предприятия «Аэрогеология»,

Межрегионального центра по геологической картографии Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Федерального государственного унитарного геологического предприятия «Воронежгеология». Материалом для работы послужили данные, полученные в ходе лабораторных экспериментов и полевых работ на территории Воронежской области. Анализ статистических закономерностей пространственного распределения радона проводился на основе научных публикаций по результатам исследований радоновой проблемы на региональном уровне. Целью настоящей работы явилась геоэкологическая оценка радоноопасности территории и ее влияния на состояние здоровья населения.

Методы

Используемая методика измерений имеет ряд недостатков: при составлении выборок в системе регионального мониторинга не учитывается характеристика геологического пространства; не фиксируются такие значимые характеристики конструкций зданий, как наличие подвальных помещений; полученные данные не используются для моделирования распределения радона в исследуемой среде; не учитывается вклад источников водоснабжения в радоновый баланс жилого фонда. Для построения модели радоноопасности региона разработана методика, основанная на разнородных геоэкологических данных, представленная на рис. 1.

Каждый этап этой методики ведет к уточнению картографо-математической модели региона. Первым этапом является составление первичной модели распределения радона для прогнозной оценки первичной модели распределения радона, которая используется для прогнозной оценки радоноопасности территории и оценки объема проведения радонозащитных мероприятий. Данный этап базируется на обработке результатов геохимических, радиологических, инженерно-геологических и санитарно-гигиенических исследований, проведенных на исследуемой территории. Второй этап исследований предусматривает ранжирование территории по степени радоноопасности участков и выявлению тектонических, радиационных, геохимических аномалий. Для проведения этого этапа используются геологические карты пород, выходящих на дневную поверхность, в которых измеряются: плотность потока радона из грунта, концентрация радона в грунтовом воздухе, воздухопроницаемость грунта. На основе наложения данной информации строятся карты степени радоноопасности грунтов. Четвертый этап предусматривает статистический анализ результатов измерений концентрации радона в воздухе жилых строений. Пятый этап представляет комплексный анализ радоноопасности региона. В результате совмещения картографической информации и натурных измерений определяется набор кластеров, каждый из которых характеризуется пространственными границами, свойствами зданий

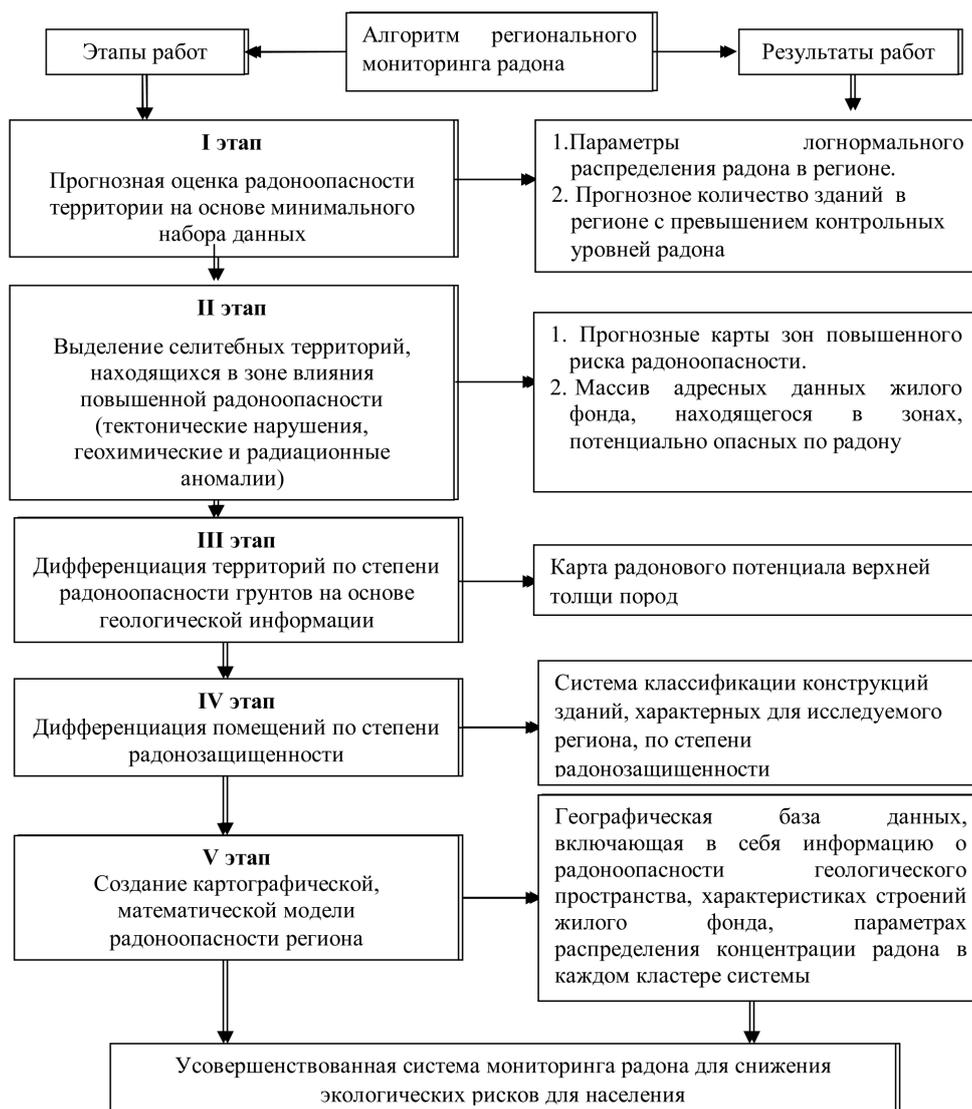


Рис. 1. Алгоритм мониторинга региона на радоноопасность

и параметрами логнормального распределения радона. Уровень концентрации радона в каждом здании в наиболее общем виде является результатом взаимодействия двух факторов: радоноопасности грунтового основания и радонозащищенности здания. Уровень радонозащищенности здания определяется его конструкцией и строительными материалами, которые зависят от природных и социально-экономических условий. Радоноопасность геологического пространства региона зависит от минерального, гранулометрического состава подстилающих горных пород. В результате многочисленных исследований, проведенных в России и во многих странах мира, установлено, что распределение зданий, выбранных случайным образом по величине концентрации радона, близко к логнормальному распределению. Причем чем более однородна выборка по таким показателям, как радоноопасность геологического пространства и радонозащищенность зданий, тем ближе реальное распределение в ней к логнормальному закону.

Плотность логнормального распределения имеет вид:

$$fX(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$$

где μ – параметр масштаба, σ – параметр формы, e – основание натурального логарифма

Сегментация всей совокупности регионального жилого фонда на отдельные кластеры, каждый из которых состоит из жилых помещений, составляющих относительно однородную выборку по сумме факторов геологических условий и конструкций жилых помещений, позволяет получить несколько наборов реальных измерений, удовлетворяющих параметрам логнормального распределения с уровнем значимости 0,05. Таким образом, моделью распределения радона в жилых помещениях на территории региона можно считать «матрицу», каждая ячейка которой представляет собой сочетание геологических условий и характерных для исследованной территории

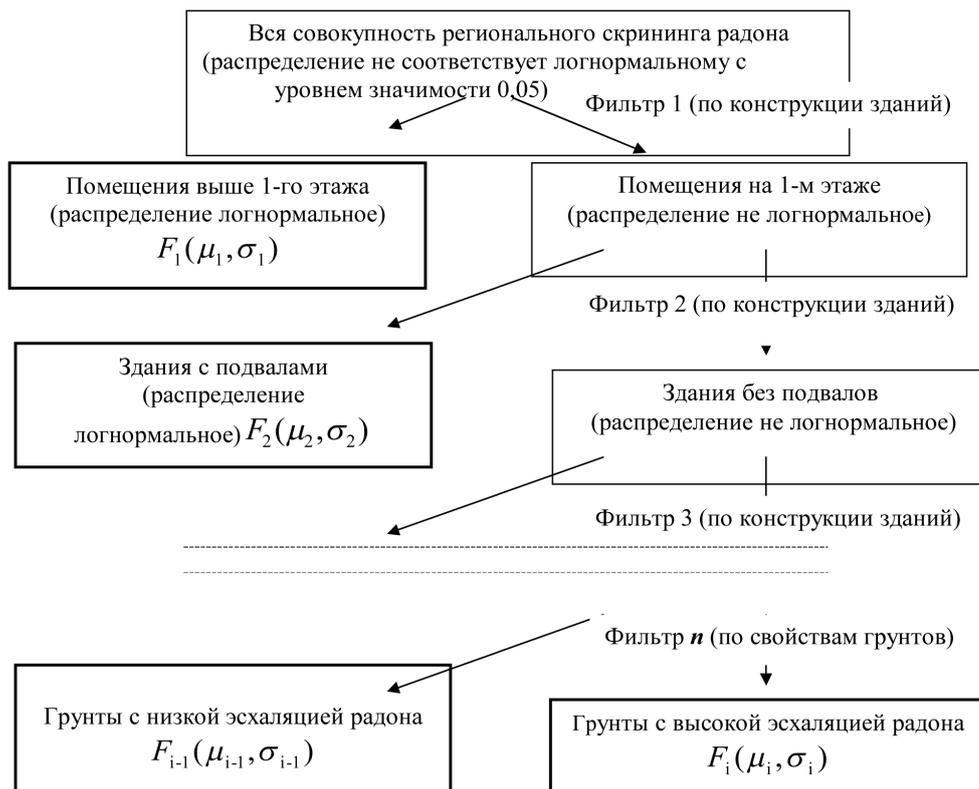


Рис. 2. Алгоритм деления выборки зданий на кластеры до достижения соответствия натуральных измерений логнормальному закону

конструкций зданий, различающихся по степени радонозащищенности, и описывается параметрами собственного логнормального распределения.

Характеристики каждого кластера складываются из следующих составляющих: пространственное положение, конструкция жилых помещений, параметры логнормального распределения. Для получения модели распределения радона в жилых помещениях региона необходимо выявить граничные условия каждого кластера и определить параметры логнормального распределения, характеризующего каждый кластер. Приемлемыми результатами кластеризации регионального распределения можно считать уровень, при котором результаты реальных измерений в каждом кластере настолько близки к логнормальному распределению, чтобы удовлетворять статистическим критериям (с уровнем значимости 0,05).

Наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на концентрацию радона и, таким образом, являющимися «фильтрами» для сегментации выборки, являются следующие параметры: этаж, на котором расположено помещение; наличие подвала в здании; материал, из которого изготовлены строительные конструкции; радоноопасность грунтового основания. Последний из перечисленных факторов позволяет делить выборку по границам залегания разных типов пород, различающихся по следующим параметрам: генезис, минералогический состав, гранулометрический состав, возраст. Алгоритм деления выборки представлен на рис. 2.

В каждом регионе существуют жилые постройки, находящиеся в зонах радоновых аномалий различного генезиса. Наиболее часто встречающиеся аномалии – участки нарушений сплошного залегания горных пород. Такие участки территории необходимо выделять в отдельный кластер, чтобы не исказить результаты исследования в том кластере, в который «вкраплена» аномальная зона, а с практической точки зрения участки аномально высокой эсхалиции радона из почвы должны обследоваться особенно тщательно, так как вероятность обнаружения в их пределах помещений с высоким содержанием радона существенно выше. Локализация таких зон выполняется на основе геологической и геохимической информации с использованием ГИС-технологий. На основе статистического анализа результатов измерений по России и зарубежным странам разработан алгоритм прогнозной оценки радоноопасности территории. Он базируется на представлении о том, что распределение радона в зданиях близко к логнормальному виду. Для оценки μ распределения необходимо использовать усредненную величину, полученную на основании информации об имеющихся замерах на данной территории, средней величине гамма-фона, содержанию радона в почвенном воздухе, плотности потока радона из грунтов, содержанию радия и/или урана в почве. Получены корреляционные зависимости содержания радона в домах и некоторых вышеперечисленных косвенных прогнозных данных (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные показатели измерений на территории России и ряда европейских стран

Косвенные показатели	(AM) Среднее арифметическое ОА Rп в зданиях, Бк/м ³	(GM) Среднее геометрическое ОА Rп в зданиях, Бк/м ³
γ-фон территории нЗв/ч, (γ)	AM ≈ 0,766 × γ – 6,9592	GM ≈ 0,5004 × γ – 4,5458
ППР из грунта, (мБк/м ² с)	AM ≈ 3,0984 × ППР + 2,5169	GM ≈ 2,0239 × ППР + 1,6441

Таблица 2

Эмпирические соотношения прогнозных показателей радоноопасности грунта

Зависимая величина	Зависимость	Страна, год
ППР, мБк/(м ² с) ОА радона в почвенном воздухе, кБк/м ³ , (ОА _{почв})	ППР ≈ 1,223 × ОА _{почв}	Россия, 2008
ОА радона в почвенном воздухе, кБк/м ³ (ОА _{почв}) Среднегодовая ОА радона в домах, Бк/м ³ , (ОА _{внутр})	ОА _{внутр} ≈ 0,9771 × ОА _{почв} + 20,5	Германия, 2006
	ОА _{внутр} ≈ 6,559 × ОА _{почв} – 75,825	Хорватия, 2006
	ОА _{внутр} ≈ 6,1555 × ОА _{почв} – 2,9925	Испания, 2008
	ОА _{внутр} ≈ 0,2786 × ОА _{почв} + 35,429	Германия, 2009
ОА _{внутр} ≈ 4,9769 × ОА _{почв} + 35,473	Чехия, 2010	
ППР, Бк/(м ² ч), (X) γ-фон территории, нЗв/ч, (γ)	X ≈ 0,89 × γ - 0,11	Германия, Швейцария, 2007

Для этого нами были использованы эмпирические соотношения, полученные в ряде европейских стран

на основе проведенных измерений (табл. 2) [10, 19, 24]. Поэтому на этапе оценочных работ можно использовать его математическое ожидание. Полученные зависимости использовались нами в прогнозной оценке радоноопасности Воронежской области. Результаты анализа параметров региональных выборок показывают, что значение σ распределения в них колеблется в довольно узком интервале. Нами был сделан статистический анализ результатов измерений, выполненных в рамках национальных радоновых программ 26 стран мира (рис. 3).

