ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР МОРСКОЙ КОЛЛЕГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Научно-практический рецензируемый журнал

ISSN 2413-5747 (print)
ISSN 2587-7828 (online)

Морская Медицина

Marine Medicine

Том 12
2026
№ 2

ВЫБОР РЕДАКЦИИ

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА РАЗВИТИЕ ОПУХОЛЕАССОЦИИРОВАННЫХ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ
Москалев А. В., Апчел В. Я., Апчел А. В., Жарбуа Д. И.
стр. 7–24

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОГО СУДОРЕМОНТА: КОГОРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
Грабский Ю. В., Кожухова Н. А., Степанов В. В., Арефьева Д. В., Трофимчук С. Н., Поторочина А. Ю., Чуевский А. Ю.
стр. 38–48

Круглый стол «Актуальные вопросы судовой и водолазной медицины»
в рамках научно-деловой программы
Международного военно-морского салона «ФЛОТ – 2026»

(площадка конгрессно-выставочного центра на территории Музея военно-морской славы, г. Кронштадт; зал «Форт Император Александр I»)

11 июня 2026 года в рамках Международного военно-морского салона «ФЛОТ 2026» состоялся круглый стол «Актуальные вопросы судовой и водолазной медицины».

Организатором мероприятия выступил ФГБУН «НИИ промышленной и морской медицины» ФМБА России. Модераторами стали: начальник военно-медицинского управления Военно-Морского Флота доктор мед. наук профессор Игорь Геннадьевич Мосягин и канд. мед. наук врио директора ФГБУН «НИИ промышленной и морской медицины» ФМБА России Юрий Валентинович Грабский.

В заседании приняли участие более 70 специалистов, представляющих организации различных федеральных ведомств (ФМБА России, Минздрава России, Минобороны России, МЧС России, Минтранса России, Минобрнауки России, Роспотребнадзора), Российской академии наук, а также организации частного бизнеса и общественные организации.

В начале заседания были зачитаны приветствия участникам от ФМБА России, Минтранса России, ФГБУ «Морская спасательная служба» и ООО «Фертоинг».

Вниманию присутствующих были представлены доклады и сообщения, в которых затронуты следующие актуальные проблемы морской медицины:

- нормативно-правовое и научно-методическое обеспечение охраны здоровья работников водного транспорта, водолазов и кессонщиков;
- организация оказания первой и медицинской помощи на борту судна, при проведении водолазных и кессонных работ;
- профилактика и лечение заболеваний, обеспечение профессионального долголетия работников водного транспорта, водолазов и кессонщиков;
- взаимодействие и эвакуация, в том числе в Арктической зоне;
- развитие средств телемедицины и цифровизации;
- подготовка и повышение квалификации кадров в сфере судовой и водолазной медицины.

В ходе обсуждения докладов была подчеркнута важность дальнейшего развития теории и практики судовой и водолазной медицины в существующих социально-экономических и геополитических условиях, определены наиболее значимые направления взаимодействия, подготовлен проект итоговой резолюции круглого стола.

В целях развития межведомственного взаимодействия для решения рассмотренных проблем в ходе заседания круглого стола состоялось подписание соглашений:

– соглашения о сотрудничестве между ФГБУН «НИИ промышленной и морской медицины» ФМБА России и ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»;
– соглашения о стратегическом партнёрстве между ФГБУ «Морская спасательная служба» и структурой Министерства здравоохранения Российской Федерации.









ОФИЦИАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР МОРСКОЙ КОЛЛЕГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ISSN 2413-5747 (print)
ISSN 2587-7828 (online)

Научно-практический рецензируемый журнал

Морская медицина

Главный редактор:
Мосягин Игорь Геннадьевич
доктор медицинских наук, профессор, начальник военно-медицинского управления Военно-Морского Флота, Санкт-Петербург, Россия

Заместитель главного редактора:
Закревский Юрий Николаевич
доктор медицинских наук, действительный член РАЕН, Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия

Заместитель главного редактора по научной работе:
Грабский Юрий Валентинович
кандидат медицинских наук, НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия

Выпускающий редактор:
Симакина Ольга Евгеньевна
кандидат биологических наук, "Издательство "Наука", Москва, Россия

Ответственный секретарь:
Ятманов Алексей Николаевич
кандидат медицинских наук, 40 Государственный научно-исследовательский институт Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

Подписной индекс: «Книга-Сервис» (Пресса России) Е45066

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Номер свидетельства: ПИ № ФС 77-73710 от 05.10.2018 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций, единый государственный перечень научных изданий (ЕГПНИ), международную справочную систему по периодическим и продолжающимся изданиям Ulrich`s Periodical Directory, базы данных Global Health, CAB Abstracts, Google Scholar, EBSCO, Baidu (百度), реферативный журнал и базу данных ВИНИТИ, Российский индекс научного цитирования, КиберЛенинка, Dimensions, Соционет, Российская государственная библиотека

Key title: Morskaya medicina
Abbreviated key title: Morsk. med.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины федерального медико-биологического агентства»
Сайт: http://seamed.elpub.ru
e-mail: marinemedicine@yandex.ru

Том 12
2026 № 2

© ФГБУН НИИ ПММ ФМБА России, 2026 г.

Подписано в печать 24.06.2026 г. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 19. Тираж 1000 экз.
Свободная цена. Отпечатано в типографии: ИП Соколова Н.С., Санкт-Петербург, ул. Заставская, д. 15Е.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Баринов В.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Беляков Н.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Бессмельцев С.С. (Санкт-Петербург, Россия),
Бойко Э.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Бузинов Р.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Гребнев Г.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Грицаев С.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Гудков А.Б. (г. Архангельск, Россия),
Давид Лукас (г. Брест, Франция),
Дворянчиков В.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Димитър Ставрев (г. Варна, Болгария),
Дон Элисео Лусеро Присно III (г. Сучжоу, Китай),
Жданов К.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Иванова Н.В. (г. Симферополь, Россия),
Иванов А.О. (Санкт-Петербург, Россия),
Ивануса С.Я. (Санкт-Петербург),
Иорданишвили А.К. (Санкт-Петербург, Россия),
Ковлен Д.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Коган И.Ю. (Санкт-Петербург, Россия),
Котив Б.Н. (Санкт-Петербург, Россия),
Крутиков Е.С. (г. Симферополь, Россия),
Крюков Е.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Кузнецов А.Н. (г. Ханой, Вьетнам),
Куликов А.Н. (Санкт-Петербург, Россия),
Литвиненко И.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Лобзин Ю.В. (Санкт-Петербург),
Мануковский В.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Марченко А.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Мирошниченко Ю.В. (Санкт-Петербург, Россия),
М. Луиза Каналс Пол-Лина (г. Кадис, Испания),
Мясников А.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Нгуен Труонг Сонг (г. Хайфонг, Вьетнам),
Оковитый С.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Парцерняк С.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Педро Ногеролес Алонсо Де Ла Съерра (Испания),
Петреев И.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Пономаренко Г.Н. (Санкт-Петербург, Россия),
Попова О.Н. (г. Архангельск, Россия),
Протощак В.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Рассохин В.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Рейнюк В.Л. (Санкт-Петербург, Россия),
Рогожников В.А. (Москва, Россия),
Савелло А.В. (Санкт-Петербург, Россия),
да Сильва Мария Родригес (г. Варгас, Венесуэла),
Симбирцев А.С. (Санкт-Петербург, Россия),
Соловьев И.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Тарик Гальян (г. Танжер, Марокко),
Хоминец В.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Черкашин Д.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Шамрей В.К. (Санкт-Петербург, Россия),
Шпиленя Е.С. (Санкт-Петербург, Россия),
Щеголев А.В. (Санкт-Петербург, Россия),
Щербук А.Ю. (Санкт-Петербург, Россия),
Эргашев О.Н. (Санкт-Петербург, Россия)
Яковлева Т.В. (Москва, Россия).

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Азаров И.И. (Москва, Россия),
Абасова Г.Б. (г. Шымкент, Казахстан),
Алексанин С.С. (Санкт-Петербург, Россия),
Ахвердова О.А. (г. Пятигорск, Россия),
Багненко С.Ф. (Санкт-Петербург, Россия),
Базарный В.В. (г. Екатеринбург, Россия),
Баранов А.Н. (г. Архангельск, Россия),
Барачевский Ю.Е. (г. Архангельск, Россия),
Брижань Л.К. (Москва, Россия),
Боев И.В. (г. Ставрополь, Россия),
Бухтияров И.В. (Москва, Россия),
Вальков М.Ю. (г. Архангельск, Россия),
Давыдов Д.В. (Москва, Россия),
Денисенко И.В. (Москва, Россия),
Евстафьева Е.В. (г. Ялта, Россия),
Зайцев А.А. (Москва, Россия),
Иванов А.М. (Санкт-Петербург, Россия),
Ичитовкина Е.Г. (Москва, Россия),
Казакевич Е.В. (г. Архангельск, Россия),
Казаков С.П. (Москва, Россия),
Киров М.Ю. (г. Архангельск, Россия),
Куроедов А.В. (Москва, Россия),
Маркелов Ю.М. (г. Петрозаводск, Россия),
Марьяндышев А.О. (г. Архангельск, Россия),
Новикова И.А. (г. Архангельск, Россия),
Овчинников Ю.В. (Москва, Россия),
Оправин А.С. (г. Архангельск, Россия),
Петрухин В.А. (Москва, Россия),
Плутницкий А.Н. (Москва, Россия),
Пономарев В.В. (Минск, Беларусь),
Попова А.Ю. (Москва, Россия),
Попов В.В. (г. Архангельск, Россия),
Разумов А.Н. (Москва, Россия),
Ракишева А.С. (г. Алматы, Казахстан),
Рукавицын О.А. (Москва, Россия),
Севрюков Ф.А. (г. Нижний Новгород, Россия),
Симоненко В.Б. (Москва, Россия),
Соловьев А.Г. (г. Архангельск, Россия),
Софронов Г.А. (Санкт-Петербург, Россия),
Уйба В.В. (г. Сыктывкар, Россия),
Чечеткин А.В. (Санкт-Петербург, Россия)

THE OFFICIAL INFORMATION PARTNER OF THE MARINE COLLEGIUM OF THE RUSSIAN FEDERATION

ISSN 2413-5747 (print)
ISSN 2587-7828 (online)

Scientific peer-reviewed journal

Morskaya Meditsina
(Marine Medicine)

Editor-in-Chief:
Mosyagin, Igor Gennadiyevich
Dr. of Sci (Med.), Professor, military medical department of Navy of the Russian Federation (St. Petersburg, Russia)

Deputy Editor-in-Chief:
Zakrevskiy, Yuriy Nikolaevich
Dr. of Sci. (Med), full member of the Russin Academy of Natural Sciences, Murmansk Arctic University (Murmansk, Russia)

Deputy Editor-in-Chief for Scientific Work:
Grabskiy, Yuri Valentinovich
Cand. of Sci. (Med), Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, (St. Petersburg, Russia)

Commissioning Editor:
Simakina, Olga Evgenyevna
Cand. of. Sci. (Biol.); Nauka Publishing (Moscow, Russia)

Executive Secretary:
Yatmanov, Alexey Nikolaevich
Cand. of Sci. (Med), 40 State Research Institute of the Ministry of Defense of Russia (St. Petersburg, Russia)

Subscription index of the Agency «Book-Service» (Press of Russia) E45066

The journal Morskaya Meditsyna is registered by The Federal Agency for Surveillance in the Sphere of Communication, Informational Technologies, and Mass Media
Certicate PI № FS 77-73710 of 05.10.2018

The journal is included in the List of reviewed scientic journals of higher attestation Commission for publication of basic scientic results, the international reference system for periodicals and serials Ulrich's Periodical Directory, databases, Global Health, CAB Abstracts, Google Scholar, EBSCO, Baidu (百度) abstract journal and database VINITI, Russian Science Citation Index, Cyberleninka, Dimensions, Socionet, Russian State Library

Key title: Morskaya medicina
Abbreviated key title: Morsk. med.

Founded by: Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, St. Petersburg, Russia
URL: http://seamed.elpub.ru
e-mail: marinemedicine@yandex.ru

Vol. 12 2026 No 2

© Research Institute of PMM FMBA, 2026

EDITORIAL BOARD

Barinov V.A. (St. Petersburg, Russia),
Belyakov N.A. (St. Petersburg, Russia),
Bessmeltsev S.S. (St. Petersburg, Russia),
Boyko. E.V. (St. Petersburg, Russia),
Buzinov R.V. (St. Petersburg, Russia),
Grebnev G.A. (St. Petersburg, Russia),
Gritsaev S.V. (St. Petersburg, Russia),
Gudkov A.B. (Arkhangelsk, Russia),
David Lucas (Brest, France, Russia),
Dvoryanchikov V.V. (St. Petersburg, Russia),
Dimitar Stavrev (Varna, Bulgaria),
don Eliseo Lucero Prisno (Suzhou, China),
Zhdanov K.V. (St. Petersburg, Russia),
Ivanova N.V. (Simferopol, Russia),
Ivanov A.O. (St. Petersburg, Russia),
Ivanusa S.Ya. (St. Petersburg, Russia),
Iordanishvili A.K. (St. Petersburg, Russia),
Kovlen D.V. (St. Petersburg, Russia),
Kogan I.Yu. (St. Petersburg, Russia),
Kotiv B.N. (St. Petersburg, Russia),
Krutikov. E.S. (Simferopol, Russia),
Kryukov. E.V. (St. Petersburg, Russia),
Kuznetsov A.N. (Hanoi, Vietnam),
Kulikov A.N. (St. Petersburg, Russia),
Litvinenko I.V. (St. Petersburg, Russia),
Lobzin Yu.V. (St. Petersburg, Russia),
Manukovsky V.A. (St. Petersburg, Russia),
Marchenko A.A. (St. Petersburg, Russia),
Miroshnichenko Yu.V. (St. Petersburg, Russia),
M. Luisa Canals Paul-Lina (Cadiz, Spain),
Myasnikov A.A. (St. Petersburg, Russia),
Nguyen Truong Song (Haifong, Vietnam),
Okovity S.V. (St. Petersburg, Russia),
Partsernyak S.A. (St. Petersburg, Russia),
Pedro Nogeroles Alonso De La Serra (Spain),
Petreev I.V. (St. Petersburg, Russia),
Ponomarenko G.N. (St. Petersburg, Russia),
Popova O.N. (Arkhangelsk, Russia),
Protoschak V.V. (St. Petersburg, Russia),
Rassokhin V.V. (St. Petersburg, Russia),
Reinyuk V.L. (St. Petersburg, Russia),
Rogozhnikov V.A. (Moscow, Russia),
Savello A.V. (St. Petersburg, Russia),
Rodriguez Silva Maria (Vargas, Venezuela),
Simbirtsev A.S. (St. Petersburg, Russia),
Soloviev I.A. (St. Petersburg, Russia),
Tarik Galyan (Tangier, Morocco),
Khominets V.V. (St. Petersburg, Russia),
Cherkashin D.V. (St. Petersburg, Russia),
Shamrey V.K. (St. Petersburg, Russia),
Shpilenya E.S. (St. Petersburg, Russia),
Shchegolev A.V. (St. Petersburg, Russia),
Shcherbuk A.Yu. (St. Petersburg, Russia),
Ergashev O.N. (St. Petersburg, Russia),
Yakovleva T.V. (Moscow, Russia)

ADVISORY BOARD

Azarov I.I. (Moscow, Russia),
Abasova G.B. (Shymkent, Kazakhstan),
Aleksanin S.S. (St. Petersburg, Russia),
Akhverdova O.A. (Pyatigorsk, Russia),
Bagnenko S.F. (St. Petersburg, Russia),
Bazarnyi V.V. (Yekaterinburg, Russia),
Baranov A.N. (Arkhangelsk, Russia),
Barachevsky Yu.E. (Arkhangelsk, Russia),
Brizhan L.K. (Moscow, Russia),
Boev I.V. (Stavropol, Russia),
Bukhtiyarov I.V. (Moscow, Russia),
Valkov M.Yu. (Arkhangelsk, Russia),
Davydov D.V. (Moscow, Russia),
Denisenko I.V. (Moscow, Russia),
Evstafyeva E.V. (Yalta, Russia),
Zaitsev A.A. (Moscow, Russia),
Ivanov A.M. (St. Petersburg, Russia),
Ichitovkina E.G. (Moscow, Russia),
Kazakevich E.V. (Arkhangelsk, Russia),
Kazakov S.P. (Moscow, Russia),
Kirov M.Yu. (Arkhangelsk, Russia),
Kuroedov A.V. (Moscow, Russia),
Markelov Yu.M. (Petrozavodsk, Russia),
Maryandyshev A.O. (Arkhangelsk, Russia),
Novikova I.A. (Arkhangelsk, Russia),
Ovchinnikov Yu.V. (Moscow, Russia),
Opravin A.S. (Arkhangelsk, Russia),
Petrukhin V.A. (Moscow, Russia),
Plutnitsky A.N. (Moscow, Russia),
Ponomarev V.V. (Minsk, Belarus),
Popova A.Yu. (Moscow, Russia),
Popov V.V. (Arkhangelsk, Russia),
Razumov A.N. (Moscow, Russia),
Rakisheva A.S. (Almaty, Kazakhstan),
Rukavitsyn O.A. (Moscow, Russia),
Sevryukov F.A. (Nizhny Novgorod, Russia),
Simonenko V.B. (Moscow, Russia),
Soloviev A.G. (Moscow Arkhangelsk, Russia),
Sofronov G.A. (St. Petersburg, Russia),
Uyba V.V. (Syktyvkar, Russia),
Chechetkin A.V. (St. Petersburg, Russia)

Содержание

ОБЗОРЫ

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА РАЗВИТИЕ ОПУХОЛЕАССОЦИИРОВАННЫХ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ 7
Москалев А. В., Апчел В. Я., Апчел А. В., Жарбуа Д. И.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

ГИПОБАРИЧЕСКИЕ БАРОКАМЕРЫ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ 25
Мосягин И. Г, Пуляев М. Н., Ивашиненко Ф. М.

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОГО СУДОРЕМОНТА: КОГОРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 38
Грабский Ю. В., Кожухова Н. А., Степанов В. В., Арефьева Д. В., Трофимчук С. Н., Поторочина А. Ю., Чуевский А. Ю.

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ КАРТИНЫ БОЛЕЗНИ У ЛИЦ С НЕВРОТИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 49
Колчев А. И., Хафизова Э. Ф., Беззубенко К. А., Погуляй Ю. А. Мухина А. Д., Чернявский Е. В., Днов К. В., Черный В. С., Ханкевич Ю. Р.

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЕ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ТРЕНИРОВКИ НА ОСНОВЕ СИНХРОНИЗАЦИИ РИТМА ДЫХАНИЯ С СЕРДЕЧНЫМ РИТМОМ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ 58
Филимонова М. В., Котовская С. В., Газизова Н. В.

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА CDKN2A В ОЦЕНКЕ РИСКА ЗДОРОВЬЮ СТУДЕНТОВ ПРИ СОЧЕТАННОМ ВЛИЯНИИ ПСИХОСОЦИАЛЬНОГО СТРЕССА И КЛИМАТА ПРИБАЛТИКИ: ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 66
Рахманов Р. С., Тарасов А.В., Скоблина Н.А., Богомолова Е. С., Разгулин С. А.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЛАЗА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПОД ВОДОЙ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 75
Зайцева А. Ю., Мазинг М. С., Антифеев И. Е., Ятманов А. Н., Левченко З. А.

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ БИОЛОГО-СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 83
Гезей Н. Ф., Закревский Ю. Н., Де Сомендра Нат, Бойко И.М., Антоненкова Е.В.

МЕДИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМИКИ И СТРУКТУРЫ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМ У СОТРУДНИКОВ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 91
Лихолетов А. Г., Климзов А.Г., Ичитовкина Е. Г.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЙТРЕКИНГА КАК МЕТОДА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕТЧИКА НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 101
Благинин А. А., Овчинников Д. В., Жильцова И. И., Иваков Ю. М., Анненков О. А., Баковец Д. В., Синельников С. Н. Масляков В. В., Сидельников С. А., Павлова О. Н., Бурекешев А. Е., Страшко А. В., Карагайчева Ю. В.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ VR-ТРЕНАЖЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИЛАТЕРАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БОЕВОГО СТРЕССА У КОМБАТАНТОВ: ПИЛОТНОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 115
Юсупов В. В., Серко В. М., Бланкет Н. А., Старенченко Ю. Л., Капитонов И. Ю., Сиващенко П. П.

ДЕЙСТВИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ И ИХ КОМПОЗИЦИЙ НА АКТУАЛЬНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТ-АССОЦИИРОВАННЫХ ИНФЕКЦИЙ: ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 125
Владимирова Е. В., Сухарева М. С., Кренев И. А., Божкова С. А., Гордина Е. М., Комлев А. С., Егорова Е. В., Берлов М. Н., Попова Ю. О., Искровский С. В., Шамова О. В., Эргашев О. Н.

ОСОБЕННОСТИ ПРОТИВОВИРУСНОЙ ТЕРАПИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕПАТИТА С У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 135
Золотилова А. И., Щепина И. В.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций по специальностям:

3.1.6. Онкология, лучевая терапия (биологические науки)
3.1.18. Внутренние болезни (медицинские науки)
3.1.20. Кардиология (медицинские науки, биологические науки)
3.1.22. Инфекционные болезни (медицинские науки, биологические науки)
3.1.24. Неврология (медицинские науки)
3.1.27. Ревматология (медицинские науки)
3.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях (медицинские науки)
3.3.7. Авиационная, космическая и морская медицина (медицинские науки, биологические науки)

Contents

ОБЗОРЫ

MODERN VIEW ON DEVELOPMENT OF TUMOR-ASSOCIATED IMMUNE REACTIONS AND IMMUNOLOGICAL APPROACHES TO THEIR NEUTRALIZATION 7
Moskalyev A. V., Apchel V. Ya., Apchel A. V., Zharbua D. J.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

HYPOBARIC CHAMBER: PAST, PRESENT, PROSPECTS 25
Mosyagin I. G., Pulyaev M. N., Ivashinenko F. M.

PRIORI ESTIMATE OF OCCUPATIONAL HEALTH RISKS OF EMPLOYEES OF A NUCLEAR SHIP REPAIR ENTERPRISE: A COHORT STUDY 38
Grabskiy Yu. V., Kozhukhova N. A., Stepanov V. V., Arefieva D. V., Trofimchuk S. N., Potorochina A. Yu., Chuevsky A. Yu.

FEATURES OF DISEASE INTERNAL PICTURE IN PATIENTS WITH NEUROTIC DISORDERS: RETROSPECTIVE STUDY 49
Kolchev A. I., Khafizova E. F., Bezzubenko K. A., Pogulyai Yu. A., Mukhina A. D., Chernyavsky E. V., Dnov K. V., Cherniy V. S., Khankevich.Yu. R.

PERSONALIZED CONTROLLED TRAINING BASED ON BREATHING RHYTHM SYNCHRONIZATION WITH HEART RHYTHM AS WAY TO ENHANCE STRESS RESPONSE 58
Filimonova M. V., Kotovskaya S. V., Gazizova N. V.

CDKN2A GENE EXPRESSION IN HEALTH RISK ASSESSMENT IN STUDENTS EXPOSED TO COMBINED PSYCHOSOCIAL STRESS AND BALTIC CLIMATE: ORIGINAL STUDY 66
Rakhmanov R. S., Tarasov A. V., Scoblina N. A., Bogomolova E. S., Razgulin S. A.

POSSIBILITIES OF USING INDIVIDUAL SENSORS TO MONITOR FUNCTIONAL DIVERS' STATE WHEN PERFORMING UNDERWATER WORK: PILOT STUDY 75
Zaitseva A. Yu., Mazing M. S., Antifeev I. E., Yatmanov A. N., Levchenko Z. A.

PUBLIC PROTECTION FROM EMERGENCY SITUATIONS OF BIOLOGICAL AND SOCIAL NATURE IN ARCTIC ZONE OF RUSSIAN FEDERATION 83
Gezey N. F., Zakrevsky Yu. N., De Somendra Nat, Boyko I. M., Antonenkova E. V.

MEDICAL AND STATISTICAL CHARACTERISTICS OF DYNAMICS AND STRUCTURE OF CONSEQUENCES OF TRAUMATIC BRAIN INJURIES IN EMPLOYEES OF INTERNAL AFFAIRS BODIES OF RUSSIAN FEDERATION: RETROSPECTIVE ANALYTICAL STUDY 91
Likholetov A. G., Klimzov A. G., Ichitovkina E. G.

PSYCHOPHYSIOLOGICAL JUSTIFICATION FOR USE OF EYE TRACKING AS METHOD OF ASSESSING PILOT'S FUNCTIONAL STATE BASED ON CORRELATION ANALYSIS: RETROSPECTIVE STUDY 101
Blaginin A. A., Ovchinnikov D. V., Zhiltsova I. I., Ivakov Yu. M., Annenkov O. A., Bakovets D. V. Sinelnikov S. N.

EFFECTIVENESS OF A VR SIMULATOR WITH BILATERAL STIMULATION FOR SELF-PROCESSING OF COMBAT STRESS CONSEQUENCES IN COMBATANTS: PILOT CONTROLLED STUDY 115
Yusupov V. V., Serko V. M., Blanket N. A., Starenchenko Yu. L., Kapitonov I. Yu., Sivaschenko P. P.

EFFECT OF SYNTHETIC ANTIMICROBIAL PEPTIDES AND THEIR COMPOSITIONS ON CURRENT PATHOGENS OF ORTHOPEDIC IMPLANT-ASSOCIATED INFECTIONS: ORIGINAL ARTICLE 125
Vladimirova E. V., Sukhareva M. S., Krenev I. A., Bozhkova S. A., Gordina E. M., Komlev A. S., Egorova E. V., Berlov M. N., Popova Y. O., Iskrovskiy S. V., Shamova O. V., Ergashev O. N.

FEATURES OF ANTIVIRAL THERAPY FOR CHRONIC HEPATITIS C IN PATIENTS WITH CHRONIC KIDNEY DISEASE: RETROSPECTIVE STUDY 135
Zolotilova A. I., Schepina I. V.

ОБЗОРЫ/REVIEWS

УДК: 616–022.1:612.017

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА РАЗВИТИЕ ОПУХОЛЕАССОЦИИРОВАННЫХ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

[1]А. В. Москалев, [1,2]В. Я. Апчел, [3]А. В. Апчел, [4]Д. И. Жарбуа*

[1]Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

[2]Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

[3]Общество с ограниченной ответственностью «Эстеприма», Санкт-Петербург, Россия

[4]Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Опухолеассоциированные реакции, несмотря на значительные достижения, по-прежнему, остаются недостаточно изученными, что ограничивает применение иммунотерапии.

ЦЕЛЬ. Проанализировать иммунопатогенез опухолеассоциированных реакций и перспективы иммунотерапии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Изучена научная медицинская литература, отражающая иммунный гомеостаз при развитии опухолеасоциированных иммунных реакций и методик иммунотерапии пациентов, страдающих опухолями. Исследование основано на анализе 78 научных публикаций за 1996–2025 гг. в международных и отечественных базах научной литературы Google Scholar, PubMed, eLIBRARY, Scopus. Поиск литературных источников осуществляли по ключевым словам и различным последовательностям их сочетаний на русском и английском языках: антитела / antibodies; антигены опухолей / tumor antigens; иммунотерапия / immunotherapy; опухолеассоциированные состояния / tumor-associated conditions; солидные опухоли / solid tumors; иммунопатогенез опухолей / immunopathogenesis of tumors.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что уходу от иммунологического надзора способствуют неоантигены, а наиболее важными факторами иммунной защиты являются цитотоксические Т-лимфоциты, натуральные киллеры, интерферон-γ. Количество $CD45RO^+$ Т-клеток памяти и цитотоксических Т-лимфоцитов в опухолях коррелирует с вероятностью метастазирования. Тучные клетки, нейтрофилы и макрофаги секретируют факторы, способствующие прогрессированию клеточного цикла и выживанию опухолевых клеток. Th2-клетки, регуляторные Т-клетки, макрофаги М2 способствует росту опухоли. Блокада антителами цитотоксического белка 4, ассоциированного с Т-лимфоцитами и белка программируемой клеточной гибели-1 повышает противоопухолевый иммунитет. Адаптивная терапия с использованием Т-клеток, экспрессирующих химерные антигенные рецепторы, оказалась успешной при гематологических злокачественных новообразованиях.

ОБСУЖДЕНИЕ. Большинство антигенов опухолей обладают слабой иммуногенностью, но могут распознаваться цитотоксическими Т-лимфоцитами, натуральными киллерами, макрофагами. Опухолевые антигены супрессируют экспрессию молекул главного комплекса гистосовместимости, секретируют иммуносупрессивные факторы, активируют регуляторные Т-лимфоциты. Антитела, специфичные к антигенам опухолевых клеток, используют как для диагностики, так и для терапии. Иммунотерапия опухолей включает вакцинацию опухолевыми антигенами, введение цитокинов, блокировку передачи сигналов, необходимых для поддержания роста опухолевых клеток. Перспективными направлениями в иммунотерапии опухолей являются CAR-Т-клеточная терапия, повышение активности Т-лимфоцитов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Развитие опухолеспецифичных реакций преимущественно индуцируют неоантигены, супрессирующие активность эффекторных клеток. Повышения активности лимфоцитов повышает противоопухолевой иммунитет. Успех блокады контрольных точек при многих солидных опухолях и инфузии CAR-Т-клеток при гематологических злокачественных новообразованиях позволяет в будущем разработать более эффективную их иммунотерапию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, антитела, гены, иммунная система, иммунотерапия, лимфоциты, неоантигены, опухолеассоциированные состояния, опухолевые антигены, химерные антигенные рецепторы

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

***Для корреспонденции:** *Москалев Александр Витальевич*, e-mail: alexmav195223@yandex.ru
***For correspondence:** *Alexander V. Moskalev*, e-mail: alexmav195223@yandex.ru

Для цитирования: Москалев А. В., Апчел В. Я., Апчел А. В., Жарбуа Д. И. Современный взгляд на развитие опухоле-ассоциированных иммунных реакций и иммунологические подходы к их нейтрализации // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 7–24, EDN: https://elibrary.ru/LQGDIK
For citation: Moskalyev A. V., Apchel V. Ya., Apchel A. V., Zharbua D. J. Modern view on development of tumor-associated immune reactions and immunological approaches to their neutralization // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 7–24, EDN: https://elibrary.ru/LQGDIK

MODERN VIEW ON DEVELOPMENT OF TUMOR-ASSOCIATED IMMUNE REACTIONS AND IMMUNOLOGICAL APPROACHES TO THEIR NEUTRALIZATION

[1]*Alexander V. Moskalev,* [1, 2]*Vasily Ya. Apchel,* [3]*Andrey V. Apchel,* [4]*Diana J. Zharbua*
[1]Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia
[2]Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia
[3]Esteprima Limited Liability Company, Saint Petersburg, Russia
[4]First Saint Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. Tumor-associated reactions, despite significant advances, remain understudied, which limits the use of immunotherapy.
OBJECTIVE. To analyze the immunopathogenesis of tumor-associated reactions and the prospects for immunotherapy.
MATERIALS AND METHODS. There was a review of scientific medical literature documenting immune homeostasis during the development of tumor-associated immune responses and immunotherapy methods for patients with tumors. The study is based on an analysis of 78 scientific publications from 1996 to 2025 in international and domestic scientific literature databases such as Google Scholar, PubMed, eLIBRARY, and Scopus. The literature search was conducted using keywords and various sequences of their combinations in Russian and English: antibodies; tumor antigens; immunotherapy; tumor-associated conditions; solid tumors; immunopathogenesis of tumors.
RESULTS. Neoantigens have been shown to facilitate evasion of immunological surveillance, with cytotoxic T lymphocytes, natural killer cells, and interferon-γ being the most important immune defense factors. The number of CD45RO+ memory T cells and cytotoxic T lymphocytes in tumors correlates with the likelihood of metastasis. Mast cells, neutrophils, and macrophages secrete factors that promote cell cycle progression and tumor cell survival. Th2 cells, regulatory T cells, and M2 macrophages promote tumor growth. Antibody blockade of cytotoxic T-lymphocyte-associated protein 4 and programmed cell death protein-1 enhances antitumor immunity. Adoptive therapy using T cells expressing chimeric antigen receptors has proven successful in hematological malignancies.
DISCUSSION. Most tumor antigens have weak immunogenicity but can be recognized by cytotoxic T cells, natural killer cells, and macrophages. Tumor antigens suppress the expression of major histocompatibility complex molecules, secrete immunosuppressive factors, and activate regulatory T cells. Antibodies specific to tumor cell antigens are used for both diagnostics and therapy. Tumor immunotherapy includes vaccination with tumor antigens, administration of cytokines, and blocking the signaling necessary to support tumor cell growth. Promising approaches to tumor immunotherapy include CAR T-cell therapy and enhancing T-cell activity.
CONCLUSION. The development of tumor-specific responses is primarily induced by neoantigens that suppress the activity of effector cells. Increased lymphocyte activity enhances antitumor immunity. The success of checkpoint blockade in many solid tumors and CAR-T cell infusion in hematological malignancies allows to develop more effective immunotherapies in the future.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, antibodies, genes, immune system, immunotherapy, lymphocytes, neoantigens, tumor-associated conditions, tumor antigens, chimeric antigen receptors

Введение. Рак является серьезной проблемой здравоохранения во всем мире и одной из важнейших причин заболеваемости и смертности. Для злокачественных опухолей характерен неконтролируемый рост, распространение в нормальных тканях, сопровождающееся повреждением и функциональными нарушениями. Злокачественный фенотип раковых клеток является результатом нарушения регуляции клеточной пролиферации, устойчивости опухолевых клеток к апоптотической гибели и их способности проникать в ткани хозяина и давать метастазы. Это обусловлено тем, что опухолевые клетки способны обходить механизмы

иммунной защиты хозяина, что является одним из важнейших отличительных признаков рака. D. Ribatti [1] указывает, что Макфарлейн Бернет и Льюис Томас в 1950-х годах предложили концепцию иммунного надзора за раком, в которой отражено, что физиологические функции иммунной системы (ИС) заключаются в распознавании и уничтожении клонов трансформированных клеток до формирования опухоли и ее лизировании после образования. О важнейшей роли ИС свидетельствует увеличение частоты возникновения опухолей у экспериментальных животных и людей с ослабленным иммунитетом. Поэтому изучение таких факторов иммунопатогенеза опухолей как типы антигенов, экспрессируемых злокачественными опухолями, распознавание ИС этих антигенов, особенности реагирования на них позволит выявить основные механизмы ухода опухолей от ИС хозяина, а также использование этих механизмов в терапии рака.

Цель. Проанализировать иммунопатогенез опухолеассоциированных реакций и перспективы иммунотерапии.

Материалы и методы. Методом компаративного анализа выполнен обзор статей в базах научной литературы Google Scholar, PubMed, eLIBRARY, Scopus. Для анализа были использованы полнотекстовые публикации, обзоры литературы, оригинальные исследования по данной теме. Отобраны 78 статей, содержащих высокоинформативные, статистически достоверные данные, подходящие под критерии поиска рукописей. Приоритет отдавали современным публикациям. Поиск литературных источников осуществляли по ключевым словам и различным последовательностям их сочетаний на русском и английском языках: антитела / antibodies; антигены опухолей / tumor antigens; иммунотерапия / immunotherapy; опухолеассоциированные состояния / tumor-associated conditions; солидные опухоли / solid tumors; иммунопатогенез опухолей / immunopathogenesis of tumors.

Результаты. *Противоопухолевый иммунитет.* Иммунные реакции на опухолевые антигены являются основополагающими для понимания противоопухолевого иммунитета и подходам к разработке стратегий иммунотерапии рака. В клинически значимых иммунных реакциях участвуют преимущественно $CD8^+$ цитотоксические Т-лимфоциты (cytotoxic T-lymphocytes — CTL). Многие опухоли окружены мононуклеарными клеточными инфильтратами, состоящими из Т-лимфоцитов и макрофагов, которые также присутствуют в лимфатических узлах, дренирующих очаги опухолевого роста. Количественный клеточный анализ этих инфильтратов при различных типах опухолей показал, что преобладание в них CTL, клеток памяти и $CD4^+$ Thl-клеток, связано с более верным прогнозом, чем при опухолях с меньшим количеством этих клеток [2].

Эксперименты по изучению противоопухолевого иммунитета показали, что саркому можно вызвать у инбредной мыши, если нанести на ее кожу химический канцероген метилхолантрен (methylcholanthrene — MCA). Если эту опухоль удалить и пересадить другим сингенным мышам, то опухоль прогрессирует. Напротив, если клетки исходной опухоли пересадить обратно хозяину, то мышь отторгнет этот трансплантат. Также перенос Т-клеток от животного с опухолью к животному без опухоли обеспечивает защитный иммунитет против этой опухоли. Частота спонтанных или MCA-индуцированных опухолей у мышей с генетическим иммунодефицитом повышена по сравнению с иммунологически нормальными мышами. Люди, страдающие синдромом приобретенного иммунодефицита (СПИД), или реципиенты трансплантатов, получающие иммуносупрессивные препараты, подвергаются повышенному риску развития опухолей. Однако иммунные реакции часто не в состоянии предотвратить рост опухолей, так как опухолевые клетки не экспрессируют антигены, распознающиеся ИС хозяина, что способствует их быстрому росту и распространению [3, 4].

Опухолевые антигены. Выделяют несколько групп опухолевых антигенов, вызывающих Т-клеточный ИО. Это белки, кодируемые мутировавшими генами и не экспрессируемые нормальными клетками. Такие неоантигены кодируются генами, имеющими точечные мутации или делеции, и не связаны с формированием злокачественного фенотипа опухолей, что отражает нестабильность генома раковых клеток и способствует развитию опухоли. Так же как и при нормальном ИО неоантигены распознаются только в том случае, если пептиды, несущие мутировавшие аминокислотные последовательности, связываются с аллелями главного комплекса гистосовместимости (Major

histocompatibility complex — MHC) пациента. Неоантигены, представляемые молекулами MHC, активируют Т-клетки, а их число коррелирует с количеством мутаций в опухоли. У таких больных, как правило, развиваются мощные Т-клеточные реакции на опухолевые антигены и они, скорее всего, являются более перспективными для терапии, направленной на активацию Т-клеток [5–7].

Продукты жизнедеятельности онкогенных вирусов функционируют как опухолевые антигены и вызывают специфический Т-клеточный ИО, способствующий элиминации опухолевых клеток. К таким вирусам относятся вирус Эпштейна–Барр, ассоциированный с В-клеточными лимфомами и карциномой носоглотки и вирус папилломы человека, ассоциированный с карциномами шейки матки, ротоглотки и других локализаций. В большинстве опухолей, индуцированных вирусами, содержащими дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК), вирусная ДНК интегрируется в ДНК хозяина, а кодируемые вирусом белковые антигены обнаруживаются в ядре, цитоплазме или плазматической мембране опухолевых клеток, но их количество сильно варьирует. Эти эндогенно синтезированные вирусные белки связываются с молекулами MHC и экспрессируются на поверхности опухолевых клеток. Считается, что вирусы гепатитов В и С способствуют развитию опухолей, вызывая хронические воспалительные реакции, при которых секретируются стимулирующие опухоль факторы роста и другие молекулы [8]. Некоторые опухолевые антигены являются продуктами работы генов, которые в нормальных клетках отключены, а в опухолевых — дерепрессированы или представляют собой белки, секретируемые нормальными клетками, но в избыточных количествах, что достаточно, чтобы вызвать ИО [4].

Основные категории немутантных опухолевых антигенов включают антигены рака яичек, белки, кодируемые амплифицированными генами и антигены дифференцировки тканей. Экспрессия только некоторых из этих структурно неизмененных опухолевых антигенов в достаточной степени отличается от их экспрессии нормальными клетками, чтобы стимулировать ИО. Многие из этих опухолевых антигенов являются мишенями для терапии антителами и использования для создания противоопухолевых вакцин. Первыми выявленными антигенами рака яичка были антигены, ассоциированные с меланомой (melanoma-associated antigens — MAGEs). Впоследствии идентифицированы и другие неродственные семейства генов, кодирующих антигены, экспрессируемые клетками меланомы, которые распознаются CTL. Белки MAGE и другие антигены меланомы не обнаруживаются в большинстве нормальных тканей, за исключением яичек и трофобласта, но они экспрессируются различными злокачественными опухолями. Было идентифицировано более 200 генов, связанных с раком яичек из более чем 40 различных семейств генов [9, 10,]

Некоторые белки экспрессируются опухолевыми клетками на аномально высоком уровне. Таким антигеном является вариант онкогенного эпидермального фактора роста, который чрезмерно экспрессируется при некоторых видах рака молочной железы. Однако нет доказательств того, что этот белок вызывает противоопухолевый ИО, предположительно потому, что он присутствует в нормальных клетках и индуцирует толерантность [11].

Выделяют также дифференцировочные антигены опухолевых клеток. К ним относятся фермент тирозиназа, участвующий в биосинтезе меланина и MART-1 (Мелан А) – белка, необходимого для функционирования меланосомы. Выявляемые CTL- и $CD4^+$ хелперные Т-клеточные реакции, специфичные для тирозиназы и пептидов MART-1 у пациентов, страдающих меланомой, возможно, являются следствием экспрессии этих антигенов на высоком уровне и большого количества опухолевых клеток. Однако во многих случаях дифференцировочные антигены не вызывают ИО, поскольку являются аутоантигенами. Но даже в этих ситуациях дифференцировочные антигены помогают в диагностике типов опухолей и служат мишенями для пассивной иммунотерапии [12, 13].

Как видим, перечисленные группы антигенов не являются абсолютными маркерами опухолей. Поэтому было предпринято много попыток обнаружить другие антигены опухолевых клеток и антител в сыворотке крови больных раком с целью их использования для скрининга. С помощью этого подхода идентифицировано несколько классов опухолевых антигенов. Однако теперь также понятно, что большинство этих антигенов вырабатываются и неизмененными

клетками, особенно в условиях повреждения тканей и воспаления. Таким образом, роль этих антигенов в противоопухолевом иммунитете остается неопределенной [14]. Выделяют онкофетальные антигены, экспрессируемые на высоком уровне раковыми клетками детского организма и тканями плода. Кроме того, экспрессия этих антигенов и повышение их концентрации в периферической крови регистрируется при различных воспалительных процессах. К сожалению, нет доказательств того, что онкогенные антигены являются индукторами противоопухолевого иммунитета, поэтому их полезность в качестве онкомаркеров носит ограниченный характер. Основными онкофетальными антигенами являются карциноэмбриональный антиген (carcinoembryonic antigen — CEA) и α-фетопротеин (α-fetoprotein — AFP). Высокая экспрессия CEA установлена только в клетках кишечника, поджелудочной железы и печени в течение первых двух триместров беременности, при многих карциномах толстой кишки, поджелудочной железы, желудка и молочной железы. Однако уровень CEA в сыворотке крови может быть повышен и при хронических воспалительных заболеваниях кишечника или печени. Поэтому его применение в клинической практике ограничено. В норме AFP синтезируется и секретируется желточным мешком и печенью во время внутриутробного развития плода. Уровень AFP в сыворотке крови повышен у пациентов, страдающих гепатоцеллюлярной карциномой, опухолями половых органов, а иногда раком желудка и поджелудочной железы. Повышенный уровень AFP в сыворотке крови может свидетельствовать о прогрессировании опухолей печени, половых органов или их рецидива после лечения [15, 16].

Многие опухолевые клетки экспрессируют высокие уровни измененных гликолипидных и гликопротеиновых антигенов, включая ганглиозиды и муцины. Один из важнейших муцинов — MUC1 – интегральный мембранный белок, который в норме экспрессируется только на апикальной поверхности эпителия протоков молочной железы. В некоторых карциномах MUCI содержит специфичные для опухоли углеводные и пептидные эпитопы, обнаруживаемые моноклональными антителами. Вопрос о том, можно ли разработать эффективные вакцины с использованием этих эпитопов, остается открытым [17].

Иммунные реакции на опухолевые антигены. На опухолевые антигены развиваются как врожденные, так и адаптивные иммунные реакции. CTL обеспечивают эффективный противоопухолевый иммунитет, индуцированный канцерогенами и ДНК-вирусами. Большое количество опухолеспецифичных CTL, входящих в состав лимфоцитов, инфильтрирующих опухоль у больных, страдающих карциномой толстой кишки, свидетельствует о более благоприятном прогнозе [18].

Для эффективного ответа CTL, специфичных для опухолевых антигенов, необходима перекрестная презентация дендритными клетками (ДК). Большинство опухолевых клеток не является антигенпрезентирующими (APC), не присутствуют во вторичных лимфоидных органах, не экспрессируют костимулирующие молекулы, не представляют антигены «наивным» Т-клеткам и, следовательно, не активируют «наивные» Т-клетки. В месте расположения опухоли ДК могут поглощать опухолевые клетки или их белковые антигены, транспортировать в периферические лимфатические узлы и контактировать с «наивными» CTL. Они транспортируют поглощенные антигены из фагосом в цитозоль, где перерабатываются протеасомами в пептиды, а затем экспрессируются молекулами MHC I класса для распознавания CTL. Этот процесс перекрестной презентации, или перекрестного прайминга, осуществляется преимущественно субпопуляцией классических ДК. ДК также экспрессируют костимуляторные молекулы и подают сигналы, необходимые для дифференцировки «наивных» CTL в опухолеспецифичные, распознающие и лизирующие опухолевые клетки без необходимости в костимуляции [19, 20].

$CD4^+$ Т-лимфоциты в противоопухолевых иммунных реакциях используют несколько механизмов. Наличие Thl-клеток, как и CTL, в опухолях коррелирует с хорошим прогнозом. Противоопухолевые эффекты Thl-клеток могут усиливать реакции CTL и активацию макрофагов посредством секреции интерферона-γ (IFN-γ). IFN-γ усиливает экспрессию MHC I класса опухолевыми клетками и повышает их чувствительность к лизису CTL. Важность IFN-γ в противоопухолевом иммунитете подтверждается повышенной частотой возникновения опухолей у мышей, у которых отсутствует

этот цитокин, его рецептор или сигнальные молекулы, индуцируемые IFN-γ [21, 22].

Так как количество субпопуляций Т-лимфоцитов в опухолях коррелирует с вероятностью метастазирования, была предложена идея введения иммунологического показателя при раке для прогноза течения заболевания и выбора вариантов лечения. Опухолям в этих случаях присваивали оценку на основе количества $CD45RO^+$ Т-клеток памяти и CTL по краям удаленных опухолей. Низкий балл и без признаков метастазирования в лимфатические узлы предсказывает более высокую вероятность метастазирования и летального исхода. В некоторых исследованиях оценка иммунитета имела даже большее прогностическое значение, чем гистологическая оценка опухоли. Поэтому современные исследования направлены на изучение дополнительных иммунологических паттернов экспрессии, генов в опухолях, позволяющих дополнить показатели иммунитета [23–25].

Антитела. На опухолевые антигены вырабатываются антитела, но значение этих антител в защите от рака изучено недостаточно. Известно, что антитела могут уничтожать опухолевые клетки путем активации комплемента или посредством антителозависимой клеточно-опосредованной цитотоксичности (АЗКТЦ), при которой макрофаги, экспрессирующие Fc-рецепторы или натуральные киллеры (natural killer cells – NK), опосредуют лизис. Однако существует мало доказательств того, что гуморальные иммунные реакции против опухолевых антигенов оказывают значительное влияние на предотвращение развития или прогрессирования опухолей. Установлено несколько видов эффективных противоопухолевых антител, которые используют для обеспечения пассивного иммунитета против опухолей [26, 27].

Натуральные киллеры лизируют многие типы опухолевых клеток, способствуют иммунному надзору за развитием опухолеассоциированных реакций. Лица с дисфункциями NK или их количеством подвергаются более высокому риску развития определенных типов опухолей, вызванных вирусами. Генетические дефекты функционирования NK или их истощение антителами усиливают рост и метастазирование опухоли. Несмотря на то что NK вносят существенный вклад в иммунный надзор, они незначительно представлены в инфильтратах опухолей, а их роль в иммунной эрадикации уже сформировавшихся опухолей неясна [28]. Кроме того, многие опухоли экспрессируют лиганды для активирующего рецептора NKG2D NK-клеток, такие как MIC-A, MIC-B и ULB, а передача сигналов NKG2D может перекрывать ингибирующие сигналы от рецепторов, связывающих MHC I класса. Также NK лизируют опухолевые клетки с участием антител и развитием механизмов АЗКТЦ. Противоопухолевую активность NK повышают интерлейкины (IL)-2 (IL-2), IL-15 и IL-12 [29].

Макрофаги. Макрофаги, в зависимости от их активации, способны как подавлять, так и стимулировать рост и распространение опухолей. Активированные Ml-макрофаги лизируют многие типы опухолевых клеток. Однако каким образом макрофаги активируются антигенами опухолей, неизвестно. Возможным механизмом является распознавание рецепторами макрофагов молекулярных паттернов, связанных с повреждением лизированных опухолевых клеток. IFN-γ, секретируемый опухолеспецифичными Thl-типа, CTL и NK активирует макрофаги в опухолях для лизиса опухолевых клеток. Возможно, именно поэтому большое количество Thl-типа в некоторых опухолях коррелирует с хорошим прогнозом [30].

Роль врожденного и адаптивного иммунитета в стимулировании роста опухоли. Несмотря на то что ИС принадлежит ведущая роль в уничтожении опухолей, очевидно, что ИС также может способствовать и росту некоторых солидных опухолей. Хроническое воспаление уже давно признано фактором риска развития опухолей в различных тканях. Так, некоторые виды рака, связанные с инфекциями, также считаются косвенным результатом эффектов хронического воспаления. К ним относятся карцинома желудка и лимфома на фоне хронической инфекции *Helicobacter pylori*, а также гепатоцеллюлярные карциномы, связанные с хроническими инфекциями, вызванными вирусами гепатитов В и С. Однако механизмы, с помощью которых хроническое воспаление может способствовать развитию опухоли, до конца не изучены [31].

Миелоидные клетки являются наиболее активными индукторами опухолей среди клеток ИС. Они способствуют злокачественному преобразованию клеток, генерируют свободные

радикалы, вызывающие повреждение ДНК, приводят к мутациям в генах-супрессорах опухолей и онкогенах. Тучные клетки, нейтрофилы и макрофаги секретируют факторы, способствующие прогрессированию клеточного цикла и выживанию опухолевых клеток. Так, транскрипционный фактор NF-KB, являющийся ключевым медиатором врожденных иммунных реакций, может играть важную роль в прогрессировании опухолеассоциированных процессов, связанных с воспалением. Ассоциированные с опухолью макрофаги М2, как и другие клетки, являются источниками фактора роста эндотелия сосудов, который способствует ангиогенезу и секреции матриксных металлопротеиназ, ферментов, модифицирующих внеклеточную ткань. Таким образом, хроническая активация некоторых клеток врожденного иммунитета характеризуется ангиогенезом и ремоделированием тканей с последующим ростом и распространением опухоли [32, 33]. Альтернативно активированные макрофаги и менее изученные клеточные популяции, например, клетки-супрессоры миелоидного происхождения (myeloid-derived suppressor cells — MDSCs), также могут косвенно способствовать росту опухоли, подавляя эффективный противоопухолевый ИО [34].