Результаты

В результате анализа было получено значение σ = ln (GSD) = 0,820 231 769, которое в дальнейшем использовалось в определении степени радоноопасности Воронежской области. Отклонения результатов реальных измерений от логнормального закона в области низких значений объясняются преобладанием в этом интервале таких факторов, как концентрация радона во внешнем воздухе на данной территории, эсхалация радона из строительных материалов, а также погрешности средств измерений в областях, близких к нижнему порогу рабочего диапазона. В области высоких концентраций отклонения от предполагаемого распределения обусловлены нахождением зданий в местах «радоновых аномалий» различного генезиса. Поэтому после определения параметров распределения на всей исследуемой территории необходимо произвести корректировку для области высоких значений. Для определения параметров корректировки проанализировали расчетные и полученные в результате измерений значения распределений в диапазонах объемной активности (ОА) радона 200–400 Бк/м³ и более 400 Бк/м³ (рис. 4).

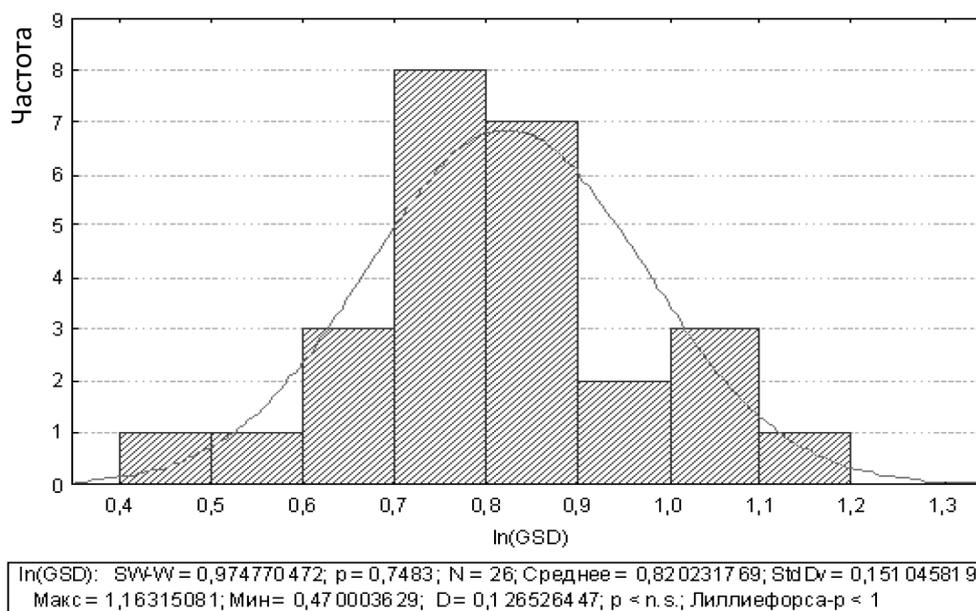


Рис. 3. Гистограмма частот параметра формы (σ) по результатам измерений в 26 странах (GSD – стандартное геометрическое отклонение)

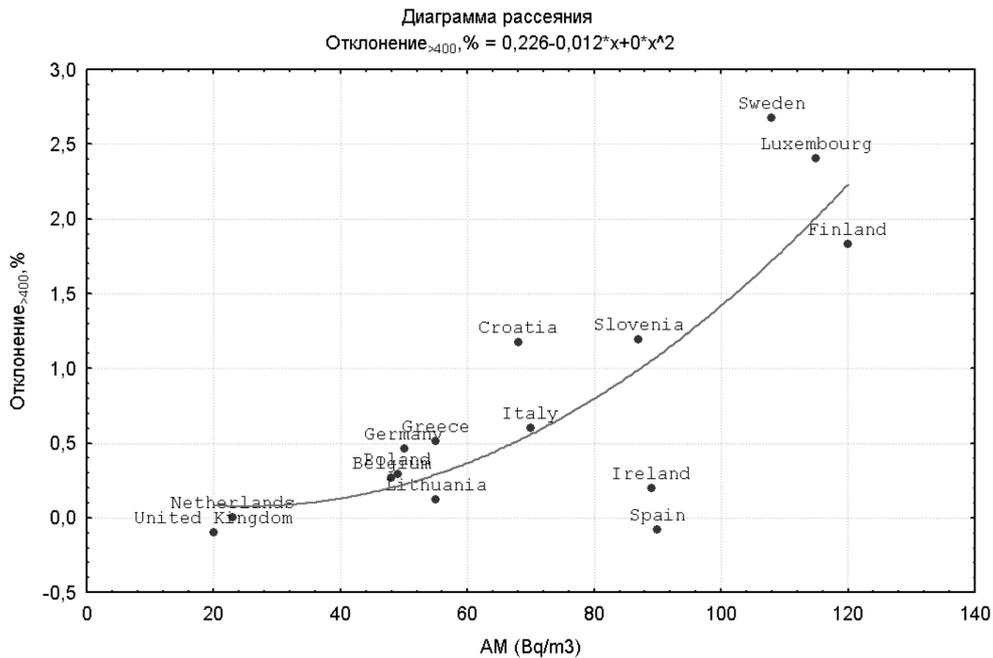


Рис. 4. Отклонение результатов измерений радона от логнормального распределения в области высоких содержаний

В области 200–400 Бк/м³ не выявлено закономерностей отклонения реальных измерений от теоретического тренда. В области значений более 400 Бк/м³ наблюдается статистически значимое увеличение разницы между расчетными и «измеренными» значениями с ростом средней величины концентрации радона в зданиях. Необходимо отметить, что в регионах с небольшой средней концентрацией радона 20–23 Бк/м³ рассмотренный эффект отсутствует.

Таким образом, усовершенствованная комплексная методика проведения мониторинга позволяет: повысить эффективность геоэкологических исследований по выявлению территорий радонового риска, обусловленного зонами влияния тектонических разломов; разрабатывать прогнозные математические модели радоноопасности региона на основе минимального количества данных. Предлагаемый подход позволяет усовершенствовать систему регионального мониторинга радона.

На основе методики геоэкологической типизации радоноопасности регионов был проведен анализ территории Воронежской области. Произведена оценка распределения зданий по содержанию в них радона. Материалом для определения параметров логнормального распределения стали данные обследований, проведенные учреждениями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), уровень гамма фона и полевые исследования авторов (результаты измерений плотности потока радона из грунтов, преобладающих на территории области). Измерения плотности потока радона (ППР) из грунтов выполнялись с помощью прибора РРА-01М и пробоотборного устройства методом «закрытой камеры». Результаты измерений представлены в табл. 3.

Общее количество проведенных замеров – 512. Средневзвешенное значение ППР (с учетом доли территории, занимаемой каждым из видов отложений) составляет 8,22 мБк/м²с. Значение среднего геометрического содержания радона в зданиях, соответствующее этой величине, – 28 Бк/м³.

Среднее геометрическое значение ОА радона в

Таблица 3
Результаты измерений плотности потока радона из различных типов грунтов на территории Воронежской области

Количество измерений	Среднее арифметическое, мБк/м ² с	Диапазон значений, мБк/м ² с	Стандартное отклонение	Доля площади территории области, занимаемая видом отложений, %
Субаэральные образования, делювиальные отложения склонов и аллювиально-делювиальные выполнения древних балок, нижнее звено неоплейстоцена (суглинки с горизонтами погребенных почв 3–6 м), верхнее звено неоплейстоцена (суглинки с горизонтами погребенных почв 1–5 м)				
160	8,1	4–47	7,5	54
Аллювиальные отложения голоцена (пески, суглинки, до 20 м), аллювиальные отложения надпойменных террас верхнего и среднего звена неоплейстоцена (пески, суглинки, глины. Обычно до 25 м)				
128	5,8	2–42	7,4	33
Делювиальные отложения склонов и аллювиально-делювиальные выполнения древних балок (Суглинки. До 25 м)				
80	13,4	6–21	5,8	6
Субаэральные образования городской серии (Суглинки с горизонтами погребенных почв, иногда песков и глин. До 8 м)				
80	16,7	5–56	13,2	6
Дочетвертичные отложения				
64	10,1	6–16	3,5	1

строениях Воронежской области, по результатам измерений Роспотребнадзора в 2009 г., составляет 25,857 48 Бк/м³. Средняя величина гамма-фона в области около 90 нЗв/ч (10 мкР/ч). Значение среднего геометрического концентрации радона в зданиях при таком гамма-фоне составляет около 40,5 Бк/м³. Значение среднего геометрического содержания радона в зданиях, рассчитанное как усредненный показатель по гамма-фону, данным ППР и ОА радона в жилых домах, составляет 31,5 Бк/м³. То есть параметр μ распределения радона в зданиях области равен 3,434. В качестве параметра σ логнормального распределения радона в зданиях используем значение, полученное по выборке 26 стран мира $\sigma = 0,820\ 231\ 769$. Результаты расчетов приведены в табл. 4. В связи с тем, что значение среднего арифметического менее 40, корректировка распределения в области высоких концентраций не требуется.

радонобезопасным регионам. Расчетное число жилых помещений с превышением допустимого уровня ОА радона составляет около 0,1 %.

На основе анализа геологической информации проведено «выделение» зон повышенного риска в местах влияния тектонических разломов.

Наибольшая плотность зон влияния тектонических разломов наблюдается вдоль долин рек Дон и Хопер. Наиболее крупные участки повышенной плотности находятся в Лискинском, Острогжском, Новохоперском, Грибановском, Павловском и Хохольском районах. В этих районах степень повышенной радоноопасности необходимо учитывать при планировании строительства объектов промышленного и гражданского назначения (рис. 5).

Определена длина разломов, пересекающих населенные пункты. На основании этих значений рассчитано количество домов индивидуальной застройки, которые могут находиться в местах локализации радоновых аномалий. Это позволяет выявлять строения с высоким содержанием радона. Наибольшая длина участков пересечения разломными зонами селитебных территорий наблюдается в Лискинском и Павловском районах. Проведен анализ заболеваемости раком легких (РЛ) и другими формами злокачественных новообразований (ЗНО) на территории Воронежской области [14]. По заболеваемости РЛ наиболее сложная ситуация сложилась на севере и северо-западе области. Заболеваемость ЗНО отражает общее экологическое состояние окружающей среды. Существенное повышение уровня заболеваемости какой-либо нозологической формой по сравнению

Таблица 4
Результаты прогнозных расчетов радоноопасности Воронежской области

Доля жилых помещений Воронежской области, превышающих контролируемые уровни, %			
Уровень ОА радона, Бк/м ³	$\sigma = 0,82$	Min $\sigma = 0,47$	Max $\sigma = 1,16$
>400	0,08	0,00	1,27
200-400	0,95	0,00	3,81

Обсуждение результатов

По результатам первого этапа обследования можно сделать вывод, что Воронежская область относится к

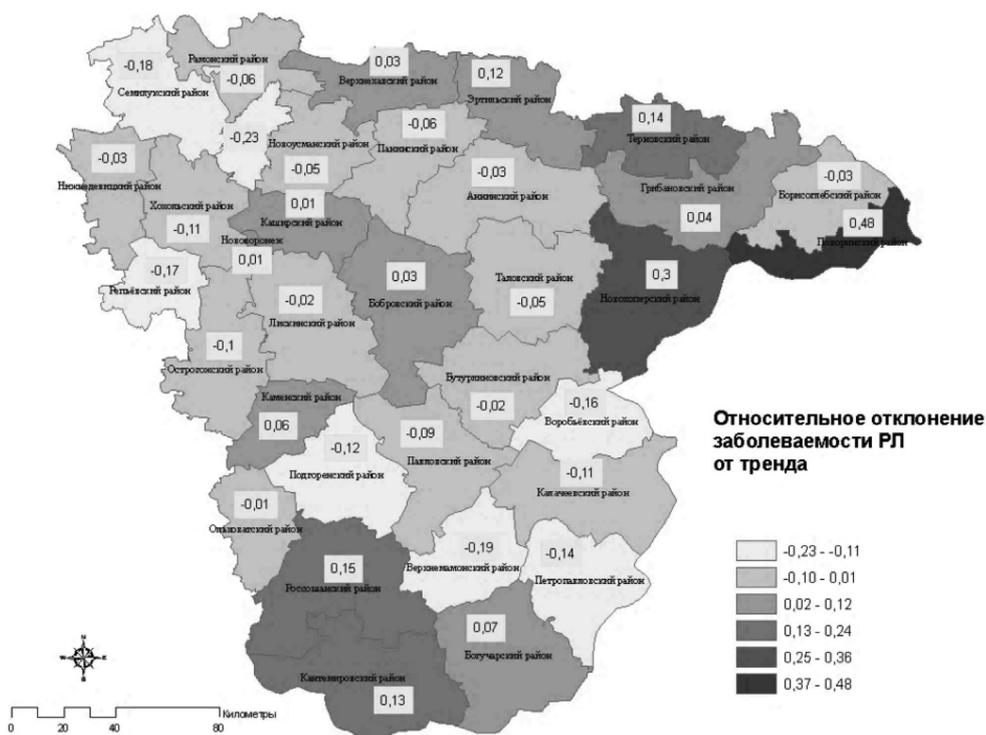


Рис. 5. Отклонение от усредненного соотношения заболеваемости раком легкого и остальных форм онкологических заболеваний

с остальными формами ЗНО означает присутствие канцерогенного фактора или суммы факторов, специфически воздействующих на определенную систему человеческого организма. С этой точки зрения мы дифференцировали районы Воронежской области по степени отклонения заболеваемости РЛ от среднего уровня.