Адаптивные иммунные реакции способны усиливать опухолеассоциированные процессы несколькими способами. Это может быть дифференцировка $CD4^+$ Т-лимфоцитов в Th2-клетки или регуляторные Т-клетки (Treg), супрессирующие эффекты Thl и CTL, лизирующие опухоли и увеличивающие дифференцировку макрофагов в М2 и другие типы клеток, способствующих росту опухоли. Экспериментальные данные на мышах свидетельствуют о том, что В-лимфоциты могут способствовать прогрессированию опухоли, но это остается спорным, поскольку В-клетки также связаны с регрессией опухоли [35].

Как видим, эффекты ИС, способствующие развитию опухолей, парадоксальны и в настоящее время активно изучаются. Основная проблема заключается в том, что природа иммунных стимулов, способствующих развитию опухолей, отличается для разных типов опухолей. Так, тип клеток, стимулирующий развитие одних опухолей, может подавлять другие. В результате очень непросто окончательно установить алгоритм механизмов, способствующих развитию опухолей. Теоретически хроническое воспаление является целью для фармакологического вмешательства, поскольку уже существует большое разнообразие эффективных противовоспалительных препаратов. Поэтому первоочередная задача — достижение баланса, при котором защитные противоопухолевые иммунные реакции не нарушаются, а потенциально опасные воспалительные реакции, способствующие развитию опухоли, контролируются.

Механизмы уклонения опухолей от иммунных реакций. В механизмах уклонения опухолей от иммунных реакций были выдвинуты гипотезы, подтверждающиеся экспериментальными данными и клиническими успехами иммунотерапевтических подходов, нацеленных на механизмы уклонения. Одним из основных направлений является повышение иммуногенности опухолей. Для большинства механизмов уклонения характерно либо активное ингибирование противоопухолевых иммунных реакций, либо потеря или нейтрализация антигенов, управляющих этими реакциями.

В противоопухолевых эффектах Т-клеток задействованы молекулы, которые обычно функционируют для предотвращения аутоиммунных реакций или регулирования противоинфекционного ИО. Наиболее наглядно это было продемонстрировано для двух наиболее четко определенных путей ингибирования Т-клеток – для цитотоксического белка 4, ассоциированного с Т-лимфоцитами (cytotoxic T-lymphocyte-associated protein 4 — CTLA-4) и белка программируемой клеточной гибели-1 (programmed cell death protein-1 — PD-1). Блокада этих ингибиторов повышает противоопухолевый иммунитет, и в настоящее время широко используется применение антител против PD-1 и CTLA-4 в терапии рака. Усиление экспрессии PD-1 и CTLA-4 опухолевыми клетками обеспечивает их устойчивость к атакам Т-клеточного иммунитета. Инфильтрирующие опухоль Т-клетки часто имеют дисфункциональный (истощенный) фенотип. Истощенные Т-клетки характеризуются нарушением эффекторных функций и повышенной экспрессией CTLA-4, PD-1 и других ингибирующих молекул. Супрессии способствуют Treg, которые также экспрессируют CTLA-4. Часто Tregs обнаруживаются в клеточных инфильтратах опухолей. Уменьшение количества Tregs в инфильтратах повышает противоопухолевый им-

мунитет и уменьшает рост опухоли. Однако роль и прогностическая ценность Treg, присутствующих в опухолях человека, остаются неопределенными и могут варьировать в зависимости от типа опухоли [36–38].

Для развития ингибиторных эффектов PD-1 и CTLA-4 необходимо, чтобы они связывались со своими лигандами, белками семейства B7. Многие опухоли экспрессируют PD-LI, а некоторые — PD-L2. Секретируемый инфильтрирующими опухоль Т-клетками IFN-γ также индуцирует экспрессию PD-LI опухолевыми и миелоидными клетками в микроокружении опухоли. Таким образом, клетки окружающие опухоли, способствуют экспрессии PD-1 и препятствуют Т-клеткам выполнять лизирующие функции. Лигандами для CTLA-4 являются костимулирующие молекулы семейств B7-1 и B7-2, экспрессируемыми преимущественно APC, взаимодействующими с CD28. CTLA-4 связывается с B7 сильнее, чем с CD28, и действует как конкурентный ингибитор костимуляции Т-клеток [39]. Вероятная причина использования опухолевыми клетками CTLA-4 для регуляции противоопухолевых реакций заключается в низком уровне экспрессии костимулирующих молекул B7 APC. Высокоаффинный рецептор CTLA-4 также экспрессируется эффекторными Т-клетками и Treg и, следовательно, блокируется CD28 для проведения второго сигнала активации и развития противоопухолевого ИО. Кроме ингибирующих рецепторов, опухолевые клетки секретируют трансформирующий ростовый фактор β (transforming growth factor — TGFβ), подавляющий пролиферацию и эффекторные функции лимфоцитов и макрофагов [39–41].

Еще одной субпопуляцией клеток, подавляющих врожденные и опосредованные Т-клетками противоопухолевые иммунные реакции, являются миелоидные супрессорные клетки (Myeloid-derived suppressor cells — MDSCs), накапливающиеся в костном мозге, лимфоидных тканях, крови и опухолях. MDSCs — гетерогенная совокупность различных типов миелоидных клеток, которые также накапливаются в тканях пациентов, страдающих хроническими воспалительными заболеваниями. Свои функции MDSCs преимущественно осуществляют, секретируя иммуносупрессивные цитокины IL-10 и TGF-β, стимулируя дифференцировку Treg и ингибируя дифференцировку CTL и Thl. Секреция простагландина E2 усиливает дифференцировку MDSCs. Хотя присутствие MDSCs в опухолях коррелирует с супрессией противоопухолевых иммунных реакций, в механизмах их дифференцировки, функционирования и использования в терапевтических целях существует много пробелов [42, 43].

Снижение или отсутствие экспрессии опухолевых антигенов приводит к выживанию и росту различных типов опухолей со сниженной иммуногенностью. Этому способствуют иммунное редактирование, высокая частота митозов опухолевых клеток, мутации или делеции генов, кодирующих опухолевые антигены. Однако снижение экспрессии молекул MHC I класса, представляющих опухолевые антигены CTL, является более эффективной формой ухода опухоли от иммунного надзора. В различных типах опухолей имеет место снижение β2-микроглобулина, транспортеров, связанных с обработкой антигенов 1, 2 (transporter associated with antigen processing-1 — TAPI) и TAP2, необходимых для экспрессии MHC I класса на поверхности клетки [43].

Иммунотерапия опухолей. Иммунологи и онкологи в течение многих лет работали над подходами к терапии онкологических больных, используя основные описанные иммунопатогенетические механизмы. Первоначально это были химиотерапия, облучение, убивающие делящиеся клетки или блокирующие их деление. Но они оказывали негативные эффекты на нормальные пролиферирующие клетки. Теоретически описанные иммунопатогенетические механизмы могут быть высокоспецифичными для опухолевых клеток и не повреждать большинство нормальных клеток. Идентификация опухолевых антигенов, разработка методик генетической модификации Т-клеток приблизили к решению вопросов опухолеспецифической иммунотерапии. Поэтому рассмотреть существующие методики иммунотерапии представляется чрезвычайно интересным. Большинство из перечисленных антител связываются с опухолевыми антигенами и разрушают или ингибируют рост опухолевых клеток. Основные моноклональные антитела, используемые в терапии рака, представлены в таблице.

Пассивная иммунотерапия моноклональными антителами обеспечивает быстрый эффект, но не приводит к стойкому иммунитету.

Таблица

Моноклональные антитела, одобренные для лечения рака

Table

Monoclonal antibodies approved for cancer treatment

Точки приложения	Препарат	Вариант, используемых антител	Клиническое применение
HER2/Neu (EGFR)	Транстузумаб	Гуманизированный	Рак молочной железы
CD19	Блинатумомаб	CD19-/CD3- (BiTE)	Острый лимфобластный лейкоз (Т-клеточное уничтожение опухоли)
CD20	Ритуксимаб (Офатумумаб)	Химерик Гуманизированный	В-клеточные лимфомы и лейкозы Хронический лимфолейкоз
CD20	90-Y-Ибритумомаб тиуксетан	Мышиный, конъюгированный с радиоизотопам	Лимфома Ходжкина
CD30	Брентуксимаб ведотин	Химерный препарат, конъюгированный с лекарственным средством	Болезнь Ходжкина или системная анапластическая крупноклеточная лимфома
CD33	Гемтузумаб озогамицин	Гуманизированный, конъюгированный с лекарственным средством	Острый миелолейкоз
CD52	Алемтузумаб	Гуманизированный	CLL, CTCL, Т-клеточная лимфома
EGFR	Цетуксимаб Панитумумаб Нимотузумаб	Химерик человеческий гуманизированный	Рак толстой кишки, молочной железы и легких; другие опухоли, рак головы и шеи
VEGFA	Бевацизумаб	Гуманизированный	Колоректальный рак и рак легких (ингибирование ангиогенеза)
CD254 (лиганд RANK)	Деносумаб	Человеческий	Метастазы солидной опухоли в кости (стимуляция)

Примечание. BiTE (Bispecific T cell engager) — биспецифический активатор Т-клеток; CLL (chronic lymphocytic leukemia) — хронический лимфолейкоз; CTCL (cutaneous T-cell lymphoma) — кожная Т-клеточная лимфома; EGFR (epidermal growth factor receptor) — рецептор эпидермального фактора роста; VEGEFA (vascular endothelial growth factor A) — сосудистый эндотелиальный фактор роста А

Note: BiTE (Bispecific T cell engager) is a bispecific T cell activator; CLL (chronic lymphocytic leukemia) is chronic lymphocytic leukemia; CTCL (cutaneous T-cell lymphoma) is cutaneous T-cell lymphoma; EGFR (epidermal growth factor receptor) is the epidermal growth factor receptor; VEGEFA (vascular endothelial growth factor A) is vascular endothelial growth factor A

В основе механизмов иммунотерапии лежит цитотоксичность NK, лизис и фагоцитоз, опосредованные комплементом и фагоцитоз, опосредованный комплементом и Fc-рецепторами. Кроме того, разработаны рекомбинантные одиночные полипептидные белки, специфичные для опухолевых антигенов [35].

Адаптивная клеточная терапия противоопухолевыми Т-клетками. Другим направлением является адаптивная клеточная терапия противоопухолевыми Т-клетками, специфичными к опухолевым антигенам, полученными из опухолевой ткани или крови пациента, которые размножены и введены обратно онкологическим больным. Несмотря на длительное использование, эта методика имела ограниченный успех, вероятно, из-за того, что клетки, выделенные у пациентов, содержат низкое количество вы-

сокоаффинных опухолеспецифичных Т-клеток. С появлением технологий, позволяющих идентифицировать неоантигены, управляющие опухолеспецифическими Т-клеточными реакциями, возможно, эта методика станет более эффективной. Другой разрабатываемый в настоящее время подход к терапии Т-клетками заключается в трансдукции Т-клеток пациента для экспрессии Т-клеточных рецепторов (TCR), специфичных к опухолевому антигену, экспрессируемому определенным типом опухоли. Гены, кодирующие полипептидные цепи TCR, получены из клонированных Т-клеток, взятых у пациента, страдающего этой опухолью, и включены в лентивирусный вектор, который используется для инфицирования Т-клеток. Такой подход потребует идентификации антигенов, которые являются мишенями для Т-клеток и экспрессируются одним и тем же типом опухоли у разных пациентов. Гены TCR могут быть оптимизированы мутационными изменениями, повышающими сродство TCR к антигену [44–46].

Адаптивная терапия с использованием Т-клеток, экспрессирующих химерные антигенные рецепторы (chimeric antigen receptors — CARs), оказалась успешной при гематологических злокачественных новообразованиях. CARs представляют собой генно-инженерные мембраносвязанные рецепторы с участками связывания, специфичными для опухолевых антигенов, кодируемых рекомбинантными вариабельными генами иммуноглобулинов (Ig) и цитоплазматическими участками, содержащими сигнальные домены как комплекса TCR, так и костимулирующих рецепторов Т-клеток. Такой подход позволяет избежать проблемы MHC-рестрикции TCR. Поэтому одна и та же конструкция CAR может быть использована для лечения определенного типа опухоли у любого пациента. Кроме того, CARs распознают опухолевые антигены даже при отсутствии экспрессии молекул MHC. В CARs используется несколько вариантов сигнальных конструкций, но все они содержат мотивы активации иммунорецепторов на основе тирозина (immunoreceptor tyrosine-based activation motif — ITAM) и цитоплазматические сигнальные мотивы костимулирующих рецепторов, таких как CD28 или CD137 (4-IBB). Эти сигнальные мотивы придают опухолеспецифическому Ig-подобному рецептору способность активировать Т-клетки [47–49].

В соответствии с действующими протоколами, Т-клетки периферической крови онкологического больного выделяют, инфицируют ретровирусными или лентивирусными векторами, кодирующими CAR, и затем стимулируют их антителами к CD3 и/или CD28 для увеличения их количества. Затем CAR-экспрессирующие Т-клетки вводят обратно пациенту. Перед их переносом пациенты обычно получают препараты, которые истощают их собственные лимфоциты, что увеличивает пролиферацию перенесенных CAR-Т-клеток. Перенесенные Т-клетки подвергаются интенсивному размножению в организме пациента в ответ на распознавание опухолевого антигена Ig доменом CAR и костимулирующие сигналы [50].

Уничтожение опухоли достигается как прямыми цитотоксическими, так и опосредованными цитокинами эффектами. CAR-Т-клетки, специфичные к CD19, экспрессируемому опухолевыми В-лимфоцитами, одобрены для лечения различных В-клеточных злокачественных новообразований, включая хронический лимфолейкоз, острый лимфобластный лейкоз и В-клеточные лимфомы. CAR-Т-клетки памяти могут сохраняться у пролеченных пациентов, что позволяет прогнозировать рецидив опухоли. Технологии, позволяющие получать большое количество CAR-Т-клеток для каждого пациента за короткое время, значительно продвинулись вперед и в настоящее время CAR-Т-клетки используются во многих медицинских центрах. Но существуют и серьезные препятствия. Так, опухолевые антигены могут экспрессировать и нормальные клетки. В этом случае нормальные В-клетки могут быть лизированы. Однако долгоживущие плазматические клетки, секретирующие антитела, не экспрессируют CD19 и не погибают, а продолжают обеспечивать опосредованный антителами иммунитет пациентов, получающих терапию CAR-Т-клетками, специфичными к CD19 [51–53].

Еще одной проблемой терапии CAR-Т-клетками является секреция большого количества провоспалительных цитокинов Т-лимфоцитами, макрофагами пациентов с высокой опухолевой нагрузкой. В этом случае эффективно применение антител к рецептору IL-6. Химиотерапия также ограничивает степень активации CAR-Т-клеток. После инфузии

CAR-T-клеток в результате повреждения микрососудов, секреции цитокинов развивалась серьезная нейротоксичность и риск повреждения центральной нервной системы. Опухоли могут утратить способность экспрессии антигена, на который нацелены CAR, и рецидивировать. Эта проблема решается путем введения CARs, специфичных для двух или более опухолевых антигенов [54, 55]. В ряде ситуаций перенесенные клетки со временем перестают реагировать на опухолевые антигены и экспрессируют маркеры истощения (высокие уровни PD-1). Эта проблема решается введением блокирующих антител, специфичных для PD-1, или с помощью методик редактирования генома для устранения гена PD-1 в CAR-T-клетках [57]. Также непросто заставить введенные CAR-T-клетки мигрировать в места расположения солидных опухолей. В настоящее время разрабатываются CAR-T-клетки с улучшенными миграционными функциями и экспрессией CARs NK-клетками. Использование CTL, как ожидается, будет более эффективным и менее токсичным в уничтожении опухолей по сравнению с CAR-T-клетками [56, 57].

Другим направлением эффективного усиления противоопухолевого ИО является блокада молекул, ингибирующих Т-клетки с помощью лекарственных препаратов — блокада контрольных точек. Такими препаратами являются моноклональные антитела, специфичные к рецептору CTLA-4 Т-лимфоцитов, которые блокируют молекулы семейства B7-1, B7-2 и костимуляцию Т-клеток, особенно во время их прайминга во вторичных лимфоидных органах [58]. Терапия анти-CTLA-4 была одобрена в качестве средства для лечения запущенной формы меланомы, но она эффективна не у всех пациентов, получавших лечение. Анти-CTLA-4 блокирует экспрессирующиеся рецепторы активированными Т-клетками и Tregs. Однако, как оказалось, блокада PD-1 или PD-L1 даже более эффективна, чем анти-CTLA-4 в лизировании опухолей Т-клетками и предотвращении прогрессирования запущенных форм рака. Антитела против PD-1 и PD-L1 также вызывают меньше побочных эффектов, чем антитела против CTLA-4, и в настоящее время одобрены для лечения многих видов рака, включая меланому, карциномы легких, почек, мочевого пузыря, толстой кишки, лимфому Ходжкина. Фактически анти-PD-1 одобрены для лечения всех рецидивирующих или метастатических опухолей с высоким уровнем мутаций и, следовательно, с образованием большого количества неоантигенов в каждом гистологическом типе опухоли. Комбинированная блокада PD-1 и CTLA-4, по-видимому, более эффективна против некоторых видов рака, чем любая из них по отдельности [56, 57]. При этом общими побочными эффектами блокады контрольных точек являются аутоиммунные и воспалительные реакции в толстой кишке, легких, печени и эндокринных органах, реже могут быть затронуты мышцы, сердце и центральная нервная система. Но большинство из этих побочных эффектов купируется противовоспалительными препаратами [58]. Только у 15–20% пациентов, страдающих онкологическими заболеваниями, получающих анти-CTLA-4 и/или анти-PD-1, наблюдается объективное улучшение состояния. Установлены несколько возможных причин этих терапевтических неудач. Так, терапия блокады контрольных точек вряд ли будет эффективной у пациентов с опухолями с небольшим количеством соматических мутаций, кодирующих неоантигены из-за малого количества реагирующих опухолеспецифичных клонов Т-клеток. Кроме того, многие типы опухолей не используют CTLA-4 или PD-1-PD-L1 в качестве стратегии уклонения от противоопухолевого ИО. В соответствии с этой концепцией низкие уровни экспрессии PD-L1 некоторыми типами опухолей предсказывают плохой ИО на терапию анти-PD-1 [58].

Важной задачей онкологов-иммунологов, кроме выявления гистологических, генетических особенностей опухолей или циркулирующих биомаркеров, является установление природы клеточного инфильтрата вокруг опухоли, имеющего определенное прогностическое значение для ИО на блокаду контрольных точек. В целом обилие эффекторных Т-клеток, даже если они имеют фенотип дисфункциональных клеток, предсказывает хороший ИО, а низкое количество клеток в инфильтратах или обилие Treg — плохой. В будущем анализы на Т-клетки, экспрессирующие TCR, специфичные для неоантигенов, могут быть объединены с анализом количества неоантигенов, чтобы обеспечить большую прогностическую ценность. Наличие В-клеток в опухолевом инфильтрате также коррелирует с хорошей реакцией на блокаду контрольных точек. Онкологи также

изучают эффективность блокирования других молекул, ингибирующих Т-клетки, включая LAG3, TIGIT и TIM3 отдельно или в комбинации с анти-PD-1 или анти-CTLA-4. Блокада контрольных точек может сочетаться с традиционными протоколами лучевой терапии с использованием противоопухолевых вакцин, ингибиторов киназ [59–62].

Вакцинация опухолевыми антигенами. Вакцинация опухолевыми антигенами может привести к усилению ИО против опухоли. Первоначально вакцинопрофилактика основывалась на неспецифической иммуностимуляции. Затем были получены вакцины, состоящие из убитых опухолевых клеток, рекомбинантных опухолевых антигенов и ДК, инкубированных с опухолевыми антигенами. Идентификация пептидов, распознаваемых опухолеспецифичными CTL и мутантных генов, кодирующих опухолеспецифичные антигены, позволили получить большое количество антигенов для противоопухолевых вакцин. Новые технологии секвенирования дали возможность быстро определять мутации в последовательностях ДНК (экзомах) геномов раковых клеток, кодирующих белки. Эти технические достижения помогли точно идентифицировать опухолеспецифичные неоантигены опухолей, что стимулировало разработку индивидуальных противоопухолевых вакцин [63–64].

Для увеличения количества активированных ДК в месте вакцинации используются различные адъюванты и методы доставки. Эти адъюванты включают лиганды Toll-подобных рецепторов, динуклеотида CpG-ДНК, имитаторы двухцепочечной рибонуклеиновой кислоты (dsRNA), цитокины, такие как гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор (granulocyte-macrophage colony-stimulating factor — GM-CSF) и IL-12. При таком подходе ДК, взятые у пациентов, инкубируются с опухолевыми антигенами, а затем вводятся обратно пациентам. Вакцины на основе ДК в настоящее время одобрены для лечения запущенных форм рака предстательной железы, но ее эффективность, к сожалению, не доказана.

Технические проблемы, связанные с ДК-вакцинами, заключаются в том, что клетки необходимо забирать у каждого пациента и для их получения требуется культивирование клеток, которое трудно стандартизировать. ДНК-вакцины и вирусные векторы, кодирующие опухолевые антигены, проходят клинические испытания. Возможно, это наилучшие способы индуцирования CTL-реакций, поскольку кодируемые антигены синтезируются в цитозоле ДК и эффективно презентируются MHC I класса [65, 66].

Результаты применения различных противоопухолевых вакцин противоречивы. Большинство из них содержат целевые антигены, присущие одному и тому же типу опухоли у разных пациентов. Обычно это дифференцировочные антигены, экспрессирующиеся клетками нормальной ткани, но такие антигены индуцируют толерантность, которую необходимо преодолеть для создания эффективного противоопухолевого иммунитета. Развитие вирус-индуцированных опухолей может быть уменьшено с помощью профилактической вакцинации вирусными антигенами или ослабленными живыми вирусами. Так, вакцины против вируса папилломы человека оказались эффективными в снижении частоты рака шейки матки и гематологических заболеваний, вызванных вирусом кошачьей лейкемии, лимфомы, вызванной вирусом герпеса у кур [67, 68].

Терапия цитокинами. Терапия цитокинами онкологических больных стимулирует пролиферацию и дифференцировку Т-лимфоцитов, NK, усиливает активацию ДКs и CTL. Цитокины также вызывают неспецифические воспалительные реакции, которые сами по себе обладают противоопухолевой активностью. Так, внутривенное введение высоких доз IL-2 оказалось эффективным в индуцировании регрессии опухоли примерно у 10 % пациентов, страдающих меланомой и почечно-клеточным раком. Однако применение высоких доз IL-2 ограничено, поскольку он стимулирует выработку фактора некроза опухолей α (tumor necrosis factor α — TNFα) и IFN-γ, которые повреждают эндотелий сосудов и другие клетки. IFN-α одобрен для лечения злокачественной меланомы, некоторых лимфом, лейкозов, а также саркомы Капоши. Противоопухолевые эффекты IFN-α включают ингибирование пролиферации опухолевых клеток, повышают цитотоксическую активность NK и экспрессию молекул MHC I класса опухолевыми клетками. TNF и IFN-γ являются эффективными противоопухолевыми средствами, апробованными на животных моделях, но их применение у пациентов огра-

ничено побочными токсическими эффектами. GM-CSF используются в протоколах лечения рака для сокращения периодов нейтропении и тромбоцитопении после химиотерапии или аутологичной трансплантации костного мозга [69–71].

Использование генетически модифицированных онколитических вирусов, размножающихся в опухолевых клетках, способствует их лизису и стимулированию реакций CTL. Первым онколитическим вирусом, одобренным для клинического применения, стал талимоген лахерпарепвек (talimogene laher-parepvec — TVEC) для лечения метастатической меланомы. TVEC — вирус простого герпеса, гены которого были удалены для усиления лизиса клеток и уменьшения инфицирования нервной системы. Кроме того, был удален ген, кодирующий ингибитор TAP, что усиливает презентацию антигена MHC I класса инфицированными клетками, и добавлен ген, кодирующий GM-CSF, увеличивающий накопление ДК в микроокружении опухоли. TVEC вводится непосредственно в солидные опухолевые очаги, но усиливает противоопухолевый ответ CTL даже в отдаленных участках от места инъекции, что свидетельствует о том, что онколитический вирус повышает системный противоопухолевый ИО. В настоящее время также разрабатываются и другие онколитические вирусы [72, 73].

Неспецифические противоопухолевые воспалительные эффекты. Неспецифические противоопухолевые воспалительные эффекты могут стимулироваться введением препаратов, действующих как поликлональные активаторы лимфоцитов. Один из старейших препаратов иммунотерапии опухолей был применен в XIX в. Уильямом Коли, который вводил больным экстракты мертвых бактерий — токсин Коли. Такой подход индуцировал секрецию TNFα и других провоспалительных цитокинов, вызывающих острое воспаление с гибелью опухолевых клеток. Неспецифическая иммуностимуляция осуществляется введением вакцины БЦЖ (от фр. Bacillus Calmette–Guérin – BCG; бацилла Кальметта–Герена) в опухоль. Микобактерии БЦЖ активируют макрофаги и тем самым способствуют фагоцитозу опухолевых клеток. Кроме того, микобактерии действуют как адъюванты и могут стимулировать реакции CTL на опухолевые антигены. БЦЖ в настоящее время используется для лечения рака мочевого пузыря [74, 75]. Установлен эффект «трансплантат против лейкоза» у пациентов, получающих аллогенную трансплантацию гемопоэтических стволовых клеток (ГСК). Присутствие T- и NK-клеток в материале ГСК способствует лизису опухоли [76, 77].