Для этого проанализировали такие показатели, как заболеваемость РЛ, заболеваемость всеми остальными формами ЗНО, и отношение этих значений. Отношение заболеваемости РЛ к остальным форм онкологических заболеваний растет пропорционально РЛ. Для определения степени отклонения заболеваемости РЛ в районах области от общей тенденции рассчитали относительное отклонение реальных значений от линии регрессии.

Было выявлено, что в ряде районов заболеваемость РЛ намного превосходит динамику других форм ЗНО (см. рис. 5). На общем фоне особенно выделяются показатели Поворинского и Новохоперского районов. Существенные отклонения от общего тренда говорят о том, что на общем фоне канцерогенных факторов в этих районах наблюдается негативное воздействие на органы дыхательной системы. В северо-восточных районах области отклонения можно объяснить влиянием Хоперского тектонического разлома. В южных районах негативное влияние может оказывать перенос загрязнителей с территории Донбасса.

Таким образом, изучение радоноопасности Воронежской области выявило зоны геоэкологического риска для проживания населения по линии Хоперского тектонического разлома и по долине реки Дон. Неглубокое залегание докембрийского фундамента и выход его на поверхность также усиливает радоноопасность территории.

В пределах области у ст. Лиски имеется месторождение радоновых вод, на базе которого создан курорт по лечению различных видов заболеваний, где отмечена позитивная роль радона. Наряду с другими факторами радоноопасность территории отражается на здоровье населения, и особенно на онкологических заболеваниях органов дыхания. Благодаря своим химическим, физическим и радиоактивным свойствам радон является уникальным естественным трассером различных процессов, происходящих в природе. Во-первых, образование радона происходит с постоянной скоростью, зависящей только от содержания радия в материнской породе, и подчиняется закону радиоактивного распада. Во-вторых, являясь химически инертным элементом, радон не вступает в химические реакции в естественных условиях. То есть набор факторов, определяющих транспортировку радона, ограничен только физическими процессами. В-третьих, радиоактивные свойства и отсутствие химических связей существенно упрощают задачу по определению содержания радона в среде. В-четвертых, сравнительно короткое время жизни

(период полураспада 3,8 дня) позволяет получить дополнительный источник данных для понимания динамики исследуемых процессов и получать скорости продвижения потоков вещества.

На основе проведенных исследований получены следующие выводы:

1. Комплексный геоэкологический мониторинг радоноопасности территории следует рассматривать как основной методологический подход в изучении характера территориального распределения радона.

2. При комплексном мониторинге радона необходимо учитывать природный фон, конструкцию зданий и показатели онкологической заболеваемости населения как основные элементы, влияющие на условия жизнедеятельности населения.

3. Разработан механизм ГИС-контроля радоноопасности территорий, который в сочетании с картографическими моделями позволяет оперативно определить степень комфортности проживания населения.

4. Геотектоническая типология размещения селитебных территорий позволяет выделить три основных типа населенных пунктов с функциональной доминантой степени радоноопасности.

5. Для комплексной оценки территории на радоноопасность необходима организация регионального банка данных.

6. При изучении рисков возникновения онкологических заболеваний важно учитывать отклонения от усредненных соотношений нозологических форм для выявления факторов, влияющих на заболеваемость раком легкого.

7. В зонах повышенного риска радоноопасности необходима организация длительного мониторинга на селитебных территориях.

Авторство

Никифоров Д. В. осуществил получение, анализ и интерпретацию данных; Межова Л. А. существенно переработала статью на предмет важного интеллектуального содержания; Кульнев В. В. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования и подготовил первый вариант статьи; Луговской А. М. окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Никанов А. Н. внес существенный вклад в медицинскую часть концепции исследования; Кизеев А. Н. внес существенный вклад в анализ и интерпретацию данных; Репина Е. М. участвовала в анализе данных.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Никифоров Даниил Владимирович — ORCID 0000-0001-6003-2838

Межова Лидия Александровна — SPIN 1138-3964; ORCID 0000-0002-6652-5120

Кульнев Вадим Вячеславович — SPIN 4358-6260; ORCID 0000-0002-1646-9183

Луговской Александр Михайлович — SPIN 4623-6112; ORCID 0000-0002-3985-4535

Никанов Александр Николаевич — SPIN 6838-5002; ORCID 0000-0003-3335-4721

Кизеев Алексей Николаевич — SPIN 8211-7583; ORCID 0000-0002-8689-7327

Репина Елена Михайловна — SPIN 2909-7492; ORCID 0000-0001-6433-8754

Список литературы

1. Алиев Ч. С., Фейзуллаев А. А., Багирли Р. Д., Махмудова Ф. Ф. Распределения радона в зданиях и геологической среде на территории Азербайджана // Геориск. 2016. № 4. С. 34–43.
2. Бакаева Н. В., Калайдо А. В. Механизмы поступления радона в здания и сооружения // Строительство и реконструкция. 2016. № 5 (67). С. 51–59.
3. Бобров А. А. К вопросу о сейсмической активности и поле радона в Приольхонье (Западное Прибайкалье) // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 76–85.
4. Бубенчиков А. А., Теддер Ю. Р., Гудков А. Б., Сухомлинов Ю. А., Сухарев А. В., Бубенчикова В. Н., Сухарев А. В. О содержании радионуклидов в некоторых растениях в зависимости от загрязнения внешней среды // Экология человека. 1995. № 2. С. 162–166.
5. 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.
6. Кизеев А. Н., Жиров В. К., Ушамова С. Ф., Коклянов Е. Б., Никанов А. Н., Кульнев В. В., Базарский О. В. Экогеосистемы горнодобывающего класса северо-запада Восточно-Европейской платформы (Мурманская область) // Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии: коллективная монография / под ред. проф. И. И. Косиновой. Воронеж, 2015. С. 282–326.
7. Козлова Е. А., Юрков А. К. Отражение последовательных сейсмических событий в поле объемной активности радона // Уральский геофизический вестник. 2016. № 1 (27). С. 35–39.
8. Магомедова А. Ш., Езимова Ю. Е., Удоратин В. В. Разнотипные разломы Среднего Тимана и Печоро-Колвинского авлакогена в поле радона // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: сб. материалов 24-й науч. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2015. С. 112–114.
9. Никифоров Д. В., Межова Л. А. Геоэкологическая оценка радоноопасности территории Воронежской области // Проблемы региональной экологии. 2012. № 3. С. 54–57.
10. Никифоров Д. В., Межова Л. А. Преимущества радона как трассера природных процессов при геоэкологических исследованиях // Естественные и технические науки. 2009. № 6. С. 434–436.
11. Онищенко Г. Г., Попова А. Ю., Романович И. К., Барковский А. Н., Кормановская Т. А., Шевкун И. Г. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД — информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 3. С. 18–35.
12. Семченко М. И., Трифонова Т. А., Ширкин Л. А. Оценка объемной активности радона в воздухе помещений на примере города Владимира // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4–5. С. 972–976.
13. Филиппов В. А., Дмитриев Э. М. Анализ результатов одновременных измерений объемной активности радона

разными приборами // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: тезисы докладов и программа конференции / Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук. 2016. С. 71.

14. Чевардов Н. И. Первичная заболеваемость злокачественными новообразованиями населения Воронежской области // Врач. 2018. № 8. С. 52–53.

15. Юнусов М. М., Разыков З. А., Муртазаев Х. Эксхалляция радона из радиоактивных хвостохранилищ северного Таджикистана // XXI век. Техноферная безопасность. 2016. Т. 1, № 3 (3). С. 93–99.

16. Barlesi F., Doddoli Ch., Chetaille Br., Torre J.-Ph. et al. Survival and postoperative complication in daily practice after neoadjuvant therapy in resectable stage IIIA-N2 non-small cell lung cancer // Interact Cardiovasc Thorac Surgery. 2003. Vol. 2. P. 558–563.

17. Dulaiova H., Peterson R., Burnett W. C., and Lane-Smith D. A multi-detector continuous monitor for assessment of ²²²Rn in the coastal ocean // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. Vol. 263 (2). P. 361–365.

18. Jeremic Br., Machtay M. Concurrent radiochemotherapy in the treatment of locally advanced non-small cell lung cancer // Hematol Oncol Clin N Amer. 2004. Vol. 18. P. 91–101.

19. Kizeev A. N. Accumulation of radionuclides in natural objects in central part of Murmansk region // European Journal of Natural History. 2015. N 2. P. 67–68.

20. Miklyaev P., Petrova T., Klimshin A. V. The map of radon hazard of Moscow // Engineering Geology for Society and Territory. Vol. 5. Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation, 2015. P. 919–922.

21. Nikanov A., Anfalova G., Tchachtchine M., Bykov V. Radon and population health in the mountain area of the Kola Peninsula. The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. Extended abstracts. Tromso, Norway, June 1-5, 1997. Vol. 2. P. 245–246.

22. Parovik R. I. Mathematical modeling of radon sub diffusion into the cylindrical layer in ground // Life Science Journal. 2014. Vol. 11, N 9. P. 281–283

23. Sahu P., Panigrahi D. C., Mishra D. P. A comprehensive review on sources of radon and factors affecting radon concentration in underground uranium mines // Environmental Earth Sciences. 2016. Vol. 75, N 7. P. 617.

24. Schmithüsen D., Levin I., Chambers S., Fischer B., Gilge S., Hatakka J., Paatero J., Kazan V., Ramonet M., Neubert R., Schlosser C., Schmid S., Vermeulen A. A European-wide ²²²Rn and ²²²Rn progeny comparison study // Atmospheric Measurement Techniques. 2017. Vol. 10, N 4. P. 1299–1312.

25. Seminsky K. Z., Bobrov A. A., Demberel S. Variations in radon activity in the crustal fault zones: spatial characteristics // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2014. Vol. 50, N 6. P. 795–813

26. Steinitz G., Piatibratova O., Kotlarsky P. Sub-daily periodic radon signals in a confined radon system // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 134. P. 128–135.

27. Surkov V. V. Pre-seismic variations of atmospheric radon activity as a possible reason for abnormal atmospheric effects // Annals of Geophysics. 2015. Vol. 58, N 5. P. A0554.

28. Vaupotic J., Smrekar N., Žunič Z. S. Comparison of radon doses based on different radon monitoring approaches // Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 169–170. P. 19–26.

29. Yarmoshenko I., Onishchenko A., Zhukovsky M. Establishing a regional reference indoor radon level on the

basis of radon survey data // Journal of Radiological Protection. 2013. Vol. 33, N 2. P. 329–336.

30. Ye Y. J., Ding D. X., Wang L. H., Zhao Y. L., Fan N. B. Inverse method for determining radon diffusion coefficient and free radon production rate of fragmented uranium ore // Radiation Measurements. 2014. Vol. 68. P. 1–6.