Обсуждение. Значительное количество проведенных исследований свидетельствует о том, что большинство антигенов опухолей обладают слабой иммуногенностью, но могут распознаваться цитотоксическими Т-лимфоцитами, натуральными киллерами, макрофагами. Опухолевые антигены супрессируют экспрессию молекул главного комплекса гистосовместимости, секретируют иммуносупрессивные факторы, активируют регуляторные Т-лимфоциты. Злокачественные опухоли экспрессируют антигены, которые распознаются ИС, но большинство опухолей подавляет иммунные реакции или, как сказано выше, обладает слабой иммуногенностью, поэтому ИС часто неспособна предотвратить рост опухолей. Тем не менее, ИС можно стимулировать с помощью терапевтических средств. Опухолевые антигены, распознаваемые CTL, являются основными индукторами и мишенями противоопухолевого иммунитета. Наиболее важными являются опухолеспецифичные неоантигены, образующиеся в результате случайных мутаций клеточных белков, перерабатываемых в мутантные пептиды, связывающиеся с молекулами MHC. Известны и другие опухолевые антигены, включающие продукты мутировавших онкогенов, нормальные белки, экспрессия которых нарушена или повышена в опухолях, и антигены онкогенных вирусов.

Антитела, специфичные к антигенам опухолевых клеток, используют для диагностики и терапии. Иммунные реакции, способные нейтрализовать опухолевые клетки, опосредуются CTL, NK и макрофагами, которые активируются Т-хелперами, специфичными к опухолевому антигену. Опухоли избегают иммунных реакций с помощью нескольких механизмов, включая подавление экспрессии молекул MHC, способствуя избирательному росту клеток, не экспрессирующих опухолевые антигены, секретируя иммуносупрессивные факторы, взаимодействующие с ингибирующими рецепторами лимфоцитов или с их лигандами, экспрессируемые опухолевы-

ми клетками и активируя T-reg. Макрофаги и MDSC, ассоциированные с солидными опухолями, могут подавлять противоопухолевый иммунитет.

Иммунотерапия опухолей включает подходы, усиливающие иммунные реакции против опухолей и тем самым обеспечивает опухолеспецифические эффекты пассивного иммунитета у пациентов. Противоопухолевый иммунитет усиливается блокированием механизмов иммунной регуляции, вакцинацией опухолевыми клетками или антигенами, а также системным введением цитокинов. Свои эффекты противоопухолевые антитела осуществляют с участием белков системы комплемента, NK и фагоцитов. Для целевого направления на клетки опухоли, специфичные к антигенам антитела, конъюгируются с химиотерапевтическими токсинами или радиоизотопами. Некоторые генно-инженерные биспецифические антитела одновременно связывают опухолевые антигены и активируют экспрессию рецепторов Т-лимфоцитов [78]. CAR-T-клеточная терапия способствует экспрессии гибридного антигенного рецептора, который распознает опухолевый антиген и передает сигналы через цитоплазматический Т-клеточный рецептор и костимулирующие рецепторные мотивы. Затем CAR-T-клетки вводятся обратно пациенту, где они лизируют опухолевые клетки. CAR-T-клеточная терапия оказалась эффективной при лечении заболеваний крови. Следовательно, перспективными направлениями в иммунотерапии опухолей являются CAR-T-клеточная терапия, повышение активности Т-лимфоцитов.

Заключение. Развитие опухолеспецифичных реакций преимущественно индуцируют неоантигены, супрессирующие активность эффекторных клеток. Повышение активности лимфоцитов усиливает противоопухолевой иммунитет. Антитела, связываясь с рецепторами факторов роста, блокируют передачу сигналов, необходимых для поддержания роста опухолевых клеток. При блокаде иммунных контрольных точек антитела, блокирующие функции ингибирующих рецепторов Т-лимфоцитов или их лиганд, включая PD-1, PD-L1 и CTLA-4, вводятся для повышения активности лимфоцитов и, соответственно, повышения противоопухолевого иммунитета. Блокада контрольных точек получила широкое распространение для лечения многих видов рака. Успех блокады контрольных точек при многих солидных опухолях и инфузии CAR-T-клеток в случае гематологических злокачественных новообразований оживил область иммунологических особеностей опухолей. Несмотря на сохраняющиеся ограничения и проблемы, усилия, прилагаемые в этой области, позволяют предположить, что иммунотерапия пациентов, страдающих злокачественными опухолями, в будущем будет более эффективной.

Сведения об авторах:

Москалев Александр Витальевич – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры микробиологии, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, д. 6 Ж; ORCID: 0009-0004-5659-7464; e-mail: alexmav195223@yandex.ru

Апчел Василий Яковлевич – доктор медицинских наук, профессор, старший научный сотрудник, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, д. 6 Ж; профессор кафедры анатомии и физиологии человека и животных, Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена; 199155, Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 48, корп. 3; ORCID: 0000-0001-7658-4856; e-mail: apchelvya@mail.ru

Апчел Андрей Васильевич – доктор медицинских наук; врач-дерматовенеролог, общество с ограниченной ответственностью «Эстеприма»; 192007, Санкт-Петербург, ул. Прилукская, д. 25, стр. 1, офис 1, пом. 10-Н; ORCID: 0009-0000-0770-5335; e-mail: apchelandrey@mail.ru

Жарбуа Диана Иосефовна — студент, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова; 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8; ORCID: 0009-0005-1213-7711; e-mail: diana.zharbua@mail.ru

Information about the authors:

Alexander V. Moskalev – Dr. of Sci. (Med.), Professor; Professor of the Department of Microbiology, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6 Zh; ORCID: 0009-0004-5659-7464; e-mail: alexmav195223@yandex.ru

Vasily Ya. Apchel – Dr. of Sci. (Med.), Professor; Senior Researcher, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6 Zh; Professor of the Department of Anatomy and Physiology of Humans and Animals, Herzen University; Russia, 199155, Saint Petersburg, Naberezhnaya reki Moiki, 48, bldg. 3; ORCID: 0000-0001-7658-4856; e-mail: apchelvya@mail.ru

Andrey V. Apchel – Dr. of Sci. (Med.); dermatovenerologist, Esteprima LLC; Russia, 192007, Saint Petersburg, Prilukskaya Str., 25, bldg 1, office 1, room 10-H; ORCID: 0009-0000-0770-5335; e-mail: apchelandrey@mail.ru

Diana J. Zharbua — Student, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University. acad. I.P. Pavlov; 197022, Russia, Saint Petersburg, Lev Tolstoy str., 6–8; ORCID: 0009-0005-1213-7711; e-mail: diana.zharbua@mail.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — А. В. Москалев, В. Я. Апчел; сбор данных — А. В. Москалев, А. В. Апчел, Д. И. Жарбуа; анализ данных — В. Я. Апчел; подготовка рукописи — А. В. Москалев, В. Я. Апчел, А. В. Апчел

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: AVM, VYaA contribution to the concept and plan of the study. AVM, AVA contribution to data collection. VYaA, DJZh data analysis. AVM, VYaA, AVA contribution to the preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: *20.01.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ribatti D. The concept of immune surveillance of tumors: the first theories. *Oncotarget,* 2017, Vol. 8, No. 4, pp. 7175–7180. doi: 10.18632/oncotarget.12739.
2. Guzman L. G., Keating N., Nicholson S. E. Natural Killer Cells: Tumor Surveillance and Signaling. *Cancers,* 2020, Vol. 12, No. 4, pp. 952. doi: 10.3390/cancers12040952.
3. Burnet F. M. The concept of immunological surveillance. *Progr Exp Tumor Res,* 1970, Vol. 13, pp. 1–27.
4. Egen J. G., Ouyang W., Wu L. C. Human anti-tumor immunity: insights from immunotherapy clinical trials. *Immunity,* 2020, Vol. 152, pp. 36–54.
5. Schumacher T. L., Hacohen N. Neoantigens encoded in the cancer genome. *Curr Opin Immunol,* 2016, Vol. 41, pp. 98–103.
6. Ward J. P., Gubin M. M., Schreiber R. D. The role of neoantigens in naturally occurring and therapeutically induced immune responses to cancer. *Adv Immunol,* 2016, Vol. 130, pp. 25–74.
7. Барышникова М. А., Кособокова Е. Н., Косоруков В. С. Неоантигены в иммунотерапии опухолей // *Росс. журнал биотерапии*. 2018. Т. 2, № 2. С. 6–14 [Baryshnikova M. A., Kosobokova E. N., Kosorukov V. S. Neoantigens in tumor immunotherapy. *Russ. Journal of Biotherapy*, 2018, Vol. 2, No. 2, pp. 6–14 (In Russ.)]. doi: 10.17650/1726-9784-2018-17-2-6-14.
8. Данилова Н. В., Михайлов И. А., Олейникова Н. А., и др. Персистенция антигенов вируса Эпштейна–Барр при раке желудка: особенности воспалительных клеточных реакций в опухолях // *Архив патологии*. 2021. Т. 83, № 1. С. 18–24 [Danilova N. V., Mikhaylov I. A., Oleynikova N. A., et al. Persistence of Epstein-Barr virus antigens in gastric cancer: features of inflammatory cellular reactions in tumors. *Archive of Pathology*, 2021, Vol. 83, No. 1, pp. 18–24 (In Russ.)]. doi: 10.17116/patol20218301118.
9. Feins S., Kong W., Williams E. F., et al. An introduction to chimeric antigen receptor (CAR) T-cell immunotherapy for human cancer. *American Journal of Hematology,* 2019, Vol. 94, No. (S1), pp. S3–S9. doi: 10.1002/ajh.25418.
10. Finn O. J. Human tumor antigens yesterday, today, and tomorrow. *Cancer Immunology Research*, 2017, Vol. 5, No. 5, pp. 347–354. doi: 10.1158/2326-6066.
11. Комекбай Д. Е., Жунусова Л. С., Эгембердиева Р. Е. и др. Рецептор эпидермального фактора роста человека HER2/neu и его прогностическое значение при раке желудка // *Мед. журнал Астана*. 2022. Специальный выпуск. № 1. С. 206–212 [Komekbai J. E., Zhunusova L. S., Egemberdieva R. E., et al. The human epidermal growth factor receptor HER2/neu and its prognostic significance in gastric cancer. *Astana medical journals*, 2022, Special issue, No. 1, pp. 206–212 (In Russ.)]. doi: 10.54500/2790-1203S.2022.206-212.
12. Shidham V. B., Qi D., Rao R. N., et al. Improved immunohistochemical evaluation of micrometastases in sentinel lymph nodes of cutaneous melanoma with "MCW melanoma cocktail" — a mixture of monoclonal antibodies to MART-1, Melan-A, and tyrosinase. *BMC Cancer,* 2003, Vol. 3, pp. 15. doi: 10.1186/1471-2407-3-15.
13. Du J., Miller A. J., Widlund H. R., et al. MLANA/MART1 and SILV/PMEL17/GP100 are transcriptionally regulated by MITF in melanocytes and melanoma. *Am. J. Pat,* 2003, Vol. 163, No. 1, pp. 333–343. doi: 10.1016/S0002-9440(10)63657-7.
14. Chen S., Wang Y., Dang J., et al. CAR macrophages with built-In CD47 blocker combat tumor antigen heterogeneity and activate T cells via cross-presentation. *Nature Communications,* 2025, Vol. 16, No. 1, pp. 4069. doi: 10.1038/s41467-025-59326-9.
15. Teng M. W., Galon J., Fridman W. H., et al. From mice to humans: developments in cancer immunoediting. *J Clin Invest*, 2015, Vol. 125, No. 9, pp. 3338–3346. doi: 10.1172/JCI80004 PMID:26241053.

16. Gubin M. M., Artyomov M. N., Mardis E. R., et al. Tumor neoantigens: building a framework for personalized cancer immunotherapy. *J Clin Invest,* 2015, Vol. 125, No. 9, pp. 3413–3421. doi: 10.1172/JCI80008.
17. Боженко В. К., Уразаева И. К., Ранджит Р., Кудинова Е.А. Антиген MUC 1 как иммунотерапевтическая мишень // *Вест. Росс. научн. центра рентгенорадиологии*. 2023. № 4. С. 110–121 [Bozhenko V. K., Urazaeva I. K., Ranjit R., Kudinova E. A. MUC 1 antigen as an immunotherapeutic target. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,* 2023, No. 4, pp. 110–121 (In Russ.)]. EDN: GHIEHB.
18. Wu Y., Yuan M., Wang C., et al. T lymphocyte cell: A pivotal player in lung cancer. *Front. Immunol,* 2023, No. 14, pp. 1102778. doi: 10.3389/fimmu.2023.1102778.
19. Ho N. I., Camps M. G., de Haas E. F., et al. Sustained cross-presentation capacity of murine splenic dendritic cell subsets in vivo. *J Immunol,* 2018, Vol. 48, No. 7, pp. 1164–1173. doi: 10.1002/eji.201747372.
20. Gros M., Amigorena S. Regulation of antigen export to the cytosol during cross-presentation. *Front Immunol,* 2019, No. 10, pp. 41. doi: 10.3389/fimmu.2019.00041.
21. Ahrends T., Borst J. The opposing roles of CD4(+) T cells in anti-tumour immunity. *Immunology,* 2018, Vol. 154, pp. 582–592. doi: 10.1111/imm.12941.
22. Borst J., Ahrends T., Babala N., et al. CD4(+) T cell help in cancer immunology and immunotherapy. *Nat Rev Immunol,* 2018, Vol. 18, pp. 635–647. doi: 10.1038/s41577-018-0044-0.
23. Brightman S. E., Naradikian M. S., Miller A. M, Schoenberger S. P. Harnessing neoantigen specific CD4 T cells for cancer immunotherapy. *J Leukocyte Biol,* 2020, Vol. 107, No. 4, pp. 625–633. doi: 10.1002/JLB.5RI0220-603RR.
24. Brown C. E., Mackall C. L. CAR T cell therapy: inroads to response and resistance. *Nat Rev Immunol,* 2019, Vol. 19, No. 2, pp. 73–74. doi: 10.1038/s41577-018-0119-y.
25. Manjarrez-Orduño N., Menard L. C., Kansal S., et al. Circulating T Cell subpopulations correlate with immune responses at the tumor site and clinical response to PD1 inhibition in non-small cell lung cancer. *Front. Immunol,* 2018, No. 9, pp. 1613. doi: 10.3389/fimmu.2018.01613.
26. Trenevska I., Li D., Banham A. H. Therapeutic antibodies against intracellular tumor antigens. *Front. Immunol,* 2017, No. 8, pp. 1001. doi: 10.3389/fimmu.2017.01001.
27. Duan Z., Ho M. T-cell receptor mimic antibodies for cancer immunotherapy. *Mol Cancer Ther,* 2021, Vol. 20, No. 9, pp. 1533–1541. doi: 10.1158/1535-7163.MCT-21-0115.
28. Chiossone L., Dumas P. Y., Vienne M., et al. Natural killer cells and other innate lymphoid cells in cancer. *Nat Rev Immunol*, 2018, Vol. 18, No. 11, pp. 671–688. doi: 10.1038/s41577-018-0061-z.
29. Zhang J., Basher F., Wu J. D. NKG2D ligands in tumor immunity: two sides of a coin. *Front. Immunol,* 2015, No. 6, pp. 97. doi: 10.3389/fimmu.2015.00097.
30. Murugina N. E., Murugin V. V., Pashchenkov M. V. Antitumor activity of human macrophages activated by NOD1 and TLR4 receptor agonists in vitro. *Immunology,* 2022, Vol. 43, No. 5, pp. 548–557. doi: 10.33029/0206-4952-2022-43-5-548-557.
31. Chen D. S., Mellman I. Elements of cancer immunity and the cancer-immune set point. *Nature,* 2017, Vol. 541(7637), pp. 321–330. doi: 10.1038/nature21349.
32. De Nardo D. G., Ruffell B. Macrophages as regulators of tumor immunity and immunotherapy. *Nat Rev Immunol,* 2019, Vol. 19, No. 9, pp. 369–382. doi: 10.1038/s41577-019-0127-6.
33. Dysthe M., Parihar R. Myeloid-derived suppressor cells in the tumor microenvironment. *Adv Exp Med Biol,* 2020, Vol. 1224, pp. 117–140. doi: 10.1007/978-3-030-35723-8_8.
34. Пономарев А. В. Миелоидные клетки-супрессоры: общая характеристика // *Иммунология*. 2016. Т. 37, № 1. С. 47–50 [Ponomarev A. V. Myeloid suppressor cells: general characteristics. *Immunologiya,* 2016, Vol. 37, No. 1, pp. 47–50 (In Russ.)]. doi: 10.18821/0206-4952-2016-37-1-47–50.
35. O'Donnell J. S., Teng M. W. L., Smyth M. J. Cancer immunoediting and resistance to T cell-based immunotherapy. *Nat Rev Clin Onco*l, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–167. doi: 10.1038/s41571-018-0142-8.
36. Kalbasi A., Ribas A. Tumor-intrinsic resistance to immune check-point blockade. *Nat Rev Immunol*, 2020, Vol. 20, No. 1, pp. 25–39. doi: 10.1038/s41577-019-0218-4.
37. Keenan T. E., Burke K. P., Van Allen E. M. Genomic correlates of response to immune checkpoint blockade. *Nat Med*, 2019, Vol. 25, No. 3, pp. 389–402. doi: 10.1038/s41591-019-0382-x.
38. Freeman G. J., Long A. J., Iwai Y., et al. Engagement of the PD-1 immunoinhibitory receptor by a novel B7 family member leads to negative regulation of lymphocyte activation. *J Exp Med,* 2000, Vol. 192, No. 7, pp. 1027–1034. doi: 10.1084/jem.192.7.1027.
39. Ott P. A., Hodi S., Robert C. CTLA-4 and PD-1/PD-L1 blockade: new immunotherapeutic modalities with durable clinical benefit in melanoma patients. *Clin Cancer Res,* 2013, Vol. 19, No. 19, pp. 5300–5309. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-13-0143.
40. Leach D. R., Krummel M. F., Allison J. P. Enhancement of antitumor immunity by CTLA-4 blockade. *Science*, 1996, Vol. 271, pp. 1734–1736. doi: 10.1126/science.271.5256.1734.
41. Weverwijk A., Visser K. Mechanisms driving the immunoregulatory function of cancer cells. *Nat Rev Cancer,* 2023, Vol. 23, No. 4, pp. 193–215. doi: 10.1038/s41568-022-00544-4.
42. Kao K. C., Vilbois S., Tsai C. H., et al. Metabolic communication in the tumour-immune microenvironment. *Nat Cell Biol,* 2022, Vol. 24, No. 11, pp. 1574–1583. doi: 10.1038/s41556-022-01002-x.
43. Kit O. I., Maksimov A. Yu., Protasova T. P., et al. Humanized Mice: Creation, Models and Use in Experimental Oncology (Review). *Journal Biomed,* 2019, Vol. 15, No. 4, pp. 67–81. doi: 10.33647/2074-5982-15-4-67-81.
44. June C. H., O'Connor R. S., Kawalekar O. U., et al. CAR-T cell immunotherapy for human cancer. *Science,* 2018, Vol. 359, pp. 1361–1365. doi: 10.1126/science.aar6711.

45. Tabassum A., Samdani M., Dhali T. C., et al. Transporter associated with antigen processing 1 (TAP1) expression and prognostic analysis in breast, lung, liver, and ovarian cancer. *J Mol Med (Berl),* 2021, Vol. 99, No. 9, pp. 1293–1309. doi: 10.1007/s00109-021-02088-w.
46. Fritz J. M., Lenardo M. J. Development of immune checkpoint therapy for cancer. *J Exp Med,* 2019, Vol. 216, pp. 1244–1254. doi: 10.1084/jem.20182395.
47. Han Z. W., Lyv Z. W., Cui B., et al. The old CEACAMs find their new role in tumor immunotherapy. *Invest New Drugs,* 2020, Vol. 38, No. 6, pp. 1888–1898. doi: 10.1007/s10637-020-00955-w.
48. Stroncek D. F., Reddy O., Highfill S., et al. Advances in T-cell immunotherapies. *Hematol Oncol Clin North Am*, 2019, Vol. 33, pp. 825–837. doi: 10.1016/j.hoc.2019.05.006.
49. Yamamoto T. N., Kishton R. J., Restifo N. P. Developing neoantigen – targeted T cell-based treatments for solid tumors. *Nat Med,* 2019, Vol. 25, pp. 1488–1499. doi: 10.1038/s41591-019-0596-y.
50. Yan C., Yang Q., Zhang S., et al. Single-cell imaging of T cell immunotherapy responses in vivo. *J Exp Med*, 2021, Vol. 218, No. 10, pp. e20210314. doi: 10.1084/jem.20210314.
51. June C. H., Sadelain M. Chimeric antigen receptor therapy. *N Engl J Med,* 2018, Vol. 379, No. 1, pp. 64–73. doi: 10.1056/NEJMra1706169.
52. Кабанов М. Ю., Семенцов К. В., Дегтярев Д. Б., Бояринов Д. Ю., Савченков Д. К., Ладоша М. Ю., Яковлева Д. М., Алексеев В. В. Контактная литотрипсия под контролем пероральной холангиоскопии в лечении «трудного» холедохолитиаза у лиц пожилого возраста // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова.* 2020. Т. 15, № 2. С. 179–181 [Kabanov M. Yu., Sementsov K. V., Degtyarev D. B., Boyarinov D. Yu., Savchenkov D. K., Ladosha M. Yu., Yakovleva D. M., Alekseev V. V. Contact lithotripsy under peroral cholangioscopy control in the treatment of “difficult” choledocholithiasis in the elderly. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after. N. I. Pirogov*, 2020, Vol. 15, No. 2, pp. 179–181 (In Russ.)]. doi: 10.25881/BPNMSC.2020.72.74.031.
53. Грибкова И. В., Завьялов А. А. CAR-T-клетки для лечения хронического имфолейкоза // *Клиническая онкогематология.* 2021. Т. 14, № 2. С. 225–230 [Gribkova I. V., Zavyalov A. A. CAR-T cells for the treatment of chronic lymphocytic leukemia. *Clinical oncohematology*, 2021, Vol. 14, No. 2, pp. 225–230 (In Russ.)]. doi: 10.21320/2500-21 39-2021-14-2-225-230.
54. Majzner R. G., Mackall C. L. Clinical lessons learned from the first leg of the CAR T cell journey. *Nat Med*, 2019, Vol. 25, No. 9, pp. 1341–1355. doi: 10.1038/s41591-019-0564-6.
55. Singh A. K., McGuirk J. P. CAR T cells: continuation in a revolution of immunotherapy. *Lancet Oncol,* 2020, Vol. 21, No. 3, pp. el68-el78. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30823-X.
56. Кувшинов А. Ю., Волошин С. В., Кузяева А. А. Современные концепции car-T-клеточной терапии // *Вестник гематологии.* 2019. Т. 15, № 2. С. 4–13 [Kuvshinov A. Yu., Voloshin S. V., Kuzyaeva A. A. Modern concepts of car T cell therapy. *Bulletin of hematology,* 2019, Vol. 15, No. 2, pp. 4–13 (In Russ.)].
57. Sterner R. S., Sterner M. R. CAR-T cell therapy: current limitations and potential strategies, *Blood Cancer J*, 2021, Vol. 611, No. 4, pp. 69. doi: 10.1038/s41408-021-00459-7.
58. Zhu X., Li Q. Mechanisms of CAR T cell exhaustion and current counteraction strategies. *Cancer Cell Biology*, 2022, Vol. 10, No. 10, pp. 1034257. doi: 10.3389/fcell.2022.1034257.
59. Chiossone L., Dumas P. Y., Vienne M., et al. Natural killer cells and other innate lymphoid cells in cancer. *Nat Rev Immunol,* 2018, Vol. 18, No. 11, pp. 671–688. doi: 10.1038/s41577-018-0061-z.
60. Bulaon K. D., Khorattanakulchai N., Rattanapisit K., et al. Antitumor effect of plant-produced anti-CTLA-4 monoclonal antibody in a murine model of colon cancer. *Front Plant Sci*, 2023, Vol. 14, No. 11, pp. 49455. doi: 10.3389/fpls.2023.1149455. eCollection2023.
61. Alsaab H. O., Saus S., Alzhrani R. PD-1 and PD-L1 Checkpoint signaling inhibition for cancer immunotherapy: mechanism, combinations, and clinical outcome. *Front Pharmacol,* 2017, Vol. 8, pp. 561. doi: 10.3389/fphar.2017.00561.
62. Wang J. W., Feng V. F., Liu J. H. CTLA-4 and PD-1 combined blockade therapy for malignant melanoma brain metastases: mechanisms, challenges, and prospects. *Front. Immunol,* 2025, Vol. 16, No. 16, pp. 29879. doi: 10.3389/fimmu.2025.1629879.
63. Finn O. J. The dawn of vaccines for cancer prevention. *Nat Rev Immunol,* 2018, Vol. 18, No. 3, pp. 183–194. doi: 10.1038/nri.2017.140.
64. Sahin U., Tureci O. Personalized vaccines for cancer immuno-therapy. *Science,* 2018, Vol. 359(6382), pp. 1355–1360. doi: 10.1126/science.aar7112.
65. Wculek S. K., Cueto F. J., Mujal A. M., et al. Dendritic cells in cancer immunology and immunotherapy. *Nat Rev Immunol,* 2020, Vol. 20, No. 1, pp. 7–24. doi: 10.1038/s41577-019-0210-z.
66. Горяев А. А., Савкина М. В., Обухов Ю. И. и др. ДНК- и РНК-вакцины: современное состояние, требования к качеству и специфические аспекты доклинических исследований // *Биопрепараты, Профилактика, Диагностика, Лечение.* 2019. Т. 19, № 2. С. 72–80 [Goryaev A. A., Savkina M. V., Obukhov Yu. I., et al. DNA and RNA vaccines: current status, quality requirements and specific aspects of preclinical studies. *Biopreparations, Prevention, Diagnosis, Treatment*, 2019, Vol. 19, No. 2, pp. 72–80 (In Russ.)]. doi: 10.30895/2221-996X-2019-19-2-72-80.
67. Vormehr M., Tureci O., Sahin U. Harnessing tumor mutations for truly individualized cancer vaccines. *Annu Rev Med,* 2019, Vol. 70, pp. 395–407. doi: 10.1146/annurev-med-042617-101816.
68. Хмара М. Е., Жукова Т. В., Гудков В. Г. Молекулярные аспекты вирусиндуцированного канцерогенеза и терапии новообразований // *Медицинские новости.* 2015. № 12. С. 14–17 [Khmara M. E., Zhukova T. V., Gudkov V. G. Molecular aspects of virus-induced carcinogenesis and neoplasm therapy. *Meditsinskie novosti,* 2015, No. 12, pp. 14–17 (In Russ.)].
69. Fu Y., Tang R., Zhao X. Engineering cytokines for cancer immunotherapy: a systematic review. *Front Immunol*, 2023, Vol. 14, No. 12, pp. 18082. doi: 10.3389/fimmu.2023.1218082.