References

1. Aliev Ch. S., Fejzullaev A. A., Bagirli R. D., Mahmudova F. F. The distribution of indoor radon and the geological environment on the territory of Azerbaijan. *Georisk* [Georisk]. 2016, 4, pp. 34-43. [In Russian]
2. Bakaeva N. V., Kalajdo A. V. Mechanisms of radon entry into buildings and structures. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction]. 2016, 5 (67), pp. 51-59. [In Russian]
3. Bobrov A. A. Seismic activity and radon field in the Priolchonie (West Pribaykalie). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenij* [Proceedings of Siberian branch of the Russian Academy of natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits]. 2016, 3 (56), pp. 76-85. [In Russian]
4. Bubenchikov A. A., Tedder Yu. R., Gudkov A. B., Sukhomlinov Yu. A., Sukharev A. V., Bubenchikova V. N., Sukharev A. V. The content of radionuclides in some plants, depending on environmental pollution. *Ecologiya cheloveka* [Human Ecology]. 1995, 2, pp. 162-166. [In Russian]
5. Karpin V. A., Kostryukova N. K., Gudkov A. B. Human radiation action of radon and its daughter disintegration products. *Gigiena i Sanitarnaya*. 2005, 4, pp. 13-17. [In Russian]
6. Kizeev A. N., Zhiron V. K., Ushamova S. F., Koklyanov E. B., Nikanov A. N., Kufnev V. V., Bazarskiy O. V. Ekogeosistemy gornodobyvauschego klassa severo-zapada Vostochno-Evropeyskoy platform (Murmanskaya oblast') [Ecogeosystems of mountain class North-West of East-European area (Murmansk region)]. In: *Ekologicheskaya geologiya krupnykh gornodobyvauschikh rayonov Severnoy Yevrazii* [Ecologic geology on the mountain area of North EuroAzia], ed. prof. I. I. Kosinova. Voronezh, 2015, pp. 282-326.
7. Kozlova E. A., Yurkov A. K. Reflection of successive seismic events in the field of radon volume activity. *Ural'skii geofizicheskii vestnik* [Ural Geophysical Bulletin]. 2016, 1 (27), pp. 35-39. [In Russian]
8. Magomedova A. Sh., Ezimova Yu. E., Udoratin V. V. Raznotipnye razlomy Srednego Timana i Pechora-Kolvinskogo avlakogena v pole radona [Different types of faults of the Middle Timan and Pechora-kolvinsk-Avlakogen in the radon field]. In: *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta. Sbornik materialov 24 nauchnoi konferentsii Instituta geologii Komi NC UrO RAN*. [Structure, substance, history of lithosphere of the Timan-North Ural segment. Collection materials of the 24th scientific conference of the Institute of Geology of Komi NC Uro RAS]. Syktyvkar, Institute of Geology, Komi science center URD RAS, 2015, pp. 112-114.
9. Nikiforov D. V., Mezkhova L. A. Geoeological assessment of the territory of the Voronezh region radon danger. *Problemy regional'noi ekologii* [Problems of regional ecology]. 2012, 3, pp. 54-57. [In Russian]
10. Nikiforov D. V., Mezkhova L. A. Advantages of radon as a tracer of natural processes in geoeological studies. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical Sciences]. 2009, 6, pp. 434-436. [In Russian]
11. Onishchenko G. G., Popova A. Yu., Romanovich I. K., Barkovsky A. N., Kormanovskaya T. A., Shevkun I. G. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 2: characteristics of the sources and exposure doses of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*. 2017, 10 (3), pp. 18-35. [In Russian]
12. Semchenko M. I., Trifonova T. A., Shirkin L. A. Estimation of volume activity of radon in the air of premises on the example of the city of Vladimir. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [News of Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences]. 2015, 17 (4-5), pp. 972-976. [In Russian]
13. Filippov V. A., Dmitriev Eh. M. Analiz rezul'tatov odnoveremnykh izmerenij ob'yomnoj aktivnosti radona raznymi priborami [Analysis of the results of simultaneous measurements of radon volume activity by different devices]. In: *Nauchnaya konferentsiya molodykh uchennykh i aspirantov IFZ RAN. Tezisy dokladov i programma konferentsii Instituta fiziki Zemli im. O. Yu. Shmidta Rossiiskoi akademii nauk* [Scientific conference of young scientists and postgraduates of IPhE RAS. Abstracts and conference program. Institute of physics of the Earth. O. Yu. Schmidt Russian Academy of Sciences]. 2016, pp. 71.
14. Chevardov N. I. Primary incidence of malignant neoplasms of the population of the Voronezh region. *Vrach* [Doctor]. 2018, 8, pp. 52-53. [In Russian]
15. Yunusov M. M., Razykov Z. A., Murtazaev H. Achalasia of radon from radioactive tailing dumps in Northern Tajikistan. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'* [Twenty-first century. Technosphere safety]. 2016, 1, N 3 (3), pp. 93-99. [In Russian]
16. Barlesi F., Doddoli Ch., Chetaille Br., Torre J.-Ph. et al. Survival and postoperative complication in daily practice after neoadjuvant therapy in resectable stage IIIA-N2 non-small cell lung cancer. *Interact Cardiovasc Thorac Surgery*. 2003, 2, pp. 558-563.
17. Dulaiova, H., Peterson R., Burnett W. C., and Lane-Smith D. A multi-detector continuous monitor for assessment of 222 Rn in the coastal ocean. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2005, 263 (2), pp. 361-365.
18. Jeremic Br., Machtay M. Concurrent radiochemotherapy in the treatment of locally advanced non-small cell lung cancer. *Hematol Oncol Clin N Amer*. 2004, 18, pp. 91-101.
19. Kizeev A. N. Accumulation of radionuclides in natural objects in central part of Murmansk region. *European Journal of Natural History*. 2015, 2, pp. 67-68.
20. Miklyaev P., Petrova T., Klimshin A. V. The map of radon hazard of Moscow. In the book: *Engineering Geology for Society and Territory*. Vol. 5. Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation, 2015, pp. 919-922.
21. Nikanov A., Anfalova G., Tchachtchine M., Bykov V. Radon and population health in the mountain area of the Kola Peninsula. The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. Extended abstracts. Tromso, Norway, June 1-5, 1997, vol. 2, pp. 245-246.
22. Parovik R. I. Mathematical modeling of radon sub diffusion into the cylindrical layer in ground. *Life Science Journal*. 2014, 11 (9), pp. 281-283.
23. Sahu P., Panigrahi D. C., Mishra D. P. A comprehensive review on sources of radon and factors affecting radon concentration in underground uranium mines. *Environmental Earth Sciences*. 2016, 75 (7), p. 617.

24. Schmithüsen D., Levin I., Chambers S., Fischer B., Gilge S., Hatakka J., Paatero J., Kazan V., Ramonet M., Neubert R., Schlosser C., Schmid S., Vermeulen A. A European-wide ^{222}Rn and ^{222}Rn progeny comparison study. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2017, 10 (4), pp. 1299-1312.
25. Seminsky K. Z., Bobrov A. A., Demberel S. Variations in radon activity in the crustal fault zones: spatial characteristics. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2014, 50 (6), pp. 795-813.
26. Steinitz G., Piatibratova O., Kotlarsky P. Sub-daily periodic radon signals in a confined radon system. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2014, 134, pp. 128-135.
27. Surkov V. V. Pre-seismic variations of atmospheric radon activity as a possible reason for abnormal atmospheric effects. *Annals of Geophysics*. 2015, 58 (5), p. A0554.
28. Vaupotič J., Smrekar N., Žunić Z. S. Comparison of radon doses based on different radon monitoring approaches. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017, 169-170, pp. 19-26.
29. Yarmoshenko I., Onishchenko A., Zhukovsky M. Establishing a regional reference indoor radon level on the basis of radon survey data. *Journal of Radiological Protection*. 2013, 33 (2), pp. 329-336.
30. Ye Y. J., Ding D. X., Wang L. H., Zhao Y. L., Fan N. B. Inverse method for determining radon diffusion coefficient and free radon production rate of fragmented uranium ore. *Radiation Measurements*. 2014, 68, pp. 1-6.

Контактная информация:

Никанов Александр Николаевич — кандидат медицинских наук, заместитель директора — директор филиала Научно-исследовательская лаборатория ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, врач-профпатолог

Адрес: 184250, Мурманская область, г. Кировск, пр. Ленина, д. 34

E-mail: krl_s-znc@mail.ru

УДК 519.2

АНАЛИЗ КАТЕГОРИАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ R

© 2019 г. ¹В. Л. Егошин, ²С. В. Иванов, ³Н. В. Саввина, ⁴Г. Ж. Капанова,
⁵Л. М. Жамалиева, ³⁻⁶А. М. Гржибовский

¹Павлодарский филиал Государственного медицинского университета г. Семей, г. Павлодар, Казахстан;

²Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, г. Санкт-Петербург;

³Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск;

⁴Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан;

⁵Западно-Казахстанский государственный медицинский университет им. Марата Оспанова, г. Актобе, Казахстан;

⁶Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

В статье рассмотрены основные алгоритмы работы в программной среде R, используемые для проведения анализа категориальных данных. Представлены алгоритмы анализа номинальных и порядковых независимых и связанных переменных в таблицах различной размерности.

Ключевые слова: категориальные переменные, номинальные переменные, порядковые переменные, статистический анализ, R

ANALYSIS OF CATEGORICAL VARIABLES USING R

¹V. L. Egoshin, ²S. V. Ivanov, ³N. V. Savvina, ⁴G. Z. Kapanova,
⁵L. M. Zhamaliyeva, ³⁻⁶A. M. Grjibovski

¹Semey State Medical University, Pavlodar Campus, Pavlodar, Kazakhstan; ²I. P. Pavlov First St. Petersburg State

Medical University, St. Petersburg, Russia; ³North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia; ⁴Al-Farabi Kazakh

National University, Almaty, Kazakhstan; ⁵West Kazakhstan Marat Ospanov State Medical University, Aktobe,

Kazakhstan; ⁶Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

The article presents basic algorithms categorical data analysis using R package. Algorithms for the analysis of independent and non-independent nominal and ordinal data are presented.

Key words: categorical data, nominal data, ordinal data, statistical analysis, R

Библиографическая ссылка:

Егошин В. Л., Иванов С. В., Саввина Н. В., Капанова Г. Ж., Жамалиева Л. М., Гржибовский А. М. Анализ категориальных данных с использованием программной среды R // Экология человека. 2019. № 1. С. 51–64.

Egoshin V. L., Ivanov S. V., Savvina N. V., Kapanova G. Z., Zhamaliyeva L. M., Grjibovski A. M. Analysis of Categorical Variables Using R. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 1, pp. 51-64.

Анализ категориальных данных является важной составляющей изучения данных в биостатистике и медицине. Использование специального программного обеспечения, например программной среды R, позволяет быстро и грамотно провести процесс анализа, но не уменьшает требований к пониманию сути выполняемых статистических тестов. Вопросы использования статистических методов при анализе категориальных данных помогают решать существующие руководства и сетевые ресурсы [3, 4, 8, 9, 10, 15].

Среди категориальных переменных выделяют бинарные, номинальные и порядковые. Иерархию шкал измерений для изучаемых данных можно представить следующим образом: бинарные и номинальные < порядковые < интервальные. Следует отметить, что для переменных, стоящих выше по уровню иерархии, могут применяться те же методы, что и для нижестоящих, но не наоборот [15].

Анализ категориальных данных начинается с их описания, продолжается выполнением статистических

тестов. Проверка нулевой гипотезы (null hypothesis significance testing – NHST) является наиболее часто встречающейся техникой, используемой в биомедицинских исследованиях [13].

Анализ категориальных данных начинается с создания таблиц, которые в зависимости от количества включенных переменных могут быть одномерными, двумерными, трехмерными и т. д. Таблицы могут представлять категориальные данные в виде таблиц частот и таблиц сопряженности. При этом таблицы частот демонстрируют частоту встречаемости признаков, а таблицы сопряженности являются формой представления данных на основе группировки признаков по принципу их сочетаемости.

При формировании таблицы первой указывается независимая переменная (её категории образуют ряды таблицы), второй – зависимая (её категории образуют столбцы таблицы). Третья и последующие переменные делят двумерную таблицу на подгруппы (страты). Предпочтительными являются таблицы,

представляющие данные в виде частот (числа) и пропорций.

Для визуализации категориальных данных часто рекомендуется использование столбиковых диаграмм.

Следует отметить, что в одномерных таблицах оценивается соответствие распределения категорий предполагаемому (goodness-of-fit), а в двумерных оценивается независимость/связь переменных. В случае, когда такая связь между переменными найдена, проводится изучение степени их ассоциации (силы связи).

Важным моментом подготовки к анализу является то, что при изучении категориальных данных важно различать связанные и несвязанные группы.

Для многопольных таблиц (более чем 2×2) большое значение имеет апостериорный (post-hoc) анализ, позволяющий определить, какие категории обусловили выявленные статистически значимые различия.

Последним и достаточно важным компонентом анализа данных является определение величины эффекта.

Подходы к анализу несвязанных (независимых) данных с описанием соответствующих функций в R представлены в табл. 1.

Таблица 1

Подходы к анализу несвязанных (независимых) данных					
Таблица	Переменная	Цель теста	Тест	Функция {пакет} R	Номер листинга
Одномерная	Бинарная		Биномиальный	binom.test {stats}	4
	Номинальная	Центральная тенденция	Мода	Mode {DescTools}	8
		Дисперсия	Доля вариации	–	8
		goodness of fit	χ^2 test	chisq.test {stats}	5, 6, 7, 8
		post-hoc тест	Попарн. бином.		8
		effect size	Cramer V	CramerV {DescTools}	8
	Порядковая	Центральная тенденция	Медиана	median {stats}	–
Дисперсия		Консенсус	consensus {agrmt}	–	
Двумерная	Номинальная vs. номинальная	Независимость	χ^2 test	chisq.test {stats}	9, 10, 14, 17
		post-hoc тест	Анализ остатков	–	–
		effect size	Cramer V	CramerV {DescTools}	8, 14, 17
	Номинальная vs. порядковая	Различия	Kruskal-Wallis	kruskal.test {stats}	15
		post-hoc тест	Dunn's test	DunnTest {DescTools}	15
		effect size	ϵ^2	–	15
Порядковая vs. порядковая	effect size	GKgamma	gkgamma {MESS}	16	

Для примера проведения анализа категориальных данных будут использованы выборочные модифицированные данные Архангельского областного регистра родов. Подготовка данных к анализу представлена на рис. 1 (листинг 1).

Листинг 1

```
# импорт из файла
df<- foreign::read.spss("Simulated_sample.sav", to.data.frame =TRUE)

# преобразования в таблице данных
df<- df%>%
mutate(lowBirthWeight =factor(ifelse(BirthWeight<2500, 'yes', 'no')),
Maternal_age_group =factor(cut(Maternal_age, breaks =c(14, 20, 25, 30, 35, 50), labels =c('<20', '20-25', '25-30', '30-35', '>35'))),
Infant_sex =as.factor(as.character(Infant_sex)))
```

Рис. 1. Подготовка данных для анализа

При выполнении последующих этапов анализа категориальных данных использовались функции пакетов: stats (базовый), tidyverse, DescTools, vcd, MESS, coin, pander, gridExtra.

Использовались следующие пользовательские функции:

– chisq_padjust – попарный биномиальный тест для одной номинальной переменной с целью выявления различий во всех возможных парах категорий с учетом множественных сравнений. Функция возвращает «подогнанное» (adjust) p-значение. Используются p.adjust методы (параметр m_adjust функции) – “holm”, “hochberg”, “hommel”, “bonferroni”, “BH”, “BY”, “fdr”, “none”. Подробнее об этих методах можно прочитать в документации о функции p.adjust (данная функция в дальнейшем используется в листинге 8).

– epsilon_sq – функция оценки величины эффекта при изучении взаимосвязи порядковой и номинальной переменных путем определения ϵ^2 [16]. Вычисление выполняется по формуле: $\epsilon^2 = \frac{H}{(n^2-1)/(n+1)}$, где H – Kruskal-Wallis rank sum statistic, n – размер выборки (данная функция в дальнейшем используется в листинге 15).

– fisher_ph – post-hoc тест, функция выполняет fisher.test для каждой страты в трехмерной таблице (данная функция в дальнейшем используется в листинге 17).

– variation_ratio – используется для определения доли вариации для одномодальной категориальной переменной (данная функция в дальнейшем используется в листинге 8).

Использование данных функций представлено на рис. 2 (листинг 2).

Листинг 2

```
# Post-hoc попарный биномиальный тест для
```

```

одной номинальной переменной
chisq_padjust<- function(dat, m_adjust) {
myFreq<- as.data.frame(table(dat))
comb<- t(combn(myFreq$dat, 2))
comb<- data.frame(ID =1:nrow(comb), t1
=comb[, 1], t2 =comb[, 2])
comb2 <- data.frame(t(combn(myFreq$Freq,
2)))
comb2$sig<- apply(comb2, 1, function(x)
binom.test(x[1], x[1] +x[2])$p.value)
comb2$adjsig<- p.adjust(comb2$sig, method
=m_adjust)
comb2$ID<- 1:nrow(comb2)
comb3 <- inner_join(comb, comb2, by = 'ID')
return(comb3)
}
# функция оценки величины эффекта при изучении
связи порядковой и номинальной переменных
epsilon_sq<- function(ordinal, nominal) {
Hadj<- unname(kruskal.test(ordinal~nominal)$
tatic)
n<- sum(table(ordinal, nominal))
Hadj* (n+1) / (n**2-1)
}
# функция, выполняет fisher.test для каждой
страты в трехмерной таблице
fisher_ph<- function(x, d =6) {
n = dim(x)[3]
n_tab<- dimnames(x)[[3]]
pv_tab<- numeric()
for(iin1:n) pv_tab[i] = fisher.
test(x[, ,i])$p.value
as.data.frame(cbind(n_tab, round(pv_tab, d)))
}
# функция для определения доли вариации для
одномодальной категориальной переменной
variation_ratio<- function(x) {
pt<- prop.table(table(x))
unname(1-pt[which.max(pt)])
}

```

Рис. 2. Использование функций chisq_padjust, epsilon_sq, fisher_ph, variation_ratio

Анализ одномерных таблиц с несвязанными переменными

При анализе одной категориальной переменной создается одномерная таблица, в которой названиями столбцов являются названия категорий переменной, а содержимым ячеек таблицы — их частоты (в числах или долях) (рис. 3 — листинг 3).

Листинг 3

```

Freq(df$Infant_sex)

##      level   freq   perc  cumfreq cumperc
## 1  Female  967    48.4%   967    48.4%
## 2   Male  1'033   51.6%   2'000  100.0%

```

Рис. 3. Формирование одномерной таблицы

Далее рассмотрим подходы к анализу различных вариантов категориальных переменных.

Категориальная переменная, которая может принимать только два значения, называется бинарной. Для анализа таких переменных можно использовать биномиальный (binom.test) тест (для малых выборок) и одновыборочный z-тест (prop.test).

Формат функции binom.test следующий: binom.test(x, n, p = 0.5, alternative = c("two.sided", "less", "greater"), conf.level = 0.95), где x — количество success или вектор из двух значений (success, failure); n — общее число случаев, не указывается, если x — вектор; p — ожидаемая вероятность (по умолчанию — 0,5), alternative — определение альтернативной гипотезы (по умолчанию 'two.sided'); conf.level — избранный доверительный уровень (по умолчанию 0,95).

Функция возвращает значение достигнутого уровня значимости (p), доверительный интервал и другие показатели.

Рассмотрим пример использования данной функции. Допустим, в группе из 20 экспериментальных животных отмечен положительный результат (success) получен у 14 особей, т. е. предполагаемая вероятность положительного результата — 60 %.

Нулевая гипотеза может быть сформулирована следующим образом: наблюдаемая доля успехов равна ожидаемой доли успехов — $H_0: p_0 = p_e$, где p_0 — наблюдаемая доля успехов, p_e — ожидаемая доля успехов.

Соответственно альтернативная гипотеза будет следующей — $H_A: p_0 \neq p_e$, т. е. наблюдаемая доля успехов не равна ожидаемой доли успехов (рис. 4 — листинг 4).

Листинг 4

```

# два способа выполнения binom.test
# x - число success
binom.test(x =14, n =20, p = .6)
##
## Exact binomial test
##
## data: 14 and 20
## number of successes = 14, number of
## trials = 20, p-value = 0.4947
## alternative hypothesis: true probability
## of success is not equal to 6e-01
## 95 percent confidence interval:
## 0.4572108 0.8810684
## sample estimates:
## probability of success
## 7e-01
# x - вектор
binom.test(x =c(14, 6), p = .6)
##
## Exact binomial test
##
## data: c(14, 6)
## number of successes = 14, number of
## trials = 20, p-value = 0.4947
## alternative hypothesis: true probability
## of success is not equal to 6e-01
## 95 percent confidence interval:
## 0.4572108 0.8810684

```

```
## sample estimates:
## probability of success
## 7e-01
```

Рис. 4. Использование функции binom.test

Как видно из представленного листинга, оба варианта функции ожидаемо дают одинаковые результаты, которые не позволяют отклонить нулевую гипотезу.

Для оценки того, насколько наблюдаемые данные соответствуют ожидаемым (goodness-of-fit) при анализе одномерных таблиц, используется тест χ^2 Пирсона.

Для выполнения теста используется функция R `chisq.test` в следующем формате: `chisq.test(x, correct = TRUE, p = rep(1/length(x), length(x)), rescale.p = FALSE, simulate.p.value = FALSE, B = 2000)`, где `x` – числовой вектор, `correct` – поправка Yates, `p` – вектор вероятностей (по умолчанию вероятности одинаковые), а `simulate.p.value` рекомендуется использовать при малых значениях данных. Функция возвращает значение статистики, количество степеней свободы, р-значение.

Далее приведем пример использования данной функции: допустим, при наблюдении было отмечено три вида птиц: 12 – первого вида, 13 – второго вида и 11 – третьего вида. Предполагается, что вероятность наблюдения каждого вида одинаковая. Нулевая гипотеза в данном случае – $H_0: p_0 = p_e$, где p_0 – наблюдаемые пропорции, p_e – ожидаемые пропорции. Альтернативная гипотеза – $H_0: p_0 \neq p_e$ – наблюдаемые пропорции не равны ожидаемым пропорциям (рис. 5 – листинг 5).

Листинг 5

```
# x как числовой вектор
chisq.test(c(12, 13, 11))
##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: c(12, 13, 11)
## X-squared = 0.16667, df = 2, p-value = 0.92
pander::pander(chisq.test(c(12, 13, 11)))
Chi-squared test for given probabilities:
c(12, 13, 11)
```

Test statistic	df	P value
0.1667	2	0.92

Рис. 5. Первый вариант использования функции chisq.test

Таким образом, по результатам расчетов нулевая гипотеза не может быть отклонена.

Рассмотрим иной вариант: при наблюдении было отмечено три вида птиц: 12 – первого вида, 23 – второго, 18 – третьего. Предполагается, что вероятность наблюдения каждого вида составляет 30, 40 и 30 % соответственно. Нулевая гипотеза $H_0: p_0 = p_e$, где p_0 – наблюдаемые пропорции, p_e – ожидаемые пропорции. Альтернативная гипотеза – $H_0: p_0 \neq p_e$ – наблюдаемые пропорции не равны ожидаемым пропорциям (рис. 6 – листинг 6).

Листинг 6

```
# x – числовой вектор, p – вектор вероятностей
pander::pander(chisq.test(c(12, 23, 18), p = c(.3, .4, .3)))
Chi-squared test for given probabilities:
c(12, 23, 18)
```

Test statistic	df	P value
1.387	2	0.4999

Рис. 6. Второй вариант использования функции chisq.test

В продолжение темы рассмотрим анализ дискретных переменных с ограниченным количеством значений. Обращаем внимание читателей на то, что дискретные переменные большинством авторов относятся к количественным переменным, но некоторые относят их к качественным, особенно при наличии малого количества значений. Если изучаемая переменная включает дискретные значения количества событий, произошедших за фиксированное время независимо друг от друга с некоторой фиксированной средней интенсивностью, то распределение этой переменной является распределением Пуассона [15]. В распределении Пуассона используется параметр λ , которому равно среднее и дисперсия распределения.

Например, в течение месяца в больницы города госпитализировалось ежедневно от 10 до 18 человек с патологией А. Результаты анализа данной ситуации представлены на рис. 7 (листинг 7).

Листинг 7

```
# создадим данные
dt <- data.frame(count_h = 10:18,
number_case = c(3, 5, 10, 7, 1, 1, 1, 1, 1))
# среднее значение – рассчитывается как взвешенное среднее
(lambda <- weighted.mean(dt$count_h, dt$number_case))
## [1] 12.53333
## размер выборки
(sample_n <- sum(dt$number_case * dt$count_h))
## [1] 376
# доверительные интервалы
(low_ci <- lambda - 1.96*sqrt(lambda/sample_n))
## [1] 12.17549
(upper_ci <- lambda + 1.96*sqrt(lambda/sample_n))
## [1] 12.89118

# goodness of fit
chisq.test(dt$number_case)
##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: dt$number_case
## X-squared = 26.4, df = 8, p-value = 8.969e-04
```

```
# вероятность поступления данного количества
# пациентов
(pihat<-dpois(10:18, lambda=lambda))
## [1] 9.500476e-02 1.082478e-01 1.130589e-
01 1.090003e-01 9.758126e-02
## [6] 8.153456e-02 6.386874e-02 4.708754e-
02 3.278688e-02

# добавим новые переменные: ожидаемая веро-
# ятность, ожидаемое количество случаев
dt$expected_probability <- round(pihat, 3)
dt$expected_count <- round(pihat
*sum(dt$number_case))
```

```
pander::pander(dt)
```

count_h	number_case	expected_ probability	expected_count
10	3	9.5e-02	3
11	5	0.108	3
12	10	0.113	3
13	7	0.109	3
14	1	9.8e-02	3
15	1	8.2e-02	2
16	1	6.4e-02	2
17	1	4.7e-02	1
18	1	3.3e-02	1

Рис. 7. Анализ дискретных данных с ограниченным количеством значений

В результате анализа выявлено, что среднее количество госпитализаций – 12,5, доверительный интервал – от 12,18 до 12,89. Количество поступлений распределено по дням непропорционально, χ^2 (df = 8, N = 376) = 26,4, p-value < 0,001.

Если рассматривать одномерные таблицы с номинальными переменными, то в данном случае после формирования таблицы анализ начинается с представления данных в виде диаграммы, затем определяется мода и доля вариации, как характеристики центральной тенденции и дисперсии данных, и выполняется тест χ^2 Пирсона для оценки того, насколько наблюдаемые данные соответствуют ожидаемым. Post-hoc анализ выполняется в виде попарного биномиального теста для выявления различий во всех возможных парах категорий с учетом множественных сравнений с применением метода Holm. Величина эффекта выборки оценивается с использованием Cramer’s V теста Интерпретация результатов теста выполняется согласно Rea (1992) [11, 12]:

- < 0,10 – незначительный эффект;
- 0,10 < 0,20 – слабый эффект;
- 0,20 < 0,40 – умеренный эффект;
- 0,40 < 0,60 – относительно сильный эффект;
- 0,60 < 0,80 – сильный эффект;
- 0,80 < 1,00 – очень сильный эффект.

Алгоритм проведения анализа и результаты представлены на рис. 8 (листинг 8).