70. Kong W. Y., Soderholm A., Brooks A. J., et al. Harnessing cytokine immunocomplexes and cytokine fusion proteins for cancer Therapy: Mechanisms and clinical potential. *Cancer Treat Rev,* 2025, Vol. 136, pp. 102937. doi: 10.1016/j.ctrv.2025.102937.
71. Safaei S., Yari A., Pourbagherian O., et al. The role of cytokines in shaping the future of Cancer immunotherapy. *Cytokine,* 2025, Vol. 189, pp. 156888. doi: 10.1016/j.cyto.2025.156888.
72. Smestad J., Rieth J., Laux D., et al. The evolution, current landscape, and future prospects of oncolytic virotherapy in melanoma: talimogene laherparepvec and beyond. *Cells,* 2025, Vol. 14, pp. 1620. doi: 10.3390/cells14201620.
73. Bommareddy P. K., Shettigar M., Kaufman H. L. Integrating oncolytic viruses in combination cancer immunotherapy. *Nat Rev Immunol*, 2018, Vol. 18, No. 8, pp. 498–513. doi: 10.1038/s41577-018-0014-6.
74. Лелявин К. Б., Дворниченко В. В. Внутрипузырная иммунотерапия вакциной БЦЖ в комплексном лечении немышечно-скелетного инвазивного рака мочевого пузыря // *Сибирский медицинский журнал*. 2010. № 4. С. 5–8 [Lelyavin K. B., Dvornichenko V. V. Intravesical immunotherapy with BCG vaccine in complex treatment non-musculoskeletal invasive bladder. *Cancer Siberian Medical Journal*, 2010, No. 4, pp. 5–8 (In Russ.)].
75. Mayer K., Antin D. The graft versus leukemia effect: donor lymphocyte infusions and cellular therapy. *Front. Immunol,* 2024, Vol. 5, No. 15, pp. 1328858. doi: 10.3389/fimmu.2024.1328858.
76. Roy D., Gilmour C., Patnaik S., et al. Combinatorial blockade for cancer immunotherapy: targeting emerging immune checkpoint receptors. *Front. Immunol,* 2023, Vol. 4, No. 14, pp. 1264327. doi: 10.3389/fimmu.2023.1264327.
77. McDougal L. M., Baker F. L., Gustafson M. P., et al. Exercise-mobilized donor lymphocyte infusions enhanced with cytokine stimulation for the prevention and treatment of leukemic relapse after allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Front Immunol,* 2025, Vol. 16, p. 1563972. doi: 10.3389/fimmu.2025.1563972.
78. Wang Y., Shi H., Hu J. Targeting the PD-1/PD-L1 cancer immune evasion axis: challenges and emerging strategies. *Front in Pharmacol,* 2020, Vol. 11, No. 59, pp. 1188. doi: 10.3389/fphar.2020.591188.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL ARTICLES

УДК 613.693

HYPOBARIC CHAMBER: PAST, PRESENT, PROSPECTS

[1]Igor G. Mosyagin, [1] Mikhail N. Pulyaev, [2]Fyodor M. Ivashinenko*
[1]The Main Command of the Navy, Saint Petersburg, Russia
[2] Naval Aviation Combat Use and Retraining Center, Yeysk, Russia

OBJECTIVE. To conduct a comprehensive analysis of the evolution and current state of hypobaric chambers as a tool for psychophysiological training of aviation personnel of the naval aviation of the Russian Navy (Navy), and to determine the prospects for their use in the Armed Forces.
MATERIALS AND METHODS. The study was conducted using a retrospective analysis and descriptive analytical methods. It examined data on the development of pressure chamber technologies, modern methods for using low-pressure pressure chambers, the technical characteristics of the Edelweiss hypobaric pressure chamber module (HPM), and the results of its practical application.
RESULTS. It has been established that hyperbaric chamber technologies have evolved from the first experiments in the 17th century to the modern high-tech HPM Edelweiss complex. From 2015 to 2017, an innovative hyperbaric complex was created and installed at the Yeisk Naval Aviation Center. The complex includes the SVBK-30 hyperbaric chamber for high-altitude (up to 30,000 m) research and the TD-1 breathing simulator for interval hypoxic training. Over 700 tests have been completed, and paratrooper training programs have been implemented.
DISCUSSION. The obtained results confirm the effectiveness of using low-pressure chambers in the psychophysiological training of aviation personnel and for conducting medical flight examinations. The Edelweiss HPM complex has unique characteristics and technical potential for further improvement: the introduction of digital technologies, integration into the medical monitoring system, and expanded diagnostic capabilities. The HPM can be used to develop new psychophysiological training methods and non-drug treatments for certain chronic diseases.
CONCLUSION. Hypobaric chambers have come a long way, from observing the effects of high altitude on humans to the rapid development of high-altitude chambers with unprecedented physiological research. Modern high-altitude chambers are high-tech systems with automated control systems that have become a key tool for ensuring the professional longevity of flight crews. Future developments are linked to improved technical specifications and expanded medical monitoring capabilities, as well as the emergence of new possibilities for hypobaric treatments for certain diseases.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, hypobaric chamber, psychophysiological training, pressure drop chamber, altitude testing, altitude, medical monitoring, hypobarotherapy

***For correspondence:** *Mikhail N. Pulyaev, e-mail: pulyaevm@yandex.ru*
***Для корреспонденции:** *Пуляев Михаил Николаевич, e-mail: pulyaevm@yandex.ru*

For citation: Mosyagin I. G., Pulyaev M. N., Ivashinenko F. M. Hypobaric chamber: past, present, prospects // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 25–37, EDN: https://elibrary.ru/ECWNVE
Для цитирования: Мосягин И. Г, Пуляев М. Н., Ивашиненко Ф. М. Гипобарические барокамеры: прошлое, настоящее, перспективы // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 25–37, EDN: https://elibrary.ru/ECWNVE

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицезией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

ГИПОБАРИЧЕСКИЕ БАРОКАМЕРЫ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ

[1]И. Г. Мосягин, [1]М. Н. Пуляев, [2]Ф. М. Ивашиненко*
[1]Главное командование Военно-Морского Флота, Санкт-Петербург, Россия
[2]Центр боевого применения и переучивания летного состава морской авиации Военно-Морского Флота, г. Ейск, Россия

ЦЕЛЬ. Провести комплексный анализ эволюции и современного состояния гипобарических барокамер как инструмента психофизиологической подготовки авиационного персонала морской авиации Военно-Морского Флота Российской Федерации (ВМФ), определить перспективы их применения в Вооруженных Силах.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование выполнено на основе ретроспективного анализа с применением описательно-аналитических методов. Проанализированы данные развития барокамерных технологий, современные методики применения барокамер пониженного давления, технические характеристики гипобарического барокамерного модуля (МГБ) «Эдельвейс» и результаты его практического применения.
РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что барокамерные технологии прошли эволюцию от первых опытов в XVII в. до современного высокотехнологичного комплекса МГБ «Эдельвейс». В 2015–2017 гг. создан инновационный барокомплекс, установленный в Ейском центре морской авиации ВМФ. Комплекс включает барокамеру «СВБК-30» для проведения высотных (до 30 000 м) исследований и дыхательный тренажер «ТД-1» для интервальных гипоксических тренировок. За период эксплуатации выполнено более 700 испытаний, реализованы программы подготовки десантников.
ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные результаты подтверждают эффективность применения барокамер пониженного давления в системе психофизиологической подготовки авиационного персонала и в целях проведения врачебно-летной экспертизы. Комплекс МГБ «Эдельвейс» обладает уникальными характеристиками и имеет технический потенциал для дальнейшего совершенствования: внедрение цифровых технологий, интеграция в систему медицинского контроля, расширение диагностических возможностей. На МГБ возможно разрабатывать новые методики психофизиологической подготовки и немедикаментозные способы коррекции в системе лечения некоторых хронических заболеваний.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Гипобарические барокамеры прошли долгий путь от наблюдения эффектов влияния высокогорья на человека через бурное развитие высотных барокамер с беспрецедентными физиологическими исследованиями. Современные высотные барокамеры представляют собой высокотехнологичные комплексы с автоматизированными системами управления, ставшие ключевым инструментом обеспечения профессионального долголетия летного состава. Перспективы развития связаны с совершенствованием технических характеристик и расширением возможностей медицинского контроля, а также появлением новых возможностей для гипобарических методов лечения некоторых заболеваний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, гипобарическая барокамера, психофизиологическая подготовка, камера перепада, высотные испытания, высота, медицинский контроль, гипобаротерапия

Introduction. Aviation and space medicine is a specialized field of medical science focused on studying the functioning of the human body under the influence of flight and space factors. Priority objectives in this field include ensuring flight safety, improving the professional reliability of aviation personnel, maintaining occupational health and extending active flight longevity [1].

The development of modern aviation technology is accompanied by increasingly complex aircraft designs, a wider range of operating altitudes and speeds, and an increase in the intensity of flight operations. Under these conditions, a pilot's professional activities are characterized by high responsibility, significant psycho-emotional stress, and the need to make decisions under time pressure, including in emergency and non-standard situations.

Aviation personnel are significantly affected by a range of adverse flight factors, including low barometric pressure, varying degrees of hypoxia, sudden pressure changes, G-forces, noise, vibration, and adverse microclimatic conditions. The combined effects of these factors create extreme professional conditions that require a high level of functional resilience and developed adaptive mechanisms [2, 3].

The flight medical support system focuses on professional selection, medical flight assessment, psychophysiological training, dynamic medical monitoring, recovery, and rehabilitation of flight personnel. Hypobaric chambers are among the most informative and versatile technical means for implementing these measures [4].

Hypobaric chambers allow to simulate factors of rarefied atmosphere, typical to high-altitude flights under controlled ground conditions. During chamber studies, various profiles of changes in barometric and partial oxygen pressure are reproduced, enabling detailed study of

cardiovascular, respiratory, and central nervous system responses [5].

Hyperbaric chamber studies are used to assess individual adaptive reserves, identify tolerance to hypoxia and pressure fluctuations, and predict the stability of professionally significant functions. The data obtained serve as the basis for medical and expert decision-making in flight medical examination.

An important application of hypobaric chambers is flight crews' psychophysiological training. Training develops skills for early recognition of oxygen deficiency, practices algorithms of actions for dealing with cabin leaks, and improves the resilience of professionally important functions in oxygen-deficient conditions.

Objective. To analyze the development and current state of hypobaric chambers as a key element of psychophysiological training of aviation personnel of the naval aviation of the Russian Navy (Navy) and to determine the prospects for their use in the Armed Forces.

Materials and methods. The study was descriptive, analytical, and retrospective in nature. The research material included historical data on the development of pressure chamber technologies, modern methods of using hyperbaric chambers of low-pressure, an assessment of the technical characteristics of the Edelweiss hypobaric pressure chamber module (HPM), and practical results of its use.

Results. The historical background for the development of pressure chamber technology dates back to the 17th century. In 1660–1662, the English physicist and chemist Robert Boyle first described the effect of air on living organisms in his book, "New Physical and Mechanical Experiments Concerning the Elasticity of Air, and Their Results." At the same time, in 1662, the British priest and physician Nathaniel Henshaw first decided to use altered atmospheric pressure as a treatment: for this purpose, he used a system of siphons with one-way valves to change the atmospheric pressure in a sealed wooden chamber. This fact is the first documented evidence of the use of pressure chambers. In the 18th–19th centuries, the development of pressure chambers was primarily clinical in nature. French researchers made a significant contribution to the development of this field, developing stationary pressure chambers for the treatment of respiratory diseases and surgical interventions. In 1834, the French physician Junod described the positive effects of high-pressure oxygen on humans and built a therapeutic pressure chamber based on the design of James Watt, the inventor of the steam engine. It consisted of a copper sphere 1.5 m in diameter, the air pressure in which could be increased to 4 atm. In 1837, Charles-Gabriel Pravaz built the largest pressure chamber in Lyon, France. It could accommodate 12 patients for the treatment of lung diseases, as well as other ailments. In 1877, the French surgeon Fontaine designed and built the first mobile pressure operating room, in which Jules-Emile Peanc successfully performed 27 hernia repairs. All pressure chambers created were used, as a rule, for therapeutic purposes [6].

A qualitatively new stage in the development of pressure chamber research was associated with the emergence of aeronautics and aviation. It was the emergence and rapid development of aeronautics that determined the need for high-altitude research into the physiology of the human body in conditions of virtually rarefied atmospheres. This research was undertaken by the outstanding scientist Paul Bert. In 1868, he constructed the first hypobaric pressure chamber (Fig. 1), in which he conducted experiments not only on animals but also on humans. His pressure chamber research was experimental in nature. For example, Bert thoroughly described the effects of reduced pressure on the body, as experienced by aeronauts during balloon flights. He devoted great persistence and energy to studying effects of reduced and increased barometric pressure on various animal species. He summarized the results of his work in his book "Barometric Pressure" (1878). P. Behr's fundamental work made it possible to study the effects of reduced atmospheric pressure on the human and animal body. His work laid the foundations of high-altitude physiology and had a significant influence on the development of aviation medicine. The impetus for the creation and construction of new hypobaric chambers was the growing interest in the physiology of high-altitude flights, associated with the development of aeronautics and the emergence of the first piston aircraft.

In 19th-century Russia, balloon flights were a rarity, although as early as 1804, on assignment from the St. Petersburg Academy of Sciences, Academician Ya. D. Zakharov ascended in a hot air balloon to study effects of rarefied atmosphere on aeronauts. In 1878, in France, the scientist and

encyclopedist D. I. Mendeleev reached an altitude of 3,000 meters in a "Russkiy" hot air balloon. The history of Russian aviation is traditionally dated from the early 20th century, which also marked the beginning of research in high-altitude physiology. A profound study of the impact of environmental factors on humans was facilitated primarily by the enormous interest in aeronautics in the USSR in the 1930s, sparked by Auguste Piccard's stratospheric balloon flights, as well as by the new generation of aircraft that replaced airplanes. However, class consciousness and good physical fitness were not enough to fly.

In 1936, research into the physiology of extreme conditions was conducted at the Leningrad Military Medical Academy under the direction of L. A. Orbeli. There, in the Physiology Department, L. A. Orbeli and M. P. Brestkin created a special pressure laboratory, which allowed for unique studies to be conducted on effects of a number of extreme factors on the body: high and low air pressure, hypoxia and hyperoxia, hypocapnia and hypercapnia, increased nitrogen pressure, high temperatures, and intense muscle activity. The results of the work conducted in the late 19th century The work of the luminaries of Russian physiology I. M. Sechenov, D. I. Mendeleev, and I. P. Pavlov, as well as the subsequent research of L. A. Orbeli, M. P. Brestkin, P. I. Egorov, and A. A. Sergeev in the pressure laboratory, laid the physiological foundations for subsequent advances in aviation, high-speed flight, high-altitude flight, pilot and diver safety, and space physiology and medicine. This led to the development of scientific principles for medical support in aviation and, subsequently, space medicine [6, 7].

Meanwhile, constantly improving and complexifying aviation technology, expansion of its application scope in various, sometimes extreme, conditions, increasing complexity and responsibility of its management, in addition to early determination of suitability for mastering the profession of a pilot, required the assessment and prediction of pilot's behavior stability under the influence of extreme flight factors. In addition to health itself, aviation medicine specialists were forced to pay attention to the study of the pilot's ability to maintain sensory, motor and mental skills under any complication of the flight; the stability and ability to quickly switch attention; type of thinking, the pace of thought processes, the ability to quickly assess the surrounding sit-

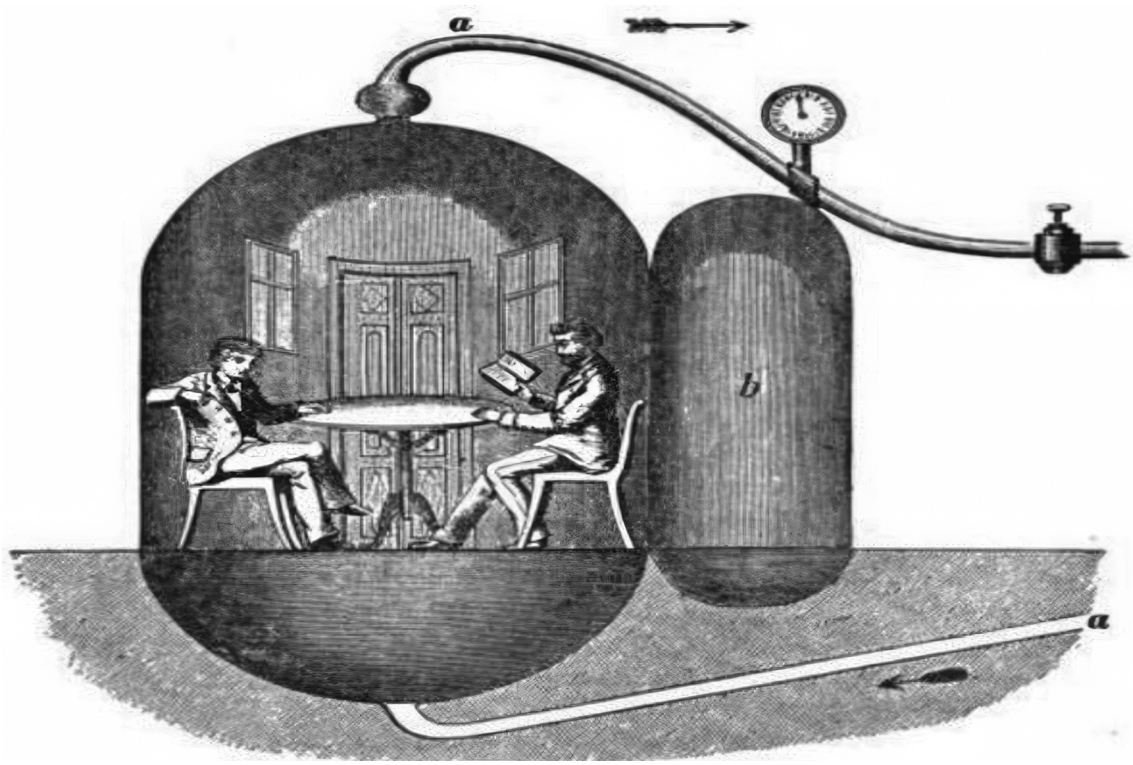


Fig. 1. Paul Bert pressure chamber
Рис. 1. Барокамера Поля Бера

uation and respond to it with correct and precise actions both in normal flight conditions and under the influence of extreme factors [8]. This necessitated the introduction of pressure chambers into the practice of aviation medicine.

Over time, the possibility and feasibility of using low-pressure chambers directly in flight units was substantiated both for conducting special training of flight personnel as part of psychophysiological preparation for high-altitude flights (developing resistance to changes in barometric pressure, low oxygen content, identifying a predisposition to high-altitude decompression illnesses), and for solving problems of ensuring the preservation, restoration and maintenance of physical and mental health, performance and prolongation of professional longevity of flight personnel.

The first domestic hypobaric chambers that were mass-produced were the SBK-48 chamber and its improved model, the SBK-48M (Fig. 2).

Both pressure chambers were stationary, rectangular in shape, and consisted of two compartments: the main compartment with a volume of 7 m³, which could accommodate four people, and an airlock with a volume of 3 m³. They had minor design differences, primarily related to the placement of pipelines and instrumentation. Despite their simple design, the pressure chambers were quite effective in conducting medical research and high-altitude training for flight crews, which explains their demand and mass production [6].

Along with the stationary version, mobile (transportable) versions of the SBK pressure chambers were also developed, designated PBK-50 and PBK-53. The pressure chambers and the necessary equipment were mounted on vehicle chassis (in bodies and trailers), and the equipment was powered by the vehicle's standard generator, driven by the gearbox.

A milestone in the development of domestic low-pressure chambers in the early 1980s was the development, creation, and commissioning of the PBK-70 chamber. This chamber made it possible to simulate ascents to an altitude of 30,000 m and, for the first time, the depressurization of an aircraft cabin (Fig. 3).

The pressure chamber was cylindrical and structurally comprised two sections: the main section with a volume of 7.5 m³, accommodating four people, and a "depressurization" chamber (pressure drop chamber) with a volume of 1.8 m³, accommodating one test subject. The main section of the pressure chamber was used to test the flight crew's tolerance to low oxygen levels in the environment (hypoxia) and identify their predisposition to high-altitude decompression illnesses. The "depressurization chamber" was used to demonstrate and evaluate the protective properties of the oxygen supply and protective gear, and to test the flight crew's psychophysiological preparedness (training) for the effects of an explosive depressurization of the aircraft cabin.

Based on the results of the operation of the PBC-70, its improved, but slightly different in design, models of transportable pressure chambers TBK-73 and TBK-78 appeared.

If mobile models of low-pressure hyperbaric chambers were an analogue and subsequent improvement of the stationary pressure chamber SBK-48, then the stationary pressure chamber SBK-80, developed in 1980, which incorporated all the positive experience of operating mobile pressure chambers, became a kind of result of the development of Russian pressure chambers (Fig. 4).

Structurally, the SBK-80 was a stationary version of the PBK-70 pressure chamber, but was already equipped with a standard medical monitoring system, including operational monitoring. The pressure chamber made it possible to conduct a range of measures to determine professional suitability for flight, ensure pilots were trained to have stable performance under extreme con-

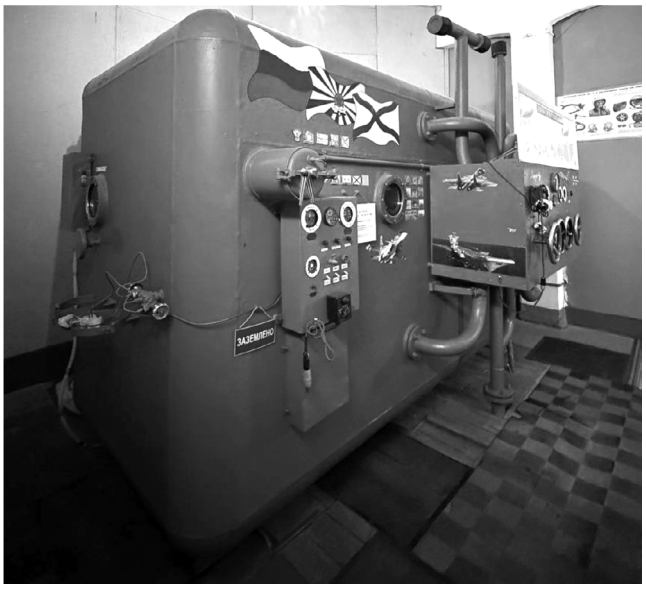


Fig. 2. Stationary pressure chamber SBK-48
Рис. 2. Стационарная барокамера СБК-48



Fig. 3. PBK-70 mobile pressure chamber based on a trailer
Рис. 3. Подвижная барокамера ПБК-70 на базе автоприцепа

ditions of high-altitude flights, maintain physical and mental health, professional performance, and extend the professional longevity of flight crews.

The rapid development of jet and supersonic aircraft required new psychophysiological criteria for pilot assessment and medical examination to determine suitability for operating modern high-speed aircraft; new assessments of flight crews' psychophysiological abilities to master high-speed flight and the body's ability to withstand G-forces. Meanwhile, technically and morally obsolete pressure chambers no longer fully met the newly established requirements of aviation medicine specialists for psychophysiological studies during high-altitude training.

Unfortunately, the reforms carried out in the country in the 1990s failed to spur the development of domestic low-pressure chambers. Moreover, a review of flight medical support principles and attempts to restructure it along Western lines led to the introduction of a simplified understanding of the medical support system, the formation of a view that testing pilots' resistance to moderate hypoxia in aviation units was sufficient, and the need to concentrate technical equipment simulating modern flight conditions exclusively in specialized medical and research institutions. As a result, the design and production of new low-pressure chambers was completely discontinued. To maintain the chambers' operability, a decision was made to exclusively perform maintenance beyond their established service life and partially replace medical monitoring equipment with more modern ones [9].

The obsolescence of SBK-80, along with the reduced funding for design work on the creation of similar technical equipment, the cessation of their production by domestic industrial enterprises and a partial transition to the purchase of samples offered by foreign companies, have revealed the existing significant problems in the implementation of pressure chamber lifts.

Today, pressure chambers are among the few ground-based rigs that can accurately simulate many factors associated with high-altitude flight [10]. Faced with the particular urgency of pressure chamber studies of flight personnel (among many other issues related to flight medical support), in 2014 the Navy's General Command's medical service developed a concept for the development of a medical support system for naval aviation navy. This concept detailed the problematic aspects of medical support and proposed specific measures for their resolution. Recognizing that the service life of pressure chambers produced in the 1980s is limited, we decided to revive the development and serial production of domestic hypobaric pressure chambers that would correspond to the current level of development in aviation and medical technology, with room for further improvement. In order to implement the concept, in 2015, specialists from the medical service of the General Command and naval aviation of the Navy, together with scientists from the Research and Testing Center for Aerospace Medicine and Military Ergonomics of the Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation (RTC (AM and ME) Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian

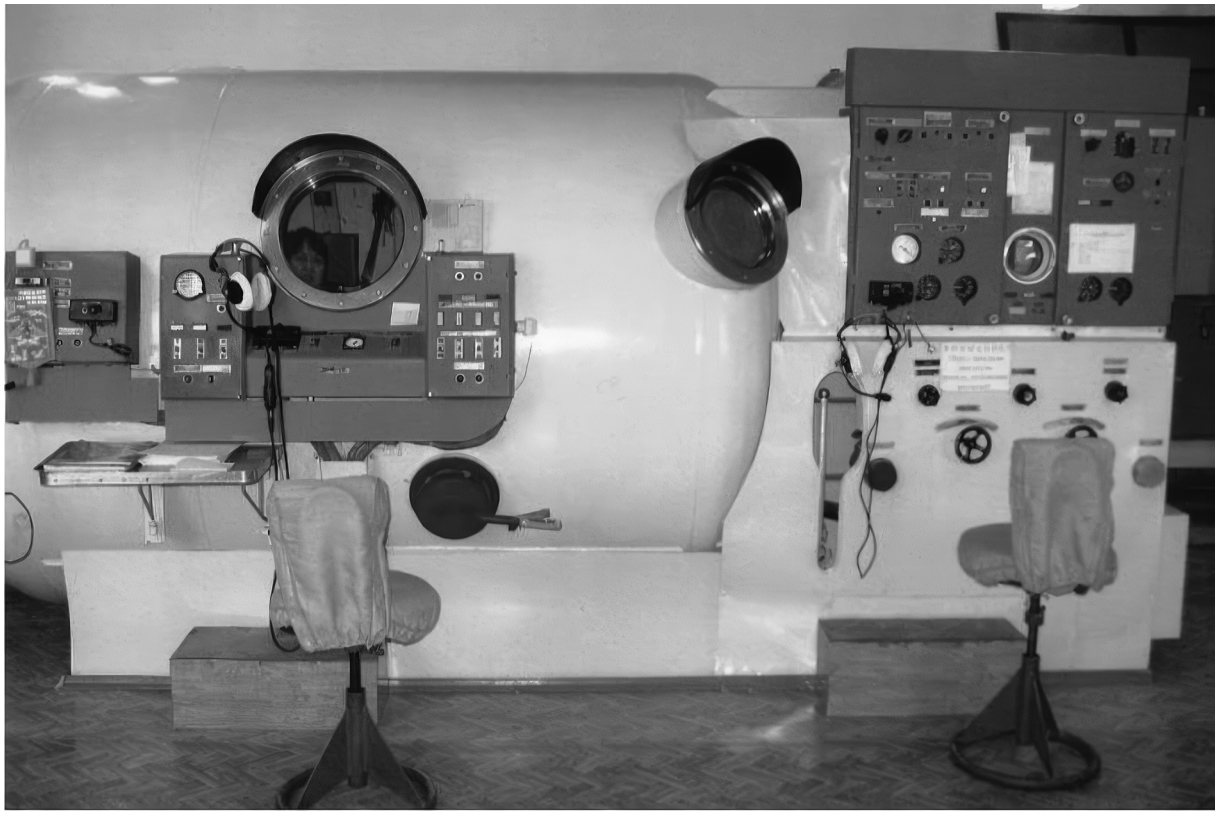


Fig. 4. Stationary pressure chamber SBK-80
Рис. 4. Стационарная барокамера СБК-80

Federation) developed the technical assignment "Additional equipping of aviation medicine laboratories of the aviation units of the naval aviation of the Navy with transportable hypobaric chamber modules in container design (MHB "Edelweiss") with objective medical and technical control systems and their commissioning" [9].

The Special Design Bureau of Experimental Equipment at the Institute of Medical Problems of the Russian Academy of Sciences, in collaboration with the Navy Medical Service, designed and manufactured the Edelweiss low-pressure chamber, which has no analogues in the world. The complex was produced with the participation of more than 20 domestic enterprises, including large corporations: SPE Cryogenmash (Balashikha), SPE Prima (Nizhny Novgorod), UIDB (Ulyanovsk), Medical Systems LLC (Rostov-on-Don), SPE Respirator JSC (Orekhovo-Zuyevo), and SP Avtomatika (Dolgoprudny). In manufacturing MHB, practical experience in operating previously manufactured low-pressure chambers was taken into account, ready-made (certified) solutions were used, and the issue of import substitution was completely resolved (Fig. 5).

The complex is designed for ground-based training of flight personnel for flight operations and medical monitoring of flight personnel as one of the factors in ensuring the safety of naval aviation flights of the Navy, including:

- training and testing of flight personnel at altitudes up to 30,000 m for the purpose of medical flight examination and psychophysiological preparation for flights on aircraft in order to increase resistance to high-altitude flight factors and the ability to safely operate an aircraft, use weapons in case of emergency, and coordinate actions in the event of operational damage both at operating and at maximum flight altitudes;
- identifying individual tolerance to various degrees of oxygen starvation, latent forms of diseases accompanied by a decrease in the body's resistance to high-altitude flight factors;
- training and testing of flight personnel skills in using oxygen equipment;
- determining the tolerance of high degrees of atmospheric rarefaction in flight personnel after injuries, illnesses that can reduce the body's resistance to hypoxia, and long breaks in flights; the tolerance of changes in barometric pressure

in flight personnel after illnesses that can impair the barofunction of the ear and paranasal sinuses.

MHB pressure chamber (Fig. 6) is designed for:

- conducting group expert high-altitude studies at altitudes of up to 12,000 m and individual psychophysiological training for stratospheric flights up to an altitude of 13,500 m in the "main" compartment with the placement of up to 4 people;

- studies of the tolerance of high degrees of atmospheric rarefaction using high-altitude equipment at altitudes from 12,000 to 30,000 m in a "drop compartment" with the placement of one person.

In addition to the pressure chamber, MHB includes the TD-1 breathing simulator (Fig. 7), which is a hardware and software complex designed for comparative analysis and monitoring of the functional state of the body, conducting interval breathing training to develop adaptive abilities, as well as for inhalation of artificial heated mixtures of oxygen and inert gases for the purpose of accelerated recovery after exposure to physical and psycho-emotional stress [11].

TD-1 allows to:

- conduct interval breathing training aimed at developing the adaptive capabilities of the human body as a factor in active adaptation to various types of hypoxia, contributing to increased resistance to extreme hypoxic, physical and psycho-emotional influences;

- assess the functional state of the body in order to warn about the presence of potentially dangerous health conditions, as well as to identify trends in changes in functional indicators for the correction of methods and programs of breathing and physical training, pressure chamber tests;

- increase the body's general non-specific resistance to the effects of extreme physical and psycho-emotional stress, including pressure chamber tests, and effective forced recovery after their effects.

The fundamental basis of the breathing simulator operation is the technology of non-drug effects of artificial breathing gas mixtures of oxygen with inert gases: oxygen-helium (OH), oxygen-argon-helium (OArH).

The uniqueness of the new pressure chamber complex, both as a whole and its main components, is worth noting. Firstly, most of the high-altitude pressure chambers currently in use were manufactured over 40 years ago. The creation of MHB can be considered a significant event, as it has restored the design and production technology for technically complex hypobaric pressure chambers. Secondly, a production base has been created and sustainable cooperation has been established between manufacturers for the production of the unique components and assemblies that comprise the pressure chamber complex.

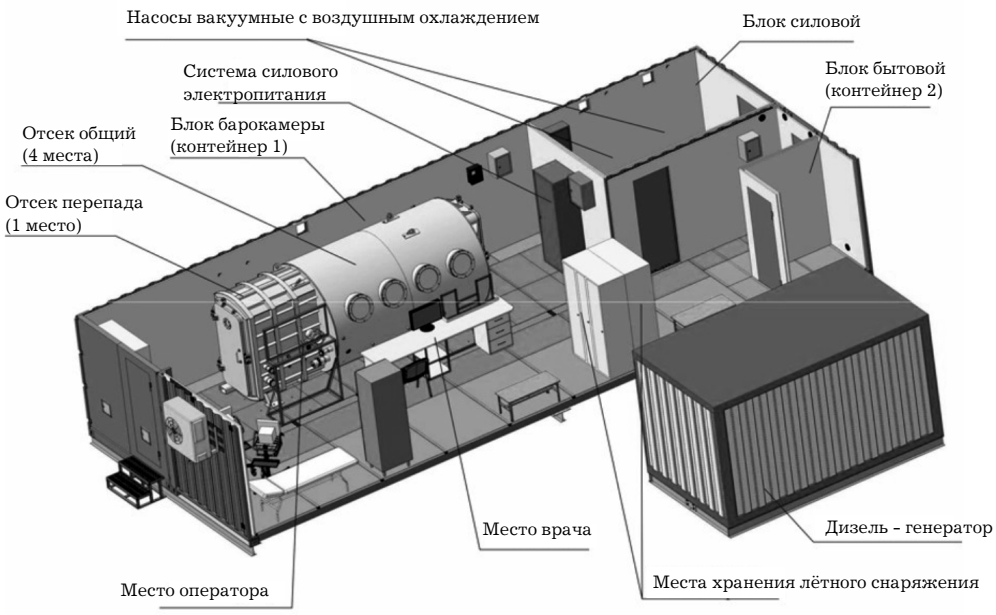


Fig. 5. The scheme of MHB «Edelweiss»
Рис. 5. Схема МГБ «Эдельвейс»



Fig. 6. Pressure chamber SVBK-30
Рис. 6. Барокамера СВБК-30



Fig. 7. Breathing simulator TD-1
Рис. 7. Дыхательный тренажер ТД-1

SVBK-30 hyperbaric chamber, part of MHB, is unparalleled in its technical solutions and equipment: high-performance vacuum pumps with low noise and vibration levels, updated ergonomics for test subjects' workstations, the ability to use standard pilot oxygen and protective gear for different types of aircraft, automation and redundancy of the chamber's control and monitoring systems, and objective technical and medical monitoring systems with the ability to store and subsequently analyze the necessary data. For the first time in the naval aviation medical service, the TD-1 breathing simulator has been included in MHB.

The first module was put into operation in November 2017 at the Center for Combat Employment and Retraining of Naval Aviation Flight Personnel in Yeysk.

Following the commissioning of the module, the main advantages of the new barocomplex were highlighted:

- conducting interval breathing training aimed at developing the adaptive capabilities of the human body;
- simultaneous monitoring and recording in real time for each subject of heart rate, ECG, oxygen saturation, blood pressure, respiratory rate, body temperature;
- modular design based on standard sea containers, providing a certain mobility and freedom of placement, regardless of the terrain and the availability of special premises;
- recording necessary indicators of the body's condition in real time and the possibility of their subsequent processing;
- new prospects for scientific activity.

Since the Edelweiss MHB's commissioning, more than 700 tests have been conducted on the complex to test its tolerance to moderate hypoxia and barometric pressure fluctuations. The researchers used standard methods for altitudes up to 5,000 and 6,000 meters. In addition to flight

personnel, other military specialists also underwent psychophysiological training at the new decompression complex (Fig. 8).

In April 2020, for the first time in world history, there was a group airdrop of personnel using special-purpose parachute systems in Arctic conditions from an altitude of 10,000 meters, using oxygen equipment, followed by combat training missions. This had never been done before. Without prior specialized training, such jumps would have been impossible. It was at the Yeysk hyperbaric complex that the paratroopers underwent psychophysiological training, including altitude chamber ascents to test their tolerance to high-altitude hypoxia (up to 6,000 meters) and severe atmospheric rarefaction (up to 10,000 meters). It is worth noting that of 185 paratroopers scheduled for training, six specialists demonstrated reduced tolerance to moderate hypoxia, and 15 were not cleared for testing for medical reasons. A total of 154 personnel completed training in full. Thus, the measures taken to prepare military specialists for psychophysiology made it possible to carry out parachuting from high altitudes without harm to health and to maintain their combat readiness.

Regarding the chosen containerized design of the decompression system (Fig. 9), several details need to be clarified. At first glance, it might seem that the containerized design of the system is intended to ensure its mobility. This is only partially true. While the decompression system can indeed be moved from one site to another if necessary, this is often impractical. The main advantage of the containerized design of the decompression system in terms of mobility is its significant simplification of delivery from the manufacturer to the customer, as well as rapid installation and setup of the equipment at the destination.

The decision to use a container-based design was made considering the availability and condition of the barracks. The condition of the existing permanent buildings does not allow the full deployment of the barracks complex without major renovations or reconstruction. Furthermore, the construction of new buildings requires additional funding and the resolution of other related issues. The ability to locate the complex in an open area in any climate zone eliminates the need for additional new construction or major renovations of existing buildings.

Work is currently underway to commission the Complex and launch it into serial production. In accordance with the 2024 updated concept for the development of medical support for naval aviation and the exclusion of aviation medicine laboratories from the fleets in favor of the "300 LAM," we have decided to equip naval clinical hospitals (NCHs) with new decompression systems. By the end of 2026, the new system will be delivered to the Pacific Fleet, and subsequently, as production progresses, the remaining fleets will be equipped. This will address the problematic issue of psychophysiological preparation (pressure chamber studies and training) for high-altitude flights and medical examinations of flight personnel for the purpose of medical flight examination in the Navy, as well as implement certain provisions of the concept for the development of medical support for naval aviation units.

In addition to equipping NCHs with new hyperbaric systems, we also see prospects for developing hypobaric therapy for various diseases. The hospital's multidisciplinary clinical facilities and the addition of a modern medical monitoring system to the hyperbaric chamber will enable the implementation of hypobaric therapy methods not only to preserve the professional health of flight personnel but also for the treatment process.

Hypobarotherapy is a physiotherapy treatment method that exposes patients to reduced atmospheric pressure. Unlike the more common hyperbaric oxygen therapy, this method simulates high-altitude conditions. As early as the 18th and 19th centuries, doctors noted that high-altitude residents suffered less frequently from certain ailments, and that spending time in the mountains helped with consumption (pulmonary tuberculosis). The main effects of this treatment method are well known: it increases red blood cell and hemoglobin levels, activates blood flow in tissues and organs, normalizes metabolism and hormonal balance, and reduces swelling and inflammation. Hypobarotherapy is often used for rehabilitation and disease prevention, as well as in training of athletes and certain specialists.

Hypobaric therapy methods have not gained widespread acceptance in aviation medicine for several reasons. The draft "Guidelines for Medical Support of State Aviation Flights (RMOP-200)" proposed, among numerous appendices, hypobaric and normobaric interval hypoxic therapy techniques. However, these techniques were not included in the final document "Federal Aviation Rules

for Medical Support of State Aviation Flights," enacted by Order No. 265 of the Minister of Defense of the Russian Federation dated April 2009.

Meanwhile, the development of hypobaric therapy in aviation medicine has not stopped. Specialists at the Kirov Military Medical Academy have done extensive work studying the impact of hypobaric treatment methods on maintaining the professional health of flight personnel with various chronic diseases, and have developed and tested various hypobaric treatment regimens and methods.

Clearly, there are new prospects for using low-pressure chambers in the Navy. Equipping the Naval Medical Group with Edelweiss-type hyperbaric systems will open up the possibility of their therapeutic and prophylactic use, not only to preserve the longevity of aviation specialists, but also to treat certain chronic illnesses in other categories of Navy personnel.

Discussion. The obtained results confirm the efficacy of using low-pressure chambers in the psy-



Fig. 8. Psychophysiological preparation before high-altitude landing in the Arctic
Рис. 8. Психофизиологическая подготовка перед высотным десантированием в Арктике



Fig. 9. Container version of the MHB «Edelweiss»
Рис. 9. Вариант контейнерного исполнения МГБ «Эдельвейс»

chophysiological training of aviation personnel and for conducting medical flight examinations. In today's environment, high-pressure chamber testing and research will continue to be a key element of aviation and space medicine. Without them, it will be impossible to fully address the diagnostic, training, rehabilitation, and scientific support needs of aviation personnel. The Edelweiss MHB complex possesses unique characteristics and has the technical potential for further improvement: the introduction of digital technologies, integration into the medical monitoring system, and expansion of diagnostic capabilities. MHB can be used to develop new psychophysiological training methods using the TD-1 breathing simulator and non-drug correction methods for treating certain chronic diseases at naval clinical hospitals.

Conclusion. As an analysis of historical and scientific documents shows, the use of low-pressure chambers has come a long way: from long-term observations of the effects of high-altitude conditions on humans in the 18th and 19th centuries, through the rapid development of high-altitude chambers and unprecedented physiological research in the interests of aviation medicine, to the cessation of the development of new low-pressure chambers, with only the previously achieved level of this field being maintained. The creation of a modern hyperbaric complex like the MHB "Edelweiss" with the SVBK-30 hyperbaric chamber and the TD-1 breathing simulator opens a new chapter in the history of hypobaric hypoxic training and research for the psychophysiological preparation of aviation specialists.

Today, a hypobaric chamber is a high-tech medical complex equipped with automated control systems, objective medical monitoring, and real-time recording of physiological parameters. Their use allows not only to train and examine flight personnel, but also to conduct comprehensive scientific research.

Prospects for further development of hypobaric chambers are associated with the introduction of digital technologies, expansion of diagnostic capabilities, development of non-drug methods for correcting functional status and integration of pressure chamber complexes into a unified system of medical monitoring of aviation and space activities.

Thus, hypobaric chambers are one of the key elements of the aviation and space medicine system, providing solutions to the problems of diagnostics, training, rehabilitation and scientific support of the professional activities of aviation personnel.

Information about the authors

Igor G. Mosyagin – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Military Medical Directorate, Main Command of the Navy of the Russian Federation; Russia, 191055, Saint Petersburg, Admiralteysky Passage, 1; ORCID: 0000-0002-9485-6584; e-mail: mosyagin-igor@mail.ru

Mikhail N. Pulyaev – Head of the Aviation Medicine Service (Chief Aviation Inspector) of the Directorate of Naval Aviation and Air Defense, Main Command of the Navy of the Russian Federation; Russia, 191055, Saint Petersburg, Admiralteysky Passage, 1; e-mail: pulyaevm@yandex.ru

Fyodor M. Ivashinenko – Head of the Aviation Medicine Department – Head of the Medical Service, Center for Combat Use and Retraining of Naval Aviation Personnel of the Navy; Russia, 353680, Krasnodar Territory, Yeysk, Oktyabrskaya Str., 292; e-mail: fedoremissaria@gmail.com

Информация об авторах

Мосягин Игорь Геннадьевич – доктор медицинских наук, профессор, начальник Военно-медицинского управления, Главное командование Военно-Морского Флота Российской Федерации; Россия, 191055, Санкт-Петербург, Адмиралтейский пр-д, д. 1; ORCID: 0000-0002-9485-6584; e-mail: mosyagin-igor@mail.ru

Пуляев Михаил Николаевич – начальник службы авиационной медицины (главный авиационный врач-инспектор) Управления морской авиации и противовоздушной обороны, Главное командование Военно-Морского Флота Российской Федерации; Россия, 191055, Санкт-Петербург, Адмиралтейский пр-д, д. 1; e-mail: pulyaevm@yandex.ru

Ивашиненко Федор Михайлович – начальник отдела авиационной медицины – начальник медицинской службы, Центр боевого применения и переучивания летного состава морской авиации Военно-Морского Флота Российской Федерации; Россия, 353680, Краснодарский край, г. Ейск, ул. Октябрьская, д. 292; e-mail: fedoremissaria@gmail.com

Author contribution: All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the research and preparation of the article, read and approved this version before publication).

Special contribution: IGM, MNP the concept and plan of the study; MNP, FMI data collection; IGM, MNP data analysis and conclusions; preparation of the manuscript IGM, MNP, FMI.

Вклад авторов: Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили данную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – И. Г. Мосягин, М. Н. Пуляев; сбор данных – М. Н. Пуляев, Ф. М. Ивашиненко; анализ данных и выводы – И. Г. Мосягин, М. Н. Пуляев; подготовка рукописи – И. Г. Мосягин, М. Н. Пуляев, Ф. М. Ивашиненко.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.
Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Funding: the study was carried out without additional funding.
Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.

Поступила/Received: *10.04.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

1. Благинин А. А. и др. Основоположник научной школы авиационной медицины (к 120-летию со дня рождения М. П. Бресткина) // *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2016. № 1 (53). С. 268–270 [Blaginin A. A., et al. Founder of the scientific school of aviation medicine (on the 120th anniversary of the birth of M. P. Brestkin). *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2016, № 1 (53), pp. 268–270 (In Russ.)].
2. Благинин А. А. и др. Медицинские аспекты безопасности полетов // *Авиационная и военно-морская медицина.* 2017. № 4. С. 51–52 [Blaginin A. A., et al. Medical aspects of flight safety.-*Aviation and naval medicine*, 2017, No. 4, pp. 51–52 (In Russ.)].
3. Ивашиненко Ф. М., Пуляев М. Н., Рудиков С. В., Дмитриев Г. В. Влияние гипоксии в воздухе у специалистов авиационного персонала // *Сборник материалов Всеармейской научно-практической конференции.* Санкт-Петербург. 2024. С. 47–51 [Ivashinenko F. M., Pulyaev M. N., Rudikov S. V., Dmitriev G. V. The effect of hypoxia in the air among aviation personnel specialists. *Proceedings of the All-Army Scientific and Practical Conference.* St. Petersburg, 2024, pp. 47–51 (In Russ.)].
4. Шишов А. А. и др. Барокамерные подъемы как метод специального обследования летного состава государственной авиации // *Авиационная и военно-морская медицина.* 2014. № 4. С. 54–58 [Shishov A. A., et al. Pressure chamber lifts as a method of special examination of state aviation flight personnel. *Aviation and naval medicine*, 2014, No. 4, pp. 54–58 (In Russ.)].
5. Кадетов С. Н. Проблемные вопросы проведения барокамерных исследований и тренировок летного состава морской авиации Военно-Морского Флота // *Тезисы Всероссийской научно-практической конференции по истории военно-морской медицины.* Спб.: БМОЦ. 2019. С. 86–89 [Kadetov S. N. Problematic issues of conducting pressure chamber research and training of Naval aviation flight personnel. *Abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference on the History of Naval Medicine.* St. Petersburg: BMOC, 2019, pp. 86–89 (In Russ.)].
6. Храмов А. Г. и др. Отечественные барокамеры для летного состава // *Крылья Родины.* 2022. Т. 5–6. С. 106–110 [Khramov A. G., et al. Domestic pressure chambers for flight personnel. *Wings of the Motherland,* 2022, Vol. 5-6, pp. 106–110 (In Russ.)].
7. Пономаренко В. А. Концепция профессионального здоровья и перспективы практики военной авиационной медицины // *Военно-медицинский журнал.* 2006. Т. 327, № 7. С. 63–66 [Ponomarenko V. A. The concept of occupational health and prospects for the practice of military aviation medicine. *Military Medical Journal,* 2006, Vol. 327, No. 7, pp. 63–66 (In Russ.)].
8. Рудиков С. В., Пуляев М. Н., Ивашиненко Ф. М. Анализ влияния факторов полета, оказывающих неблагоприятное воздействие на организм летчика // *Сборник материалов Всеармейской научно-практической конференции.* СПб. 2024. С. 156–165 [Rudikov S. V., Pulyaev M. N., Ivashinenko F.M. Analysis of the influence of flight factors having an adverse effect on the pilot's body. *Proceedings of the All-Army Scientific and Practical Conference.* St. Petersburg, 2024, pp. 156–165 (In Russ.)].
9. Мосягин И. Г., Бойко И. М., Пуляев М.Н. Система медицинского обеспечения морской авиации Военно-Морского Флота: проблемные вопросы и пути их решения // *Морская медицина.* 2018. Т. 4, № 4. С. 7–17 [Mosyagin I. G., Boyko I. M., Pulyaev M. N. Medical support system for naval aviation of the Navy: problematic issues and ways to solve them. *Marine medicine*, 2018, Vol. 4, No. 4, pp. 7–17 https://doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-4-7-17 (In Russ.)].
10. Пуляев М. Н., Кадетов С. Н. Перспективы использования гипобарического барокамерного модуля «Эдельвейс» в контейнерном исполнении с системой объективного медицинского и технического контроля // *Вестник Центра боевого применения и переучивания летного состава морской авиации ВМФ.* Ейск. 2018. № 8/18. С. 27–34 [Pulyaev M. N., Kadetov S. N. Prospects of using the hypobaric pressure chamber module «Edelweiss» in a container design with an objective medical and technical control system. *Bulletin of the Center for Combat Use and Retraining of Naval Aviation personnel of the Navy.* Yeisk, 2018, No. 8/18, pp. 27–34 (In Russ.)].
11. Гришин В. И., Павлов Б. Н., Громаков В. А. *Дыхательный тренажер ТД-1.* М.: Нептун XXI век; 2017. 90 С. [Grishin V. I., Pavlov B. N., Gromakov V. A. *Breathing simulator TD-1.* Moscow: Neptune XXI century; 2017, 90 pp. (In Russ.)].

УДК 613.6.027

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОГО СУДОРЕМОНТА: КОГОРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Ю. В. Грабский, Н. А. Кожухова, В. В. Степанов, Д. В. Арефьева, С. Н. Трофимчук, А. Ю. Поторочина, А. Ю. Чуевский*

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. В статье рассматривается проблема оценки профессиональных рисков (ПР) на предприятиях атомного судоремонта в контексте реализации Стратегии развития судостроительной промышленности до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года. Особое внимание уделяется комплексному воздействию производственных факторов на здоровье работников.