Листинг 8

```
# Мода и доля вариации
Mode(df$Maternal_age_group)
## [1] "25-30"
# функция для определения доли вариации для
# одномодальной категориальной переменной
# доля вариации
variation_ratio(df$Maternal_age_group)
## [1] 0.664
# Тест на равенство категорий в переменной
# - goodness of fit test
chisq.test(table(df$Maternal_age_group))
##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: table(df$Maternal_age_group)
## X-squared = 500.98, df = 4, p-value <
2.2e-16
# Post-hoc попарный биномиальный тест
chisq_padjust(df$Maternal_age_group, 'holm')
## ID t1 t2 X1 X2 sig adjsig
## 1 1 <20 20-25 116 503 2.403035e-58 2.162731e-57
## 2 2 <20 25-30 116 672 5.857133e-96 5.857133e-95
## 3 3 <20 30-35 116 479 2.529638e-53 2.023710e-52
## 4 4 <20 >35 116 230 8.810549e-10 3.524219e-09
## 5 5 20-25 25-30 503 672 9.148358e-07 1.829672e-06
## 6 6 20-25 30-35 503 479 4.629910e-01 4.629910e-01
## 7 7 20-25 >35 503 230 2.789874e-24 1.673924e-23
## 8 8 25-30 30-35 672 479 1.410132e-08 4.230396e-08
## 9 9 25-30 >35 672 230 6.973452e-51 4.881416e-50
## 10 10 30-35 >35 479 230 4.862480e-21 2.431240e-20

# effect size
CramerV(table(df$Maternal_age_group), conf.
level = .95)
## Cramer V lwr.ci upr.ci
## 0.2502436 0.2275446 0.2714358
```

Рис. 8. Анализ одномерной таблицы с номинальными переменными

В результате анализа обнаружено, что среди возрастных групп матерей наибольшую по численности составляет группа 25–30 лет – 33,6 %, на все остальные группы приходится 66,4 %. Возрастные группы матерей распределены в популяции неравным образом χ^2 (df = 4, N = 2 000) = 500,98, p-value < 0,001, с умеренной (Cramer’s V = 0,25) величиной эффекта. Попарный биномиальный тест с коррекцией по Holm показал, что все группы значимо различаются между собой (p-value < 0,001), за исключением возрастных групп 20–25 и 30–35 лет, между которыми статистически значимых различий не выявлено.

Анализ двумерных таблиц с несвязанными переменными

Двумерные таблицы являются таблицами сопряженности, средством представления совместного распределения двух переменных и предназначены для исследования связи между ними. Одна из переменных рассматривается как независимая, и её категории формируют ряды таблицы. Вторая переменная рассматривается как зависимая, и её ряды формируют

столбцы таблицы. Двумерные таблицы могут создаваться для связанных (парных) и несвязанных (непарных) переменных, причем методы анализа для парных и непарных переменных будут различаться.

Рассмотрим подходы к анализу двумерных таблиц с несвязанными переменными. При анализе таких таблиц оценивается независимость категориальных данных и выясняется, имеется ли значимая ассоциация между категориями двух переменных.

В R для проверки независимости категориальных данных наиболее часто используются: тест χ^2 Пирсона – `chisq.test`, точный тест Фишера – `fisher.test`.

Гипотезы при проведении теста теста χ^2 Пирсона: нулевая гипотеза H_0 : переменные в рядах и столбцах таблицы сопряженности независимы; альтернативная гипотеза H_1 : переменные в рядах и столбцах таблицы сопряженности зависимы.

Статистика χ^2 рассчитывается по формуле $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$, где o – наблюдаемые значения (observed), e – ожидаемые значения (expected). Количество степеней свободы df определяется как $df = (r - 1)(c - 1)$, где r – количество рядов, c – количество столбцов в таблице сопряженности.

Формат функции в R следующий: `chisq.test(x, y = NULL, correct = TRUE, simulate.p.value = FALSE, B = 2 000)`, где x – матрица или таблица; `correct` – поправка Yates, рекомендуется к использованию в таблицах 2×2 при малых выборках; `simulate.p.value` (по умолчанию FALSE) TRUE рекомендуется использовать при малых значениях данных; B – число повторов, используемых в Monte Carlo test. Функция возвращает значение статистики, количество степеней свободы, значение достигнутого уровня значимости (p) и другие показатели. Примеры применения данной функции представлены на рис. 9 (листинг 9) и рис. 10 (листинг 10).

Листинг 9

```
# Анемия и рождение ребенка с низким весом
(менее 2 500 г)
(tab <- with(df, table(Anemia,
lowBirthWeight)))
## lowBirthWeight
## Anemia no yes
## 0 898 74
## 1 958 69
chisq.test(tab)
##
## Pearson's Chi-squared test with Yates'
continuity correction
##
## data: tab
## X-squared = 0.47453, df = 1, p-value =
0.4909
```

Рис. 9. Первый пример использования тест χ^2 Пирсона для анализа двумерной таблицы с несвязанными переменными

По результатам анализа первого примера нулевая гипотеза не может быть отклонена, может быть сделан

вывод об отсутствии влияния анемии (тех уровней, которые зарегистрированы в имеющейся базе данных) на массу тела новорожденного.

Листинг 10

```
# Курение во время беременности и рождение
ребёнка с низким весом (менее 2 500 г)
(tab <- with(df, table(Smoking_during_
pregnancy, lowBirthWeight)))
## lowBirthWeight
## Smoking_during_pregnancy no yes
## no 1440 94
## yes 267 34
chisq.test(tab)
##
## Pearson's Chi-squared test with Yates'
continuity correction
##
## data: tab
## X-squared = 9.5754, df = 1, p-value =
1.972e-03
```

Рис. 10. Второй пример использования критерия χ^2 Пирсона для анализа двумерной таблицы с несвязанными переменными

По результатам анализа второго примера нулевая гипотеза о независимости может быть отклонена. Может быть сделан вывод о наличии значимой связи между курением во время беременности и вероятностью рождения ребенка с низкой массой тела.

Помимо критерия χ^2 Пирсона в подобных случаях также применяется точный критерий Фишера, который обычно используется как критерий, применяемый для сравнения двух показателей, характеризующих частоту определенного признака, имеющего два значения. Исходные данные для расчета точного критерия Фишера представляют в виде четырехпольной таблицы. В R для анализа используется функция `fisher.test()`, данный тест проверяет нулевую гипотезу о независимости столбцов и строк в таблице сопряженности.

Функция может быть выполнена в формате `fisher.test(x)`, где x – двумерная таблица сопряженности в виде матрицы. Функция возвращает p -значение, доверительный интервал для отношения шансов и другие показатели.

Далее рассмотрим пример использования точного теста Фишера. Допустим, при выполнении теста А патология была выявлена у 7 из 11 больных, при выполнении теста В патология была выявлена у 4 из 12 (рис. 11 – листинг 11).

Листинг 11

```
m <- matrix(c(7, 4, 4, 8), nrow =2,
dimnames = list(Test =c('TestA', 'TestB'),
Result = c('yes', 'no')))
m
## Result
## Test yes no
## TestA 7 4
## TestB 4 8
fisher.test(m)
```

```
##
## Fisher's Exact Test for Count Data
##
## data: m
## p-value = 0.2203
## alternative hypothesis: true odds ratio
is not equal to 1
## 95 percent confidence interval:
## 4.793124e-01 2.728071e+01
## sample estimates:
## odds ratio
## 3.302147
```

Рис. 11. Первый пример использования точного теста Фишера

Точный тест Фишера может выполняться при любом числе наблюдений, но из ячеек менее пяти. Пример представлен на рис. 12 – листинг 12.

Листинг 12

```
(tab <- with(df, table(Smoking_during_pregnancy, lowBirthWeight)))
## lowBirthWeight
## Smoking_during_pregnancy no yes
## no 1440 94
## yes 267 34
fisher.test(tab)
##
## Fisher's Exact Test for Count Data
##
## data: tab
## p-value = 2.698e-03
## alternative hypothesis: true odds ratio
is not equal to 1
## 95 percent confidence interval:
## 1.249095 2.985735
## sample estimates:
## odds ratio
## 1.949963
```

Рис. 12. Второй пример использования точного критерия Фишера

Итак, критерий χ^2 Пирсона и точный критерий Фишера оценивают наличие достаточных оснований для отклонения нулевой гипотезы о независимости двух переменных. Но при отклонении нулевой гипотезы становится необходимым изучение показателей, позволяющих измерить силу обнаруженных связей.

Функция `assocstats()` из пакета `vcd` используется для вычисления коэффициента фи (`phi coefficient`), коэффициента сопряженности и *V*-коэффициента Крамера (`Cramer's V`) для двумерной таблицы. Показатели взаимосвязи оцениваются аналогично показателям корреляционного анализа. Формат функции: `assocstats(x)`, где `x` – таблица сопряженности (рис. 13 – листинг 13).

Листинг 13

```
(tab <- with(df, table(Smoking_during_pregnancy, lowBirthWeight)))
## lowBirthWeight
## Smoking_during_pregnancy no yes
## no 1440 94
## yes 267 34
```

```
vcd::assocstats(tab)
## X^2 df P(> X^2)
## Likelihood Ratio 9.1499 1 2.4874e-03
## Pearson 10.3565 1 1.2902e-03
##
## Phi-Coefficient : 7.5e-02
## Contingency Coeff.: 7.5e-02
## Cramer's V : 7.5e-02
```

Рис. 13. Использование функции `assocstats()` для анализа связи между переменными

Для изучения взаимосвязи также может быть использована функция `Cramer's V` пакета `DescTools` в формате: `CramerV(x, conf.level = .95)`, где `x` – таблица или матрица.

В отличие от номинальных переменных, оценка взаимосвязи порядковых переменных выполняется с использованием следующих тестов: `Goodman-Kruskal's gamma`, `Kendall's tau-a`, `Kendall's tau-b`, `Kendall's tau-c`, `Somer's d`. Статистики тестов являются мерой ассоциации для ординальных переменных в двумерных таблицах.

Значения критерия γ могут варьировать от -1 до 1 , причем 1 означает полную прямо пропорциональную взаимосвязь между переменными, -1 – полную обратную взаимосвязь между переменными, а 0 – полное отсутствие какой-либо связи между изучаемыми признаками. Чем ближе значение критерия к 1 или -1 , тем сильнее взаимосвязь. *Гамма* – симметричный критерий, и он не зависит от того, какая из переменных является зависимой.

`Kendall's tau` – непараметрическая мера связи между столбцами ранжированных данных. Критерий может принимать значения от -1 до 1 и показывает силу взаимосвязи между переменными [1]. Показатель `Somer's d` оценивается аналогично. Эти тесты могут быть выполнены с использованием функций пакета `DescTools` (табл. 2).

Таблица 2

Функции пакета DescTools для анализа связи между переменными

Тест	Функция пакета DescTools
Goodman-Kruskal's gamma	GoodmanKruskalGamma
Kendall's tau-a	KendallTauA
Kendall's tau-b	KendallTauB
Kendall's tau-c	StuartTauC
Somer's d	SomersDelta

Формат функций указанных тестов сходен: например, формат функции `Goodman-Kruskal's gamma` – `GoodmanKruskalGamma(x, y = NULL, conf.level = NA, ...)`, где `x` – числовой вектор или таблица сопряженности, также необходимо указать величину доверительного интервала. `Kendall's tau-b` может быть выполнен с использованием базовой функции `cor` – `cor(x, y, method = 'kendall')`. Больше информации о результатах `Goodman-Kruskal's gamma` может быть получено при использовании функции `gkgamma`

из пакета MESS. Формат функции в данном случае следующий: `gkgamma(x, conf.level = 0.95)`.

Далее рассмотрим алгоритм анализа двумерной таблицы с несвязанными номинальными переменными. В качестве примера изучим связи между двумя несвязанными переменными `Maternal_age_group` и `Smoking_before_pregnancy` (рис. 14 – листинг 14). После создания таблиц и графиков выполнен тест на независимость – χ^2 Пирсона. Post-hoc анализ в нашем примере включал в себя оценку стандартизованных остатков, применение коррекции Bonferroni и получение z-значения для сравнения. Интерпретация величины эффекта выполнена на основе значений, представленных в табл. 3 [7].

Таблица 3

Интерпретация величины эффекта по Cohen J. (1988)

df	Эффект			
	Незначительный	Малый	Средний	Большой
1	0 < 0,10	0,10 < 0,30	0,30 < 0,50	0,50+
2	0 < 0,07	0,07 < 0,21	0,21 < 0,35	0,35+
3	0 < 0,06	0,06 < 0,17	0,17 < 0,29	0,29+
4	0 < 0,05	0,05 < 0,15	0,15 < 0,25	0,25+
5	0 < 0,05	0,05 < 0,13	0,13 < 0,22	0,22+

Листинг 14

```
# Тест на независимость
(tab <- with(df, table(Maternal_age_group,
Smoking_before_pregnancy)))
## Smoking_before_pregnancy
## Maternal_age_group no yes
## <20 67 43
## 20-25 368 104
## 25-30 512 95
## 30-35 372 67
## >35 172 39
(chi <- chisq.test(tab, correct =FALSE))
##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: tab
## X-squared = 40.238, df = 4, p-value =
3.865e-08
# Post-hoc тесты
# Оценка стандартизованных остатков, при-
# менение коррекции Bonferroni и получение
# z-значения для сравнения

chi$stdres
## Smoking_before_pregnancy
## Maternal_age_group no yes
## <20 -5.5692512 5.5692512
## 20-25 -2.0011098 2.0011098
## 25-30 2.5149206 -2.5149206
## 30-35 2.2446875 -2.2446875
## >35 0.1733914 -0.1733914

sig <- .05
(sigadj <- sig/(nrow(tab) *ncol(tab))) #
```

```
Bonferroni correction
## [1] 5e-03
# critical z-value
qnorm(sigadj /2)
## [1] -2.807034
# effect size
CramerV(tab, conf.level = .95)
## Cramer V lwr.ci upr.ci
## 0.1479194 0.0953654 0.1887379
```

Рис. 14. Алгоритм анализа двумерной таблицы с несвязанными номинальными переменными

По результатам χ^2 теста $p\text{-value} < 0,001$ – соответственно можно отклонить нулевую гипотезу о независимости переменных. Сравнение величин стандартизованных остатков с z-значением позволяет выявить возрастную группу до 20 лет как группу со значимыми различиями между курившими и не курившими.

Таким образом, при анализе данных о распространении предшествовавшего беременности курения среди женщин разных возрастных групп отмечена большая доля курящих в группе до 20 лет. Предшествовавшее беременности курение и возраст имеют значительную, но слабую связь, χ^2 ($df = 4, N = 1491$) = 40,238, $p\text{-value} < 0,001$, Cramer's V = 0,148. Парный post-hoc z-тест с коррекцией Bonferroni выявил отличия возрастной группы до 20 лет.

Далее приведем алгоритм анализа двумерной таблицы с несвязанными номинальной и порядковой переменными. В качестве примера изучим связи между двумя несвязанными переменными `Apgar1` и `Delivery_type` (рис. 15 – листинг 15). В данном листинге первоначально создаются таблица и графики. Следует отметить, что порядковые переменные обладают некоторыми чертами интервальных данных, что учитывается при выполнении анализа. Выявление различий при анализе связи между несвязанными номинальной и порядковой переменными может использоваться тест Kruskal-Wallis в формате: `kruskal.test(ordinal_variable ~ nominal_variable, data)`. В качестве post-hoc теста подходящим является Dunn тест для множественных сравнений, может быть использована функция `DunnTest` из пакета DescTools в формате: `DunnTest(ordinal_variable ~ nominal_variable, data, method = c("holm", "hochberg", "hommel", "bonferroni", "BY", "fdr", "pope"))`, выбранный метод “решает” проблему множественных сравнений

Для оценки размера эффекта может быть использовано определение ϵ^2 пользовательской функцией. Интерпретация показателя ϵ^2 выполнена по следующим критериям Rea (1992) [11, 12].

- 0,00 < 0,01 – незначительный эффект;
- 0,01 < 0,04 – слабый эффект;
- 0,04 < 0,16 – умеренный эффект;
- 0,16 < 0,36 – относительно сильный эффект;
- 0,36 < 0,64 – сильный эффект;
- 0,64 < 1,00 – очень сильный эффект.

Листинг 15

```
# выявление различий
kruskal.test(Apgar1 ~ Delivery_type, data =
df)
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: Apgar1 by Delivery_type
## Kruskal-Wallis chi-squared = 56.679, df
= 2, p-value = 4.923e-13
# Post-hoc test (Dunn's test) DescTools
package
DunnTest(Apgar1 ~ Delivery_type, data = df,
method = 'bonferroni')
##
## Dunn's test of multiple comparisons
using rank sums : bonferroni
##
## mean.rank.diff pval
## Induced-Spontaneous -76.80899 1.2e-01
## Caesarean section-Spontaneous -212.70260
2e-13 ***
## Caesarean section-Induced -135.89361
4.3e-03 **
## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01
'*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
# effect size - epsilon square for K-W
epsilon_sq(df$Apgar1, df$Delivery_type)
## [1] 2.869839e-02
```

Рис. 15. Алгоритм анализа двумерной таблицы с несвязанными номинальной и порядковой переменными

Таким образом, Kruskal-Wallis тест показывает, что тип родоразрешения (Delivery_type) имеет значимый, но слабый эффект на Apgar1, χ^2 (df = 2, N = 1 976) = 56,68, p-value < 0,001, ϵ^2 = 0,03. Post-hoc тест в виде Dunn теста с коррекцией Bonferroni показал значимые различия между спонтанными родами и кесаревым сечением, индуцированными родами и кесаревым сечением, p-value < 0,01.

Далее рассмотрим алгоритм анализа двумерной таблицы с несвязанными порядковыми переменными.

Для анализа потенциальной связи между двумя порядковыми переменными необходимо выполнить следующие последовательные действия:

1. Создание частотных таблиц с указанием абсолютных и относительных значений.
2. Визуализация данных.
3. Оценка размера эффекта.

В качестве примера будут использованы переменные Apgar1 и Maternal_age_group (рис. 16 — листинг 16).

Для оценки размера эффекта в данном случае считается подходящим Goodman-Kruskal gamma γ тест. Результаты теста Goodman-Kruskal gamma (γ) оценены в соответствии с таблицей Rea (1992) [11, 12]:

- 0,00 < 0,10 — незначительный эффект;
- 0,10 < 0,20 — слабый эффект;
- 0,20 < 0,40 — умеренный эффект;
- 0,40 < 0,60 — относительно сильный эффект;

- 0,60 < 0,80 — сильный эффект;
- 0,80 < 1,00 — очень сильный эффект.

Листинг 16

```
tab <- with(df, table(Maternal_age_group,
Apgar1))
# addmargins(tab)
# round(prop.table(tab, 1), 2)

# Сравните результаты выполнения двух функций:
# GoodmanKruskalGamma из пакета DescTools
# и gkgamma из пакета MESS.
GoodmanKruskalGamma(tab, conf.level = .95)
## gamma lwr.ci upr.ci
## 3.616220e-02 -2.114152e-02 9.346592e-02
MESS::gkgamma(tab, conf.level = .95)
##
## Goodman-Kruskal's gamma for ordinal
categorical data
##
## data: tab
## Z = 1.2361, p-value = 0.2164
## 95 percent confidence interval:
## -2.114152e-02 9.346592e-02
## sample estimates:
## Goodman-Kruskal's gamma
## 3.61622e-02
```

Рис. 16. Алгоритм анализа двумерной таблицы с несвязанными порядковыми переменными

По результатам анализа тест Goodman-Kruskal gamma указывает на незначимую прямую связь между уровнем Apgar1 и возрастной группой матери γ 0,036, p-value 0,2164.

Анализ трехмерных таблиц с несвязанными переменными

Для анализа трехмерных таблиц с несвязанными категориальными переменными используется Cochran-Mantel-Haenszel тест для повторных измерений независимости. Функция mantelhaen.test() базового пакета R позволяет провести χ^2 тест Кохрана-Мантеля-Хензеля (Cochran-Mantel-Haenszel) в отношении нулевой гипотезы о том, что две номинальные переменные условно независимы при каждом значении третьей переменной [2].

Функция может быть выполнена в формате mantelhaen.test(x, conf.level = 0.95), где x — трехмерная таблица сопряженности в форме массива. Условием правильного применения теста является гомогенность данных, что подтверждается незначимым результатом Woolf test или Breslow-Day test. Отношение шансов для таблицы может быть получено при использовании функции oddsratio пакета vcd. Post-hoc анализ включает в себя выполнение тестов на выявления ассоциации (χ^2 , точного теста Фишера или G-теста) для каждой страты (рис. 17 — листинг 17).

Листинг 17

```
# двумерная таблица
(tab <- with(df, table(Maternal_age_group,
```

```

lowBirthWeight)))
## lowBirthWeight
## Maternal_age_group  no      yes
##      <20            100     16
##      20-25           479     24
##      25-30           630     42
##      30-35           441     37
##      >35             206     24

chisq.test(tab)
##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: tab
## X-squared = 16.799, df = 4, p-value =
2.115e-03
CramerV(tab, conf.level = .95)
## Cramer V  lwr.ci  upr.ci
## 9.167223e-02 3.487109e-02 1.285794e-01
# трехмерная таблица
(tab3 <- with(df, table(Maternal_age_group,
lowBirthWeight, Smoking_before_pregnancy)))
## , , Smoking_before_pregnancy = no
##
## lowBirthWeight
## Maternal_age_group  no      yes
##      <20            61      6
##      20-25           351     17
##      25-30           483     29
##      30-35           345     26
##      >35            158     14

##
## , , Smoking_before_pregnancy = yes
##
## lowBirthWeight
## Maternal_age_group  no      yes
##      <20            34      9
##      20-25           98      6
##      25-30           86      9
##      30-35           62      5
##      >35            32      7

# проверка гомогенности
vcd::woolf_test(tab3)
##
## Woolf-test on Homogeneity of Odds Ratios
(no 3-Way assoc.)
##
## data: tab3
## X-squared = 0.4639, df = 1, p-value =
0.4958

# месм
mantelhaen.test(tab3, conf.level =0.95)
##
## Cochran-Mantel-Haenszel test
##
## data: tab3
## Cochran-Mantel-Haenszel M^2 = 12.137, df
= 4, p-value = 1.636e-02
# post-hoc test

```

функция, выполняет fisher.test для каждой страты в трехмерной таблице

```

fisher_ph(tab3, 7)
## n_tab V2
## 1 no 0.3239116
## 2 yes 3.55295e-02

```

Рис. 17. Алгоритм анализа трехмерных таблиц с несвязанными переменными

Таким образом, между переменными Maternal_age_group и lowBirthWeight существует значимая χ^2 ($df = 4$, $N = 1\,999$) = 16,799, p -value = 0,002, но слабая связь (Cramer V = 0,09). Результаты Woolf Test (p -value = 0,4958) указывают на гомогенность отношений шансов для таблицы, включающей переменные Maternal_age_group, lowBirthWeight, Smoking_before_pregnancy. Результаты Cochran-Mantel-Haenszel теста (p -value = 0,016) позволяют сказать, что переменная Smoking_before_pregnancy не изменяет связи переменных Maternal_age_group и lowBirthWeight. Post-hoc анализ указывает на зависимость между возрастной группой матери и малым весом ребенка при рождении у куривших до беременности (p -value = 0,0355).

Анализ двумерных таблиц со связанными категориальными переменными

Связанными являются переменные, в которых приведены результаты повторных измерений и испытаний. Статистические тесты, изучающие взаимодействие связанных номинальных категориальных переменных, оценивают маргинальную гомогенность таблиц сопряженности или матриц.

В данной ситуации для анализа может быть применен критерий Мак-Нимара (McNemar test), но только в том случае, когда существуют два возможных варианта исходов. В реальной же практике исходы приходится классифицировать на большее количество категорий, и в таком случае рекомендуется использовать тест Stuart-Максвелл, считающийся генерализованной версией критерия Мак-Нимара [17].

Рассмотрим применение критерия Мак-Нимара для таблиц сопряженности 2×2 . Данный тест выполняется для двумерных таблиц зависимых категориальных переменных, когда имеются только две возможных категории выбора. Таблица сопряженности 2×2 может быть представлена определенным образом (табл. 4).

Таблица 4

Пример таблицы сопряженности 2×2

	test2	
test1	Pos (+)	Neg (-)
Pos (+)	a	b
Neg (-)	c	d

Критерий Мак-Нимара предназначен для проверки нулевой гипотезы о том, что маргинальные частоты строк и столбцов таблицы сопряженности не различаются:

$$P(a) + P(b) = P(a) + P(c);$$

$$P(c) + P(d) = P(b) + P(d)$$

Нулевая и альтернативная гипотезы могут быть представлены как

$$H_0: P(b) = P(c); H_A: P(b) \neq P(c)$$

χ^2 для теста может быть рассчитан по формуле:

$$\frac{(b-c-1)^2}{b+c}$$

$b+c$

Формат данной функции следующий: mcnemar.test(x, y = NULL, correct = TRUE), где x – двумерная таблица в форме матрицы, или факторный объект, y – факторный объект (не используется, если x – матрица), correct – логический параметр, по умолчанию используется поправка Эдвардса.

Рассмотрим пример, в котором создается таблица данных с двумя столбцами, содержащими результаты первого и второго опросов населения (рис. 18 – листинг 18).

Листинг 18

```
set.seed(123)
k = 200
d_mn <- data.frame(ID = 1:k,
  first_survey = sample(c('yes', 'no'), k,
    replace = TRUE, prob = c(.7, .3)),
  second_survey = sample(c('yes', 'no'), k,
    replace = TRUE, prob = c(.65, .35)))
with(d_mn, table(first_survey, second_survey))
## second_survey
## first_survey no yes
## no 12 43
## yes 56 89
mcnemar.test(with(d_mn, table(first_survey,
  second_survey)))
##
## McNemar's Chi-squared test with
  continuity correction
##
## data: with(d_mn, table(first_survey,
  second_survey))
## McNemar's chi-squared = 1.4545, df = 1,
  p-value = 0.2278
```

Рис. 18. Использование критерия Мак-Нимара

Значение p, полученное в результате расчета критерия Мак-Нимара, не позволяет отменить нулевую гипотезу, что дает возможность говорить об отсутствии изменений в результатах опросов.

Другой вариант анализа – Stuart-Maxwell тест – может быть выполнен с использованием функции StuartMaxwellTest пакета DescTools (рис. 19 – листинг 19) в формате StuartMaxwellTest(x), где x – двумерная таблица сопряженности в форме матрицы.

Листинг 19

```
# создание набора данных
set.seed(113)
k <- 100
dt <- data.frame(c1 = sample(LETTERS[1:4], k,
  replace = TRUE),
  c2 = sample(LETTERS[1:4], k, replace = TRUE))
```

```
# таблица
(tab <- with(dt, table(c1, c2)))
## c2
## c1 A B C D
## A 4 2 3 10
## B 8 7 9 6
## C 10 5 5 6
## D 4 8 5 8

StuartMaxwellTest(tab)
##
## Stuart-Maxwell test
##
## data: tab
## chi-squared = 3.2258, df = 3, p-value =
  0.3581
```

Рис. 19. Использование Stuart-Maxwell теста

Далее рассмотрим подходы к анализу двумерных таблиц со связанными порядковыми переменными.