ЦЕЛЬ. Провести количественную оценку уровней ПР для здоровья работников предприятия атомного судоремонта при комплексном воздействии производственных факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Выполнены инструментальные измерения параметров производственной среды (шума, вибрации, воздействия химических веществ, ионизирующего излучения) в судокорпусном цехе. Использованы методы априорной оценки ПР согласно действующим нормативным документам. Проанализированы данные производственного контроля и специальной оценки условий труда за 2016–2023 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлено значительное превышение предельно допустимых уровней по основным вредным факторам: химические вещества (до 14,2 раза), шум (до 37,5 дБА), вибрация (до 32 раз), радиационные факторы (МАЭД до 439,00 мкЗв/ч). Установлены высокие риски развития профессиональных заболеваний в основных производственных группах.

ОБСУЖДЕНИЕ. Проанализированы причины рисков, их влияние на здоровье работников и производительность труда. Предложены приоритетные направления снижения ПР: модернизация оборудования, улучшение условий труда, совершенствование системы производственного контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты исследования демонстрируют необходимость комплексного подхода к управлению ПР на предприятиях атомного судоремонта. Реализация предложенных мер позволит существенно снизить риски развития профессиональных заболеваний и сохранить здоровье работников.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, предприятия атомного судоремонта, шум, локальная вибрация, микроклимат, освещенность, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, вредные химические вещества, ионизирующее излучение

***Для корреспонденции:** *Кожухова Наталья Александровна*, e-mail: lab2niipmm@yandex.ru
***For correspondence:** *Natalia A. Kozhuhova*, e-mail: lab2niipmm@yandex.ru

Для цитирования: Грабский Ю. В., Кожухова Н. А., Степанов В. В., Арефьева Д. В., Трофимчук С. Н., Поторочина А. Ю., Чуевский А. Ю. Априорная оценка профессиональных рисков для здоровья работников предприятия атомного судоремонта: когортное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 38–48, EDN: https://elibrary.ru/ZLBVPA
For citation: Grabskiy Yu. V., Kozhukhova N. A., Stepanov V. V., Arefieva D. V., Trofimchuk S. N., Potorochina A. Yu., Chuevsky A. Yu. Priori estimate of occupational health risks of employees of a nuclear ship repair enterprise: a cohort study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 38–48, EDN: https://elibrary.ru/ZLBVPA

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

PRIORI ESTIMATE OF OCCUPATIONAL HEALTH RISKS OF EMPLOYEES OF A NUCLEAR SHIP REPAIR ENTERPRISE: A COHORT STUDY

Yuri V. Grabsky, Natalia A. Kozhuhova, Viacheslav V. Stepanov, Daria V. Arefieva, Svetlana N. Trofimchuk, Anastasiya Yu. Potorochina, Alexey Yu. Chuevskii*
Research institute of industrial and maritime medicine of federal medical biological agency, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. The article examines the problem of assessing occupational risks (OR) at nuclear ship repair enterprises in the context of the implementation of the Strategy for the Development of the Shipbuilding Industry until 2036 and beyond until 2050. Particular attention is paid to the complex impact of production factors on the health of workers.
OBJECTIVE. To conduct a quantitative assessment of OR levels for workers' health at a nuclear ship repair enterprise under the complex influence of production factors.
MATERIALS AND METHODS. Instrumental measurements of the production environment (noise, vibration, chemical exposure, and ionizing radiation) were performed in the shipbuilding workshop. Priori estimate methods were used in accordance with current regulatory documents. Industrial monitoring data and a special assessment of working conditions for 2016–2023 were analyzed.
RESULTS. A significant excess of maximum permissible levels were detected for the main harmful factors: chemicals (up to 14.2 times), noise (up to 37.5 dBA), vibration (up to 32 times), and radiation factors (MADER up to 439.00 μSv/h). High risks of developing occupational diseases were identified in the main production groups.
DISCUSSION. Risk causes and their impact on worker health and productivity were analyzed. Priority areas for reducing risks were proposed: equipment modernization, improved working conditions and enhancement of industrial control systems.
COCNLUSION. The study results demonstrate the need for a comprehensive approach to occupational health and safety management at nuclear ship repair facilities. Implementation of the proposed measures will significantly reduce the risk of occupational diseases and maintain worker health.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, nuclear ship repair facilities, noise, local vibration, microclimate, illumination, aerosols of predominantly fibrogenic action, harmful chemicals, ionizing radiation

Введение. Согласно Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 12.05.2025 № 1181-р «*...судостроительная промышленность играет ключевую роль в обеспечении национальной безопасности Российской Федерации*». Перечень мероприятий по эффективному достижению стратегических целей включает «*улучшение условий труда и безопасности производства путем внедрения новых технологий и материалов, а также стимулирования работодателей к увеличению расходов на охрану труда и промышленную безопасность*».

Результаты ранее проведенных исследований на предприятиях атомного судоремонта в Северо-Западном федеральном округе показали, что работники этих предприятий подвергаются комплексному воздействию производственных факторов физической и химической природы: ионизирующему излучению, шуму, локальной вибрации, недостаточной освещенности, вредных химических веществ (ВХВ), аэрозолей, преимущественно фиброгенного действия (АПФД). Анализ заболеваемости специалистов основных профессий, которые непосредственно выполняли ремонт атомных морских объектов (АМО), выявил повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности [1 – 4].

Результаты анализа научно-технической и патентной литературы по проблеме сохранения здоровья и продления профессионального долголетия персонала судоремонтных предприятий показывают, что наиболее значимыми вредными и/или опасными производственными факторами (ВОПФ) являются шум, локальная вибрация, охлаждающий или нагревающий микроклимат, загрязнение воздуха ВХВ, АПФД [1–4]. Воздействие перечисленных факторов на организм человека увеличивает риск развития профессиональных, производственно-обусловленных и соматических заболеваний, в частности нейросенсорной тугоухости, вибрационной болезни (ВБ), плечелопаточного периартрита, гипертонической болезни и др. Увеличение заболеваемости, в том числе с временной утратой трудоспособности, повышает

уровень трудопотерь, приводит к увеличению случаев медицинских противопоказаний по допуску к работе, ухудшает производительность труда и сокращает профессиональное долголетие квалифицированных специалистов. Перечисленные выше факторы являются определяющими в отношении производственной и экономической эффективности судоремонтных предприятий, в особенности предприятий, выполняющих работы в рамках государственного оборонного заказа [5, 6].

Ремонтные работы на предприятиях атомного судоремонта проводятся как в закрытых производственных помещениях (цехах и эллингах), так и на открытых площадках (достроечных набережных, док-камерах, плавучих доках).

Отличительной особенностью выполнения судоремонтных работ является отсутствие разделения в пространстве и времени различных по характеру технологических операций [4]. При этом рабочее место, как правило, четко не закреплено за работником и представляет собой рабочую зону. Следует отметить, что работники (особенно при проведении работ внутри корпуса АМО) подвергаются воздействию комплекса ВОПФ, что имеет значение для оценки риска развития профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний.

Отличительной особенностью производственной среды предприятий атомного судоремонта, обслуживаемых ФМБА России, является воздействие ионизирующего излучения (ɣ- и нейтронное излучение, радиоактивное загрязнение поверхностей и оборудования, радиоактивные газы и аэрозоли) на работников, находящихся в зоне строгого режима, организуемой на АМО в процессе их ремонта [1, 5].

Цель. Провести количественную оценку уровней профессиональных рисков (ПР), обусловленных комплексным воздействием производственных факторов, для здоровья работников предприятия атомного судоремонта.

Материалы и методы. Измерения параметров шума (эквивалентные уровни звука) и локальной вибрации (эквивалентные корректированные уровни виброускорения), микроклимата, световой среды (освещенность), радиационных факторов (мощность амбиентного эквивалента дозы – МАЭД, плотность потока β-частиц, объемная активность радионуклидов в воздухе), концентраций ВХВ и АПФД в воздухе рабочей зоны проводили в судокорпусном цехе предприятия, осуществляющего ремонт АМО. Были обследованы рабочие места специалистов основных профессий (судокорпусники-ремонтники, сборщики-достройщики, электросварщики, сварщики ручной сварки, слесари-монтажники, электромонтажники, газорезчики), вспомогательного персонала (регулировщики радиационной аппаратуры, дежурные вахтенной службы, а также по АМО и в зоне строгого режима, вахтенные взрывопожароопасных работ, уборщицы, дозиметристы, кастелянши), административного персонала (начальник отдела лаборатории внешней среды, начальник дозиметрической службы). Параметры производственных факторов измеряли поверенными средствами измерений, включенными в перечень утвержденных к применению на территории Российской Федерации, на основании аттестованных методик. Проанализированы данные производственного контроля предприятия (судокорпусной цех) за 2020–2023 гг., а также результаты специальной оценки условий труда за 2016, 2018–2020, 2022–2023 гг.

Априорную оценку ПР для здоровья работников по результатам инструментальных исследований химического фактора проводили в соответствии с руководством Р 2.2.3969-23[1], а также с использованием модели ПР от воздействия химических веществ в воздухе рабочей зоны с помощью уравнений индивидуальных порогов, приведенной в работах [7, 8].

Оценка априорного (прогностического) ПР для здоровья работников, связанного с воздействием шума выше 80 дБА, выполнена в соответствии с п. 1.2. приложения 2 к Руководству Р 2.2.3969-23[2]. Для оценки и прогноза отдаленных последствий воздействия зарегистрированных уровней шума применяли уравнение, определяющее стажевую дозу шума.

[1]Руководство Р 2.2.3969–23. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Москва: Безопасность труда и жизни, 2023. 77 с.

[2]Руководство Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Санкт-Петербург: ЦОТПБСППО, 2005. 108 с.

Таблица 1

Критерии для категорирования уровней риска по результатам количественной вероятности тяжести профессиональных заболеваний и болезней, связанных с условиями труда

Table 1

Criteria for categorizing risk levels based on the quantitative probability of the severity of occupational diseases and work-related illnesses

Характеристика условий труда по Р 2.2.2006-05[2]	Класс условий труда по Р 2.2.2006-05[2]	Вероятность развития неблагоприятных эффектов, %	Уровни профессионального риска по Р 2.2.3969-23[1]	Категория профессионального риска по Р 2.2.3969-23[1]
Оптимальный	1	До 2–5	Менее 1×10^{-4}	Пренебрежимо малый риск
Допустимый	2	5–16	$1 \cdot 10^{-4} – 1 \cdot 10^{-3}$	Малый риск
Вредный	3.1	16–25	$1 \cdot 10^{-3} – 1 \cdot 10^{-2}$	Умеренный риск
	3.2	25–33	$1 \cdot 10^{-2} – 3 \cdot 10^{-2}$	Средний риск
	3.3	33–50	$3 \cdot 10^{-2} – 1 \cdot 10^{-1}$	Высокий риск
	3.4	50–80	$1 \cdot 10^{-1} – 3 \cdot 10^{-1}$	Очень высокий риск
Опасный (экстремальный)	4	Более 80	$3 \cdot 10^{-1} – 1$	Экстремально высокий риск

Вероятность развития ВБ под воздействием локальной вибрации оценивали с применением трех моделей, приведенных в п. 2 приложения 2 к Руководству Р 2.2.3969-23[1].

Количественную оценку ПР для здоровья работников производили в соответствии с п. 6.3 Руководства Р 2.2.3696-23[1] в диапазоне значений от 0 до 1 (0 – отсутствие риска; 1 – неизбежность полной утраты здоровья).

Для характеристики ПР использовали нормативные документы (Р 2.2.3969-23[1]; Р 2.2.2006-05[2]). На основании представленных в них критериев была произведена интеграция уровней и категорий ПР (табл. 1).

Радиационно-гигиеническая оценка производственной среды выполнена на основе следующих нормативных документов:

- Руководство Р 2.6.5.07-2019 «Гигиенические критерии специальной оценки и классификации условий труда при работах с источниками ионизирующего излучения»[3];

- Руководство Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»[2].

Категории радиационного риска характеризовали согласно критериям[2,3], приведенным в табл. 2 [9,10].

Для оценки априорного радиационного риска использована модель расчета радиационных рисков, принятая в СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»[4].

Результаты. Результаты исследований показали, что в воздухе рабочей зоны сварщиков ручной сварки, газорезчиков, судокорпусников-ремонтников отмечались высокие концентрации:

- никеля (никель оксиды по никелю) – класс условий труда (КУТ) от 3.1 (превышение предельной допустимой концентрации (ПДК) до 1,8 раз) до 3.4 (превышение ПДК до 14,2 раза) (категория ПР – от «умеренный риск» до «очень высокий риск»). Вероятность развития неблагоприятных эффектов – от 16–25 до 50–80 %;

- марганца в сварочном аэрозоле при его содержании до 20 % – КУТ-3.1 (превышение ПДК до 3,2 раза) (категория ПР – «умеренный риск»). Вероятность развития неблагоприятных эффектов – 16–25 %;

- аэрозолей дезинтеграции оксидов марганца (КУТ-3.2, превышение ПДК до 6 раз, категория

[3]Р 2.6.5.07–2019 «Гигиенические критерии специальной оценки и классификации условий труда при работах с источниками ионизирующих излучения». Москва: Федеральное медико-биологическое агентство, 2019. 14 с.

[4]СанПиН 2.6.1.2523-09. «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009». Москва: Роспотребнадзор, Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, 2009. 101 с.

Таблица 2

Критерии профессиональных рисков по результатам оценки условий труда при работе с источниками ионизирующих излучений

Table 2

Criteria for occupational risks based on the assessment of working conditions when working with sources of ionizing radiation

Класс условий труда	Уровни пожизненного радиационного риска	Категория профессионального риска	Мероприятия по снижению риска
Допустимый – 2	Менее $2,5 \cdot 10^{-4}$	Пренебрежимо малый (переносимый)	Меры по снижению риска в соответствии с принципом оптимизации
Вредный – 3.1	От $2,5 \cdot 10^{-4}$ до $5,0 \cdot 10^{-4}$	Малый (умеренный)	
Вредный – 3.2	От $5,0 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}$	Средний (существенный)	
Вредный – 3.3	От $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $2,5 \cdot 10^{-3}$	Высокий	
Вредный – 3.4	От $2,5 \cdot 10^{-3}$ до $5,0 \cdot 10^{-3}$	Очень высокий	Требуются обязательные меры по снижению риска

ПР – «средний риск»). Вероятность развития неблагоприятных эффектов – 25–33 %;

Концентрация кремния диоксида аморфного в смеси с оксидами марганца в виде аэрозоля конденсации с содержанием каждого из них (АПФД, умеренно- и слабофиброгенная пыль) не более 10 % в воздухе рабочей зоны электросварщиков и сборщиков-достройщиков при выполнении сварочных работ и «прихватке» превышает предельный допустимый уровень (ПДУ) до 8 раз (КУТ-3.2, категория ПР – «средний риск»). Вероятность развития неблагоприятных эффектов – 25–33 %.

Зарегистрировано превышение ПДУ эквивалентного уровня звука по СанПиН 1.2.3685-21[5], которое на рабочих местах специалистов основных профессий и вспомогательного персонала составляет от 5 дБА (КУТ-3.1) до 37,5 дБА (КУТ – 4).

Вероятность развития профессионального заболевания, связанного с воздействием шума выше 80 дБА (нейросенсорная тугоухость), при стаже работы в профессии 25 лет для судокорпусника-ремонтника составляет, в зависимости от эквивалентного уровня шума, от 22,7 (средний риск) до более 71,5 % (высокий риск); для сварщика ручной сварки – от 9,3 (умеренный риск) до 63,9 % (средний риск); для газорезчика – от 9,3 (умеренный риск) до 66,8 % (высокий риск); для слесаря-монтажника судового – от 20,4 (средний риск) до 66,8 % (высокий риск).

Выборочные измерения эквивалентного корректированного уровня виброускорения на пяти рабочих местах основного и вспомогательного персонала при работе с ручным механизированным инструментом показали превышение ПДУ по СанПиН 1.2.3685-21[5] от 2 до 32 раз (КУТ 3.3-4).

Вероятность развития синдрома «белых пальцев» и ВБ I степени (модели 1-го и 2-го вибрационного воздействия) при стаже работы в профессии 20 лет для судокорпусника-ремонтника по Р 2.2.3969-23[1] составляет > 50 %, а вероятность развития ВБ I–II степени (модель 3-го вибрационного воздействия) – 12 % (экстремально высокий ПР). Вероятность развития синдрома «белых пальцев» для слесаря-монтажника судового составляет > 50 %, ВБ I степени – от 28 до > 50 %, ВБ I–II степени – от 6 до 12 % (высокий риск – экстремально высокий риск). Аналогичный показатель для профессии гуммировщика составляет >50 %, ВБ I степени – от 38 до > 50 %, ВБ I–II степени – 9 % (очень высокий риск).

Дополнительный риск ВБ с учетом силовых характеристик применяемого ручного механизированного инструмента в соответствии с Р 2.2.3969-23[1] может возрасти в 1,1–1,7 раза для модели 1-го вибрационного воздействия (синдром «белых пальцев») и в 1,1–1,3 раза

[5]СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Москва, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 988 с.

для модели 3-го вибрационного воздействия (ВБ I–II степени) при условии, что масса применяемых ручных машин в цехе не превышает 4,6 кг, за исключением инструмента ударного действия, который используют крайне редко.

Результаты производственного контроля и собственных измерений параметров микроклимата свидетельствуют о том, что в зависимости от проведенных расчетов эмпирического интегрального показателя THC-индекса, показателей комфортности микроклимата PMV и PPD[6] и критериев параметров микроклимата, изложенных в руководстве Р 2.2.2006-05[2], можно оценить микроклимат на непостоянных рабочих местах специалистов основных профессий и вспомогательного персонала как «нагревающий» с низкой относительной влажностью воздуха и установить КУТ-3.1. Категория ПР по Р 2.2.3969-23[1] – «умеренный риск», при котором вероятность развития неблагоприятных эффектов может составить 16–25 % при уровне ПР $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$.

Риск перегревания при 1-й степени 3-го класса условий труда специалистов основных профессий и вспомогательного персонала судокорпусного цеха определяют как умеренный, а его последствия оценивают следующим образом: напряжение реакций терморегуляции – умеренное, снижение физической работоспособности – до 19 % (от исходного), снижение производительности труда при физической работе – до 22 %, при умственной работе – до 12 %.

В пролетах судокорпусного цеха на 5–6 ярусах вне постоянных рабочих мест температура воздуха в холодный период года опускалась до 1–7 °С. Выполнение работ при данных параметрах микроклимата относится к КУТ-3.4 (категория ПР – «очень высокий риск»). В данном случае вероятность развития неблагоприятных эффектов может составить 50–80 % при уровне ПР $1 \cdot 10^{-1} - 3 \cdot 10^{-1}$. При характеристике степени охлаждения напряжение реакций терморегуляции при КУТ-3.4 рабочих основного и вспомогательного персонала судокорпусного цеха оценивают как «сильное». Возможно снижение общей физической работоспособности до 12,8 % от исходной, мануальной – от 15 (кисть) до 27 % (пальцы).

Для производственных помещений характерно совмещенное освещение: верхнее и/или боковое естественное и искусственное. В судокорпусном цехе наблюдается недостаточная освещенность на рабочих местах, расположенных преимущественно на нижних ярусах. Для организации общего искусственного освещения в отсеках, а также в местах выполнения разовых работ применяют переносные светильники закрытого типа. При этом на некоторых рабочих местах отмечается недостаточная освещенность рабочих поверхностей за счет тени, отбрасываемой работником и используемыми инструментами. На АМО, расположенном на достроечной набережной, освещение неравномерное за счет полного насыщения отсеков оборудованием. Отмечается сниженная контрастность объекта различения и фона.

Результаты производственного контроля свидетельствуют о недостаточной освещенности при расположении непостоянных рабочих мест на строительных лесах (ярусах) и подошве судокорпусного цеха при выполнении работ, не требующих напряжения зрительного анализатора (VIII разряд зрительной работы), КУТ-3.1 (категория ПР – «умеренный риск»). Результаты собственных измерений свидетельствуют о недостаточной освещенности на рабочих местах в отсеках и ремонтируемых АМО при выполнении грубых (очень малой точности) работ (VI разряд зрительной работы), КУТ-3.1 (категория ПР – «умеренный риск»).

Следует отметить, что как снаружи, так и внутри ремонтируемого АМО зачастую отмечается чрезмерная искусственная освещенность, превышающая нормативную (200 лк) до 5 раз. Однако это не отражается на установлении класса условий труда, который, в соответствии с Р 2.2.2006-05[2], оценивается как допустимый.

При оценке радиационного риска необходимо учитывать, что в процессе ремонта АМО могут быть использованы два подхода: с выгрузкой активной зоны либо без нее. Согласно полученным нами данным, значения МАЭД на рабочих местах персонала предприятия варьируют в достаточно широком диапазоне – от 0,10 до 439,00 мкЗв/ч (в помещениях реакторного отсека). Радиоактивное загрязнение поверхностей рабочих помещений на АМО достигает значе-

[6]ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. Москва: Стандартинформ; 2011. 43 с.

ний 7000 част./(см^2/мин), что, однако, не превышает допустимых уровней для поверхностей помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования[4]. Значения суммарной активности радионуклидов в воздухе рабочих помещений значительно ниже установленного контрольного уровня на предприятии.

По данным производственного контроля радиационной обстановки, КУТ по ионизирующему излучению при выполнении ремонтных работ на АМО варьирует от допустимых до опасных[2, 3]. Самые неблагоприятные условия труда по ионизирующему излучению (КУТ от 3.4 до 4) установлены на рабочих местах дефектоскопистов γ- и рентгенографирования. Значения МАЭД при выполнении работ по радиоизотопной и рентгеновской дефектоскопии на ремонтируемых АМО превышают установленный контрольный уровень (100 мкЗв/ч) в 5–9 раз.

Средние значения индивидуальных эффективных и коллективных годовых доз облучения за рассмотренный шестилетний период на предприятии имеют склонность к увеличению при одновременно наблюдаемой тенденции к сокращению общей численности персонала группы А, что говорит об увеличении рабочей нагрузки на персонал. Наиболее высокие значения средних индивидуальных годовых эффективных доз среди различных групп персонала группы А отмечены у дефектоскопистов γ- и рентгенографирования, между остальными профессиональными группами статистически значимых различий не выявлено.

Оценка пожизненного радиационного риска проведена для дефектоскопистов γ- и рентгенографирования, средняя индивидуальная годовая эффективная доза для которых за 2018–2023 гг. составила 1,57 мЗв. Если профессиональная деятельность работника будет осуществляться с указанной дозой на протяжении всей профессиональной деятельности (50 лет), то значение пожизненного радиационного риска составит $0{,}78 \cdot 10^{-4}$, что соответствует категории «пренебрежимо малый (переносимый)».

Обсуждение. Воздействие факторов химической природы на персонал судоремонтных предприятий сопряжено с присутствием в воздухе рабочей зоны ВХВ, АПФД, образующихся при проведении сварочных, зачистных, окрасочных, гуммировочных и изоляционных работ. Состав химических смесей, поступающих в воздух рабочей зоны, зависит от химического состава используемых материалов, а также технологий производства отдельных работ (сварки, резки материалов и др.) и их интенсивности. Технологические процессы ремонта АМО сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны высокотоксичных (оксиды хрома, марганца и др.) веществ, а также элементов с остронаправленным механизмом действия (оксиды углерода и азота) и ряда органических веществ (эпихлоргидрин, акрилонитрат, формальдегид, органические растворители и др.), обладающих общетоксическим, аллергическим, канцерогенным и иными эффектами. Воздействию ВХВ и АПФД в основном подвергаются судокорпусники-ремонтники, сварщики ручной сварки, маляры, гуммировщики, изолировщики судовые.

Существенный вклад в шумовую нагрузку на рабочих местах специалистов основных профессий и вспомогательного персонала вносят зачистные работы с использованием ручного механизированного инструмента, электродуговая строжка, газорезка и сварочные работы. Дополнительным источником шума при ремонте АМО является работа систем вентиляции (местной и/или общеобменной).

К профессиям с повышенным уровнем шума на рабочем месте относятся судокорпусники-ремонтники, сборщики-достройщики, газорезчики, гуммировщики, слесари-монтажники судовые, сварщики ручной сварки. Согласно полученным категориям ПР, на рабочих местах судокорпусников-ремонтников, газорезчиков и слесарей-монтажников судовых требуются неотложные меры по снижению ПР, а для сварщика ручной сварки – меры по снижению ПР в установленные сроки[1].

Основными источниками локальной вибрации на предприятии являются ручной механизированный и немеханизированный инструменты (машины ручные зачистные пневматические, машины угловые пневматические шлифовальные, кувалды, молотки). Основными специалистами, подвергающимися воздействию локальной вибрации, являются судокорпусники-ремонтники, слесари-монтажники судовые, гуммировщики.

Согласно категориям ПР на рабочих местах судокорпусников-ремонтников, слесарей-мон-

тажников судовых и гуммировщиков требуются неотложные меры по снижению ПР (КУТ-3.3). Работы нельзя начинать или продолжать до снижения ПР (КУТ-3.4) вплоть до того, что работы должны проводиться только по специальным регламентам (КУТ-4).

Оценивая параметры микроклимата на рабочих местах, можно констатировать относительно больший риск переохлаждения работников, особенно задействованных в пролетах судокорпусного цеха вне постоянных рабочих мест.

При хроническом воздействии пониженной температуры воздуха при КУТ-3.4 возможно:

- развитие заболеваний: облитерирующий эндартериит, вегетативно-сенсорная полиневропатия (ангионевроз), нейроциркуляторная дистония;

- возникновение жалоб на онемение (у 20 % обследованных) и ноющие боли в руках, вегето-сосудистые нарушения (у 38 % обследованных);

- сокращение срока развития вибрационной болезни (на 4–5 лет) при сочетанном воздействии холода и локальной вибрации;

- профессиональные нейроваскулиты (при стаже до 10 лет включительно – субъективные нарушения, при стаже более 10 лет – выраженные формы патологии).