Примером связанных порядковых переменных могут быть результаты повторного тестирования с использованием шкалы Ликерта (рис. 20 – листинг 20).

В качестве теста, выявляющего различия между связанными порядковыми переменными, может выступать Wilcoxon Signed-Rank Test, непараметрический статистический тест для сравнения средних двух парных выборок. Полученное z-значение будет использовано для расчёта величины эффекта по формуле $r = \frac{z\text{-value}}{\sqrt{\text{числопар}}}$.

Интерпретация величины эффекта проводится согласно Rea (1992) следующим образом [11, 12]:

0,00 < 0,10 – незначительная сила взаимосвязи;
 0,10 < 0,20 – слабая сила взаимосвязи;
 0,20 < 0,40 – умеренная сила взаимосвязи;
 0,40 < 0,60 – относительно сильная взаимосвязь;
 0,60 < 0,80 – сильная взаимосвязь;
 0,80 < 1,00 – очень сильная взаимосвязь.

Листинг 20

```
# создадим данные
set.seed(113)
k <- 20
likert_scale <- c('strongly disagree',
  'disagree', 'neutral', 'agree', 'strongly
  agree')

dt <- data.frame(id = 1:k,
  A1 = factor(sample(likert_scale, k, replace
    = TRUE,
    prob = c(.1, .2, .3, .25, .15))),
  levels = likert_scale),
  A2 = factor(sample(likert_scale, k, replace
    = TRUE,
    prob = c(.05, .15, .3, .25, .25))),
  levels = likert_scale))

# тест
(wt <- coin::wilcoxsign_test(as.
  numeric(dt$A2) ~ as.numeric(dt$A1), zero.
  method = 'Wilcoxon'))
```

```
##
## Asymptotic Wilcoxon Signed-Rank Test
##
## data: y by x (pos, neg)
## stratified by block
## Z = 0.69278, p-value = 0.4884
## alternative hypothesis: true mu is not
equal to 0
# effect size
coin::statistic(wt, type = 'test')/
sqrt(nrow(dt))
## pos
## 0.1549102
```

Рис. 20. Анализ двумерных таблиц со связанными порядковыми переменными

Для анализа трех связанных номинальных переменных используется Q-критерий Кохрена (Cochran Q test). Этот непараметрический критерий используется для проверки значимости различия двух и более воздействий на группы, при этом результат воздействия (отклик) является дихотомической переменной (т. е. принимает два значения — 0/1; да/нет). Гипотезы критерия: H_0 — нет различия в воздействии на группы, H_A — различие в воздействии на группы имеется.

Формат функции следующий: CochranQTest {DescTools} — CochranQTest(y, ...), в которой y — матрица b x k, b — число блокирующих факторов и k — число методов, матрица заполнена результатами воздействия.

Рассмотрим пример использования данного критерия: допустим, четыре метода (A, B, C, D) были использованы при оценке продукта шести производителей (рис. 21 — листинг 21). Оценка предполагала результаты — 0/1 (удовлетворяющий результат кодировался как «1») [5].

Post-hoc тест может быть выполнен с использованием DunnTest {DescTools}, при этом матрица должна быть предварительно преобразована в список (list).

Serlin R.C. et al. [14] предложили оценивать величину эффекта Cochran's Q теста показателем η^2_Q

по формуле: $\eta^2_Q = \frac{Q}{b(k-1)}$

Величина параметра η^2_Q меняется от 0 до 1.

Листинг 21

```
# создадим матрицу
m <- cbind(A =rep(1, 6),
B =c(1,1,0,1,1,1),
C =c(0,0,0,1,0,0),
D =c(0,1,0,0,1,1))
mdfr <- as.data.frame(m)
row.names(m) <- paste0('Corp',
as.character(1:6))
# полученная матрица
m
## A B C D
## Corp1 1 1 0 0
## Corp2 1 1 0 1
## Corp3 1 0 0 0
## Corp4 1 1 1 0
```

```
## Corp5 1 1 0 1
## Corp6 1 1 0 1
# выполним тест
CochranQTest(m)
##
## Cochran's Q test
##
## data: y
## Q = 9.3158, df = 3, p-value = 2.537e-
02
# Post-hoc test
# создание списка значений
mlist <- list(m[, 1], m[,2], m[,3], m[,
4])

DescTools::DunnTest(mlist, method =
'bonferroni')
##
## Dunn's test of multiple comparisons
using rank sums : bonferroni
##
## mean.rank.diff pval

## 2-1 -2 1.0e+00
## 3-1 -10 2.1e-02*
## 4-1 -6 4.8e-01
## 3-2 -8 1.2e-01
## 4-2 -4 1.0e+00
## 4-3 4 1.0e+00

## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01
'*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Q <- unname(DescTools::CochranQTest(m)$stati
stic)

# величина эффекта
(etaSq <- Q / (nrow(m) * (ncol(m) -1)))
## [1] 0.5175439
```

Рис. 21. Использование Cochran Q test

Полученное в результате анализа значение p позволяет отклонить нулевую гипотезу и сделать вывод о несовпадении методов оценки. Post-hoc тест показал, что значимые различия отмечены между 1 и 3 методами. Величина эффекта — средняя.

Далее рассмотрим анализ трех и более связанных порядковых переменных. Проведение анализа (рис. 22 — листинг 22) включает представление данных в виде таблиц. В качестве теста для изучения взаимосвязей используется Friedman Rank Sum Test — функция friedman.test {stats}. Post-hoc анализ проводится с применением Dunn's теста.

Для оценки величины эффекта определяется показатель согласия Kendall's W. Оценка показателя в интерпретации Cafiso S. et al. [6] проводится следующим образом:

0,00 ≤ W ≤ 0,30 — слабая связь;
0,30 < W ≤ 0,50 — умеренная связь;
0,50 < W ≤ 0,70 — сильная связь;
0,70 < W ≤ 1,00 — очень сильная связь.

В приведенном примере представлены три оценки с использованием шкалы Ликерта.

Листинг 22

```
# создание данных
set.seed(1234)
k <- 20
likert_scale <- c('strongly disagree',
                 'disagree', 'neutral', 'agree', 'strongly
agree')
dt <- data.frame(id =1: k,
A1 = factor(sample(likert_scale, k, replace
=TRUE,
prob = c(.1, .2, .3, .3, .1))),
levels = likert_scale),
A2 = factor(sample(likert_scale, k, replace
=TRUE,
prob =c(.2, .3, .1, .2, .2))),
levels = likert_scale),
A3 = factor(sample(likert_scale, k, replace
=TRUE,
prob =c(.1, .25, .2, .3, .15))),
levels = likert_scale))

head(dt)
## id A1 A2 A3
## 1 1 agree strongly disagree neutral
## 2 2 disagree strongly disagree neutral
## 3 3 disagree disagree disagree
## 4 4 disagree disagree neutral
## 5 5 strongly agree disagree disagree
## 6 6 disagree strongly agree disagree

# преобразование исходных данных
dtn <- gather(dt, key = "A", value =
'res', c('A1', 'A2', 'A3'), factor_key
=TRUE)

# Friedman Rank Sum Test
friedman.test(as.numeric(as.factor(res)) ~ A
| id, dtn)
##
## Friedman rank sum test
##
## data: as.numeric(as.factor(res)) and A
and id
## Friedman chi-squared = 4.7576, df = 2,
p-value = 9.266e-02
# Post-hoc анализ
DunnTest(as.numeric(as.factor(res)) ~ A,
dtn, method = 'bonferroni')
##
## Dunn's test of multiple comparisons
using rank sums : bonferroni
##
## mean.rank.diff pval
## A2-A1 13.65 3.1e-02 *
## A3-A1 6.60 6.4e-01
## A3-A2 -7.05 5.6e-01
## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01
*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
# Effect size
KendallW(dt[,2:4], test =TRUE)
##
```

```
## Kendall's coefficient of concordance W
##
## data: dt[, 2:4]
## Kendall chi-squared = 12.933, df = 19,
subjects = 20, raters = 3,
## p-value = 0.842
## alternative hypothesis: W is greater 0
## sample estimates:
## W
## 0.2269006
```

Рис. 22. Анализ трех и более связанных порядковых переменных

Дополнительная информация по проведению анализа категориальных данных может быть получена при изучении пособий, технической документации в ходе практического использования программной среды R.

Список литературы

1. Гржибовский А. М. Анализ порядковых данных // Экология человека. 2008. № 8. С. 56–62.
2. Кабаков П. И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R / пер. с англ. П. А. Волковой. М.: ДМК Пресс, 2014. 588 с.
3. Маслицкий С. Э., Шитиков В. К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М.: ДМК Пресс, 2015. 496 с.
4. Agresti Alan. Categorical Data Analysis. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2002.
5. Alstated. 2012. Cochran Q Test for K Related Samples in R. URL: <https://www.r-bloggers.com/cochran-q-test-for-k-related-samples-in-r/> (дата обращения 25.11.2018).
6. Cafiso S., DiGraziano A., Pappalardo G. Using the Delphi method to evaluate opinions of public transport managers on bus safety // Safety Science. 2013. Vol. 57 (8). P. 254–263.
7. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd ed. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
8. Denham, Bryan E. Categorical statistics for communication research. Wiley, 2017
9. Kateri M. Contingency Table Analysis. Springer, 2014.
10. Kloeke J., McKean J. W. Nonparametric Statistical Methods Using R. CRC Press, 2015.
11. Peter_Statistics. 2017. Crash Course. URL: <https://peterstatistics.com/CrashCourse/index.html> (дата обращения 25.11.2018).
12. Rea L. M., Parker M. A. Designing and conducting survey research: a comprehensive guide. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1992.
13. Rink H., Morey R. D., Rouder J. N. et al. Robust misinterpretation of confidence intervals // Psychon Bull Rev. 2014. N 5. P. 1157–1164.
14. Serlin R. C, Carr J., Marascuillo L. A. A measure of association for selected nonparametric procedures // Psychological Bulletin. 1982. N 92. P. 786–790.
15. STAT504, PennState. 2018. Analysis of Discrete Data. URL: <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat504/node/49/> (дата обращения 25.11.2018).
16. Tomczak M., Tomczak E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size // Trends in Sport Sciences. 2014. Vol. 1 (21). P. 19–25.
17. Xuezheng S., Yang Z. Generalized McNemar's Test

for Homogeneity of Marginal Distributions // SAS Global Forum 2008. Statistics and Data Analysis, 2008. P. 1–10.

References

1. Grjibovski A. M. Ordinal data analysis. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 8, pp. 56-62. [In Russian]
2. Kabacoff R. I. R v deystvii. *Analiz i vizualizaciya dannyh v programme R* [R in action: data analysis and visualization using R software]. Per. s angl. P. A. Volkova. Moscow, DMK Press, 2014, 588 p.
3. Mastickiy S. E. *Statisticheskii analiz i vizualizaciya dannyh s pomoshch'yu R* [Data statistical analysis using R]. Moscow, DMK Press, 2015. 496 p.
4. Agresti A. *Categorical Data Analysis*. Hoboken, New Jersey, Wiley, 2002.
5. Alstated. 2012. Cochran Q Test for K Related Samples in R. Available: <https://www.r-bloggers.com/cochran-q-test-for-k-related-samples-in-r/> (accessed: 25.11.2018).
6. Cafiso S., DiGraziano A., Pappalardo G. Using the Delphi method to evaluate opinions of public transport managers on bus safety. *Safety Science*. 2013, 57 (8), pp. 254-263.
7. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
8. Denham, Bryan E. *Categorical statistics for communication research*. Wiley, 2017
9. Kateri M. *Contingency Table Analysis*. Springer, 2014.
10. Kloeke J., McKean J. W. *Nonparametric Statistical Methods Using R*. CRC Press. 2015.
11. Peter_Statistics. 2017. Crash Course. Available: <https://peterstatistics.com/CrashCourse/index.html> (accessed: 25.11.2018).
12. Rea L. M., Parker M. A. *Designing and conducting survey research: a comprehensive guide*. San Francisco, Jossey-Bass Publishers, 1992.
13. Rink H., Morey R. D., Rouder J. N. et al. Robust misinterpretation of confidence intervals. *Psychon Bull Rev*. 2014, 5, pp. 1157-1164.
14. Serlin R. C., Carr J., Marascuillo L. A. A measure of association for selected nonparametric procedures. *Psychological Bulletin*. 1982, 92, pp. 786-790.
15. STAT504, PennState. 2018. Analysis of Discrete Data. Available: <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat504/node/49/> (accessed: 25.11.2018).
16. Tomczak M., Tomczak E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*. 2014, 1 (21), pp. 19-25.
17. Xuezheng S., Yang Z. Generalized McNemar's Test for Homogeneity of Marginal Distributions. SAS Global Forum 2008. *Statistics and Data Analysis*, 2008, pp. 1-10.

Контактная информация:

Гржибовский Андрей Мечиславович — доктор медицины, заведующий ЦНИЛ СГМУ, г. Архангельск; профессор Северо-Восточного федерального университета, г. Якутск; почетный профессор ГМУ г. Семей (Казахстан); почетный доктор МКТУ, г. Туркестан (Казахстан), визитинг-профессор Западно-Казахстанского медицинского университета им. Марата Оспанова и Казахского национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
 Адрес: 163000, г. Архангельск, Троицкий проспект, д. 51
 Тел. & WhatsApp: +79214717053
 E-mail: Andrej.Grijibovski@gmail.com, Skype: Andrej.Grijibovski