Недостаточная освещенность рабочих мест повышает вероятность производственного травматизма [11], а избыточная приводит к чрезмерной нагрузке на зрительный анализатор и переутомлению. Таким образом, важно следить не только за соблюдением норм освещенности, но и за отсутствием значительного превышения установленных значений.

При наличии широкого диапазона КУТ по ионизирующему излучению на отдельных рабочих местах (от допустимых до опасных) значение пожизненного радиационного риска соответствует категории «пренебрежимо малый (переносимый)». В то же время средние значения индивидуальных эффективных и коллективных годовых доз облучения за исследованный период имеют тенденцию к увеличению.

Необходимо отметить, что гигиенические критерии оценки и классификации условий труда при работе с ионизирующим излучением имеют выраженные особенности по сравнению с другими производственными факторами: степень вредности условий труда определяется не выраженностью проявления у работающих пороговых детерминированных эффектов, а увеличением риска возникновения стохастических беспороговых эффектов, условия труда характеризуются как вредные даже при соблюдении гигиенических нормативов.

Модель расчета радиационных рисков, принятая в СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»[4], в отличие от модели, представленной в публикации № 109 Международной комиссии по радиологической защите[7], не учитывает индивидуальные особенности персонала (возраст, пол, стаж работы), что не позволяет рассчитать индивидуальные риски. Разработка и внедрение системы оценки индивидуальных рисков способствовали бы реализации комплексного подхода к управлению дозовыми нагрузками путем определения групп персонала, нуждающегося в снижении облучения с учетом производственных ресурсов; выявлению работников, для которых возможно увеличение дозы; формированию плана распределения дозовых нагрузок для достижения целевых показателей коллективной дозы.

Заключение. Проведенное исследование позволило установить основные факторы, обусловливающие комплекс ПР для здоровья работников предприятий атомного судоремонта. Количественно охарактеризовано сочетанное воздействие производственных факторов физической и химической природы, создающее условия для формирования указанных рисков. Определены численные значения рисков развития профессиональных заболеваний, радиационного риска, спрогнозировано негативное влияние производственных факторов на работоспособность персонала.

Установлено значительное превышение предельно допустимых концентраций химических веществ в воздухе рабочей зоны, в особенности – концентраций никеля (до 14,2 раза) и марганца (до 6 раз). Выявлены критические уровни шумового воздействия, достигающие 37,5 дБА, что создает опасность развития нейросенсорной тугоухости у судокорпусников-ремонтников с вероятностью до 71,5 %. Риск развития вибрационной болезни I–II степени при воздействии локальной вибрации у специалистов основных

[7]The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // ICRP, 2007. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2 – 4).

профессий достигает 50 %. Неблагоприятные параметры микроклимата на рабочих местах обусловливают риски для здоровья персонала, оцениваемые от умеренных до очень высоких, что может привести к снижению работоспособности до 22 %. Значительные ПР выявлены при использовании тяжелого ручного механизированного инструмента судокорпусниками-ремонтниками, а также у дефектоскопистов, подвергающихся воздействию ионизирующего излучения.

Наибольшую опасность в плане ущерба здоровью работников предприятий атомного судоремонта представляет сочетанное воздействие вредных производственных факторов. Технология работ по ремонту АМО предполагает длительное воздействие на специалистов основных профессий комплекса химических, физических (включая радиационный) факторов, что усугубляет воздействие неблагоприятного микроклимата, особенно вне постоянных рабочих мест.

Обращает на себя внимание установленная при работе тенденция к увеличению индивидуальных эффективных и коллективных годовых доз облучения персонала за рассмотренный шестилетний период при сокращении общей численности персонала группы А, что говорит об увеличении производственной нагрузки на персонал. В этих условиях есть основания предполагать в ближайшем будущем увеличение нерадиационных ПР, особенно при их сочетанном воздействии.

Для снижения выявленных рисков необходимо реализовать комплекс мер, включающий модернизацию оборудования и технологических процессов, внедрение современных систем вентиляции и освещения, оптимизацию режимов труда и отдыха, усиление производственного контроля, обеспечение работников эффективными средствами индивидуальной защиты. Необходима разработка методов индивидуальной оценки рисков, создание системы прогнозирования профессиональной патологии и совершенствование механизмов управления ПР.

Особое внимание следует уделить системе управления индивидуальными рисками при работе с ионизирующим излучением, включая дифференцированный подход к распределению дозовых нагрузок. Реализация предложенных мероприятий позволит существенно снизить ПР, сохранить здоровье работников и повысить эффективность производства, что соответствует стратегическим задачам развития судостроительной отрасли. При этом важно обеспечить постоянный мониторинг эффективности внедряемых мер и их своевременную корректировку.

Сведения об авторах

Грабский Юрий Валентинович – кандидат медицинских наук, врио директора, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65; ORCID: 0000-0002-8563-3290; e-mail: niipmm@fmbamail.ru

Кожухова Наталья Александровна – и. о. заведующего лабораторией № 2, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65; ORCID: 0000-0002-6223-0173; e-mail: lab2niipmm@yandex.ru

Степанов Вячеслав Владиленович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории № 2, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65; ORCID: 0000-0001-6099-0833; e-mail: vvs-niipmm@yandex.ru

Арефьева Дарья Владимировна – и. о. заведующего лабораторией № 1, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65; ORCID: 0000-0002-3879-8594; e-mail: lab1niipmm@yandex.ru

Трофимчук Светлана Николаевна – научный сотрудник лаборатории № 2, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65; ORCID: 0000-0002-8726-7044; e-mail: svettolstova@yandex.ru

Поторочина Анастасия Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории № 2, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65; ORCID: 0000-0002-7956-716X; e-mail: a.koyur@mail.ru

Чуевский Алексей Юрьевич – младший научный сотрудник лаборатории № 2; Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства; Россия, 196143, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, 65; ORCID: 0009-0002-6961-7431; e-mail: chuevskiialexei@gmail.com

Information about the authors

Yuri V. Grabsky – Dr. of Sci. (Med.), Interim Director, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency; Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Ave., 65; ORCID: 0000-0002-8563-3290; e-mail: niipmm@fmbamail.ru

Natalia A. Kozhuhova – Acting Head of Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency; Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Ave., 65; ORCID: 0000-0002-6223-0173; e-mail: lab2niipmm@yandex.ru

Viacheslav V. Stepanov – Dr. of Sci. (Med.), Senior Researcher at Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency; Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Ave, 65; ORCID: 0000-0001-6099-0833; e-mail: vvs-niipmm@yandex.ru

Daria V. Arefieva – Acting Head of Laboratory No. 1, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency; Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Avenue, 65; ORCID: 0000-0002-3879-8594; e-mail: lab1niipmm@yandex.ru

Svetlana N. Trofimchuk – Researcher at Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, St. Petersburg, Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Avenue, 65; ORCID: 0000-0002-8726-7044; e-mail: svettolstova@yandex.ru

Anastasiya Yu. Potorochina – Junior Researcher at Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency; Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Ave., 65; ORCID: 0000-0002-7956-716X; e-mail: a.koyur@mail.ru

Alexey Yu. Chuevskii – Junior Researcher at Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical and Biological Agency; Russia, 196143, St. Petersburg, Yuri Gagarin Ave., 65; ORCID: 0009-0002-6961-7431; e-mail: chuevskiialexei@gmail.com

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – Ю. В. Грабский, Н. А. Кожухова; сбор и анализ данных – В. В. Степанов, Д. В. Арефьева, С. Н. Трофимчук; подготовка рукописи – А. Ю. Поторочина, А. Ю. Чуевский.

Authors' contributions. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: YuVG, NAK concept and plan of the study. VVS, DVA, SNT data collection and analysis. AYuP, AYuCh preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания от 25.12.2024 № 388-00094-25-00 (рег. № НИОКТР 123031700066-1).

Funding: the study was carried out as part of the state assignment dated 25.12.2024 № 388-00094-25-00 (R&D reg. no 123031700066-1).

Поступила/Received: *14.01.2026*

Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*

Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Арефьева Д. В., Балтрукова Т. Б., Степанов В. В., Кожухова Н. А., Шаяхметова А. А. Гигиеническая оценка условий труда персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта при обращении с радиоактивными отходами // *Медицина труда и промышленная экология.* 2025. Т. 65, № 3. С. 165–173 [Arefyeva D. V., Baltrukova T. B., Stepanov V. V., Kozhuhova N. A., Shayakhmetova A. A. Hygienic Assessment of Working Conditions for Personnel at Nuclear Shipbuilding and Ship Repair Facilities in the Handling of Radioactive Waste. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*, 2025, Vol. 65, No. 3, pp. 165–173 (In Russ.)]. doi 10.31089/1026-9428-2025-65-3-165-173.
2. Балтрукова Т. Б., Кожухова Н. А., Арефьева Д. В. Направления совершенствования системы профилактических мероприятий по сохранению здоровья работников предприятий атомного судоремонта // *Материалы 17-го Российского национального конгресса с международным участием «Профессия и здоровье» (Нижний Новгород, 26–29 сентября 2023 года).* Нижний Новгород. 2023. С. 51–55 [Baltrukova T. B., Kozhukhova N. A., Arefyeva D. V. Directions for Improving the System of Preventive Measures to Preserve the Health of Employees at Nuclear Ship Repair Facilities *Materials of the 17th Russian National Congress with International Participation "Profession and health" (Nizhny Novgorod, September 26–29, 2023)*, Nizhny Novgorod, 2023, pp. 51–55 (In Russ.)]. doi 10.31089/978-5-6042929-1-4-2023-1-51-55.
3. Кожухова Н. А., Морозов Д. Ю., Трофимчук С. Н. Анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников акционерного общества «Центр судоремонта «Звездочка» // *Материалы 4-го Международного молодежного форума «Профессия и здоровье» (Светлогорск, 5–7 июля 2022 года),* Светлогорск, 2022, С. 120–123 [Kozhukhova N. A., Morozov D. Yu., Trofimchuk S. N. Analysis of Temporary Disability Among Employees of the Zvezdochka Ship Repair Center. *Proceedings of the 4th International Youth Forum «Profession and Health» (Svetlogorsk, July 5–7, 2022),* Svetlogorsk, 2022, pp. 120–123 (In Russ.)]. doi 10.31089/978-5-6042929-6-9-2022-1-120-123.
4. Крупкин А. Б., Степанов В. В., Саенко С. А., Ковыгин Г. Ф., Дохов М.А., Матвеев К.М., Горохов Н.В. Условия труда персонала при постройке, ремонте и утилизации атомных подводных лодок на предприятиях атомного судостроения и судоремонта // *Medline.ru.* 2023. Т. 14. С. 465–479 [Krupkin A. B., Stepanov V. V., Saenko S. A., Kovygin G. F., Dokhov M. A., Matveyev K. M., Gorokhov N. V. Working Conditions of Personnel During the Construction, Repair and

Disposal of Nuclear Submarines at Nuclear Shipbuilding and Ship Repair Facilities. *Medline.ru,* 2023, Vol. 14, pp. 465–479 (In Russ.)].

5. Арефьева Д. В., Шаяхметова А. А., Кожухова Н. А., Степанов В. В., Петушок А. В. Определение ведущих вредных и (или) опасных производственных факторов при выполнении работ по обращению с радиоактивными отходами // *Актуальные вопросы промышленной и морской медицины (Санкт-Петербург, 3–4 апреля 2024 г.).* Санкт-Петербург. 2024. С. 49–57 [Arefyeva D. V., Shayakhmetova A. A., Kozhukhova N. A., Stepanov V. V., Petushok A. V. Identification of the Leading Harmful and (or) Dangerous Production Factors in the Process of Radioactive Waste Management. *Current Issues in Industrial and Marine Medicine (Saint Petersburg, April 3–4, 2024).* St. Petersburg, 2024, pp. 49–57 (In Russ.)].
6. Балтрукова Т. Б., Кожухова Н. А., Кочкина А. Ю. Условия труда работников судоремонтного предприятия. Субъективное восприятие и объективная реальность // *Актуальные вопросы промышленной и морской медицины (Санкт-Петербург, 3–4 апреля 2024 года)*, Санкт-Петербург, 2024, С. 65–76 [Baltrukova T. B., Kozhukhova N. A., Kochkina A. Yu. Working Conditions of Employees at a Ship Repair Facility. Subjective Perception and Objective Reality. *Current Issues in Industrial and Maritime Medicine (St. Petersburg, April 03–04, 2024),* St. Petersburg, 2024, pp. 65–76 (In Russ.)].
7. Мельцер А. В., Киселев А. В. Гигиеническое обоснование комбинированных моделей оценки профессионального риска // *Медицина труда и промышленная экология.* 2009. № 4. С. 1–5 [Melzer A. V., Kiselev A. V. Hygienic substantiation of combined models for assessing occupational risk. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*, 2009, No. 4, pp. 1–5 (In Russ.)].
8. Мельцер А. В., Ерастова Н. В., Киселев А. В. Гигиеническое обоснование моделей оценки априорного профессионального риска // *Профилактическая и клиническая медицина.* 2020. Т. 76, № 3. С. 12–20 [Melzer A. V., Erastova N. V., Kiselev A. V. Hygienic Justification of Models for Assessing A Priori Occupational Risk. *Preventive and Clinical Medicine,* 2020, Vol. 76, No. 3, pp. 12–20 (In Russ.)].
9. Проскурякова Н. Л., Симаков А. В., Абрамов Ю. В. Гигиенические аспекты специальной оценки условий труда при работе с источниками ионизирующего излучения // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2022. Т. 67, № 4. С. 19–23 [Proskuryakova N. L., Simakov A. V., Abramov Yu. V. Hygienic Aspects of Special Assessment of Working Conditions When Working with Sources of Ionizing Radiation. *Medical Radiology and Radiation Safety,* 2022, Vol. 67, No. 4, pp. 19–23 (In Russ.)]. doi: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-19-23.
10. Проскурякова Н. Л. Показатели оценки профессиональных рисков работников объектов использования атомной энергии // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2022. Т. 67, № 3. С. 36–40 [Proskuryakova N. L. Indicators of Assessment of Occupational Risks for Employees of Nuclear Power Plants. *Medical Radiology and Radiation Safety,* 2022, Vol. 67, No. 3, pp. 36–40 (In Russ.)] doi: 10.33266/1024-6177-2022-67-3-36-40.
11. Бочарова А. М. Анализ влияния плохой освещенности на безопасность труда, ее расчет и методы улучшения // *Известия ТулГУ. Технические науки.* 2023. № 3. С. 310–312 [Bocharova A. M. Analysis of the Influence of Poor Illumination on Occupational Safety, Its Calculation, and Improvement Methods. *Izvestiya TulGU. Technical Sciences*, 2023, No. 3, pp. 310–312 (In Russ.)].

УДК 159.91

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ КАРТИНЫ БОЛЕЗНИ У ПАЦИЕНТОВ С НЕВРОТИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

[1]А. И. Колчев, [2]Э. Ф. Хафизова, [3]К. А. Беззубенко, [4]Ю. А. Погуляй, [5]А. Д. Мухина,*
[1]Е. В. Чернявский, [1]К. В. Днов, [6]В. С. Черный, [7]Ю. Р. Ханкевич
[1]Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт стоматологии Самарского государственного медицинского университета, г. Самара, Россия
[3]Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия
[4]Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар, Россия
[5]Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия
[6]Военный институт физической культуры, Санкт-Петербург, Россия
[7]Войсковая часть 45707, Санкт-Петербург, Петергоф, Россия

ЦЕЛЬ. Изучить особенности внутренней картины болезни (ВКБ) у лиц с невротическими расстройствами.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Обследованы 105 пациентов в возрасте 25–47 лет (средний возраст – 36 ± 2,7 года). Пациенты были разделены на две группы. Первую группу составили 45 пациентов с невротическими расстройствами (код по МКБ-10: F 40, F 41, F 42, F 44, F 48). Вторая группа – 60 пациентов с соматической патологией (болезни органов кровообращения, дыхания и заболевания желудочно-кишечного тракта). Использованы методики: «Тип отношения к болезни» (ТОБОЛ), «Фрайбургский личностный опросник» (FPI), опросник качества жизни Всемирной организации здравоохранения (ВОЗКЖ-100), «Индекс жизненного стиля», анкета «Удовлетворенность лечением».
РЕЗУЛЬТАТЫ. Пациенты с невротическими расстройствами в сравнении с соматическими больными имеют достоверно ($p < 0,05$) более высокий уровень депрессивных переживаний, в большей степени подвержены спонтанной агрессии, чаще используют механизм психологической защиты – компенсация, то есть свои неудачи в какой-либо сфере стремятся перекрыть успехами в других областях. Отмечается более низкий уровень удовлетворенности лечением у пациентов с невротическими расстройствами. У больных с невротическими расстройствами достоверно ($p < 0,001$) чаще диагностируют сенситивный тип отношения к болезни.
ОБСУЖДЕНИЕ. У пациентов с соматической патологией нередко определяется тип ВКБ, при которой психическая и социальная адаптация существенно не нарушается. Пациенты, страдающие невротическими расстройствами, имеют отношение к болезням, которые в наибольшей степени зависят от преморбидных особенностей личности. Для них характерны реакции по типу раздражительной слабости, тревожное, подавленное, угнетенное состояния, «уход» в болезнь. Также у больных с невротическими расстройствами чаще определяется внутренняя картина болезни (ВКБ), отражающая сенсибилизированное отношением к ней: они стесняются своего заболевания, используют его для достижения определенных целей, строят концепции паранойяльного характера относительно причин своего заболевания и его хронического течения, проявляют гетерогенные агрессивные тенденции, обвиняя окружающих в своем недуге.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. У пациентов, страдающих невротическими расстройствами, ВКБ характеризуется свойствами, связанными с преморбидными личностными особенностями, или включается в клиническую структуру заболевания. С целью повышения эффективности терапии и приверженности лечению у данных пациентов необходимо проводить мероприятия коррекции их внутренней картины болезни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, внутренняя картина болезни, качество жизни, невротическое расстройство, удовлетворенность лечением

***Для корреспонденции:** *Погуляй Юрий Алексеевич*, e-mail: yu.pogulyai@yandex.ru
***For correspondence:** *Yuri A. Pogulyay*, e-mail: yu.pogulyai@yandex.ru

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

Для цитирования: Колчев А. И., Хафизова Э. Ф., Беззубенко К. А., Погуляй Ю. А. Мухина А. Д., Чернявский Е. В., Днов К. В., Черный В. С., Ханкевич Ю. Р. Особенности внутренней картины болезни у лиц с невротическими расстройствами: ретроспективное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 49–57, EDN: https://elibrary.ru/UBBMOE
For citation: Kolchev A. I., Khafizova E. F., Bezzubenko K. A., Pogulyai Yu. A., Mukhina A. D., Chernyavsky E. V., Dnov K. V., Cherniy V. S., Khankevich.Yu. R. Features of disease internal picture in patients with neurotic disorders: retrospective study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 49–57, EDN: https://elibrary.ru/UBBMOE

FEATURES OF DISEASE INTERNAL PICTURE IN PATIENTS WITH NEUROTIC DISORDERS: RETROSPECTIVE STUDY

[1] Alexander I. Kolchev, [2] Elvina F. Khafizova, [3] Kirill A. Bezzubenko, [4] Yuri A. Pogulyay, [5]Aleksandra D. Mukhina, [1] Evgeniy A. Chernyavsky, [1] Konstantin V. Dnov, [6]Valery S. Cherniy, [7]Yuriy R. Khankevich

[1] Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia
[2]Institute of Dentistry, Samara State Medical University, Samara, Russia
[3]I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia
[4]Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia
[5]N. I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia
[6]Military Institute of Physical Culture, Saint Petersburg, Russia
[7]Military unit 45707, St. Petersburg, Peterhof, Russia

OBJECTIVE. To explore features of the internal disease picture (IDP) in individuals with neurotic disorders.
MATERIALS AND METHODS. A total of 105 patients aged 25–47 years (mean age – 36 ± 2.7 years) were examined. Patients were divided into two groups. The first group consisted of 45 patients with neurotic disorders (ICD-10 code: F 40, F 41, F 42, F 44, F 48). The second group - 60 patients with somatic pathology (diseases of the circulatory system, respiration and diseases of the gastrointestinal tract). The methods used were "Type of Attitude Towards Illness" (TOBOL), "Freiburg Personality Inventory" (FPI), World Health Organization Quality of Life Questionnaire (WHO-100), "Lifestyle Index", "Treatment Satisfaction" questionnaire.
RESULTS. Patients with neurotic disorders compared to somatic patients have a reliably ($p < 0.05$) higher level of depressive feelings, being more prone to spontaneous aggression and more likely to use a psychological defense mechanism – compensation, that is, how to overcome their failures in the sphere of success in other areas. A lower level of treatment satisfaction is noted in patients with neurotic disorders. Patients with neurotic disorders are reliably ($p < 0.001$) more likely to be diagnosed with a sensitive illness attitude type.
DISCUSSION. In patients with somatic pathology, it is not uncommon to define a type of IDP, in which mental and social adaptation is not substantially impaired. Patients suffering from neurotic disorders have attitudes to diseases that are largely influenced by premorbid personality features. They are characterized by reactions according to the type of irritable weakness, anxious, depressed, depressed state, "withdrawal" into illness. Also, patients with neurotic disorders are more likely to define an internal disease picture (IDP), reflecting a sensitized attitude towards it: they are shy about their disease, use it to achieve certain goals, construct paranoid concepts of the nature and cause of their illness chronic course, exhibit heterogeneous aggressive tendencies, blaming those around them for their illness.
CONCLUSION. In patients with neurotic disorders, IDP is characterized by properties related to premorbid personality features or incorporated into the clinical structure of the disease. In order to improve therapy efficacy and adherence to treatment in these patients, it is necessary to take measures to correct their internal picture of the disease.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, internal disease picture, quality of life, neurotic disorder, treatment satisfaction

Введение. Понятие «внутренняя картина болезни» (ВКБ) как возникающий у больного целостный образ своего заболевания введено Р. А. Лурия [1, 2]. Обычно ВКБ выступает как целостное, нерасчлененное образование, включающее четыре уровня: чувственный – комплекс болезненных ощущений; эмоциональный – переживание заболевания и его последствий; интеллектуальный – знание о болезни и ее реальная оценка; мотивационный – выработка определенного отношения к заболеванию, изменение образа жизни и актуализация деятельности, направленной на выздоровление [3, 4].

На формирование ВКБ оказывает влияние целый ряд факторов: характер заболевания, его острота и темп развития, особенности личности в предшествующий болезни период и др. [5 – 8]. При этом ключевым фактором является психология личности пациента [9, 10]. В связи с этим интерес представляет характер формирования ВКБ при психической и соматической патологии [11].

Цель. Изучить особенности картины болезни у лиц с невротическими расстройствами.

Материалы и методы. Обследованы 105 пациентов в возрасте 25–47 лет (средний возраст – 36 ± 2,7 года). Пациенты были разделены на две группы. Первую группу составили 45 пациентов с невротическими расстройствами (код по МКБ-10: F 40, F 41, F 42, F 44, F 48). Вторая группа – 60 больных с соматической патологией (болезни органов кровообращения, дыхания и заболевания желудочно-кишечного тракта).

Использованы методики: «Тип отношения к болезни» (ТОБОЛ)[1], «Фрайбургский личностный опросник» (FPI)[2], опросник качества жизни Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ-КЖ-100)[3], «Индекс жизненного стиля» (ИЖС)[4], анкета «Удовлетворенность лечением»[5].

Статистический анализ полученных данных выполнен на ЭВМ при использовании пакета программ STATISTICA 10.0. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента и непараметрического критерия Манна–Уитни. Проведен факторный анализ с использованием вращения Varimax normalaized. Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Анализ показателей FPI позволил оценит роль личности пациента в развитии соматического или психического заболевания [12]. Выявлено, что больные с невротическими расстройствами в сравнении с соматическими больными имеют достоверно ($p < 0,05$) более высокий уровень депрессивных переживаний, они более угрюмы, отгорожены, погружены в собственные переживания, менее открыты, что сказывается на их общении с окружающими. Также установлено, что пациенты с невротическими расстройствами достоверно ($p < 0,05$) в большей степени подвержены спонтанной агрессии, они более импульсивны, раздражительны, что, скорее всего, связано с особенностями аффективной и когнитивной сфер таких больных (табл. 1).

Показатели опросника ВОЗКЖ-100, предназначенного для оценки качества жизни Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), отражают влияние заболевания на изменения субъективной удовлетворенности и эффективности жизни пациента [13]. Показано, что общий показатель качества жизни в двух группах достоверно не различается. Тем не менее в группе пациентов с невротическими расстройствами, в сравнении с соматическими больными, выявлены достоверно ($p < 0,05$) более высокие показатели качества жизни по шкале «физическая сфера», что связано, видимо, с тем, что при невротических расстройствах пациенты реже испытывают болевые страдания. В группе соматических больных достоверно ($p < 0,05$) более высокий уровень показателя качества жизни по шкале «психологическая сфера», что может быть обусловлено меньшим вовлечением психологической сферы и меньшей ее деформацией у соматических больных в связи со своим заболеванием (табл. 2).

Результаты методики ИЖС позволяют выявить механизмы неосознаваемой психологической защиты, обеспечивающие регулятивную систему стабилизации личности, направленную на уменьшение тревоги, неизбежно возникающей при осознании конфликта, препятствия к самореализации, наличии заболевания [14]. Выявлено, что пациенты с невротическими расстройствами достоверно ($p < 0,05$) чаще, чем соматические больные, используют такой механизм защиты, как компенсация, то есть они свои неудачи в какой-либо области стремятся перекрыть успехами в других областях (табл. 3).

Анкета «Субъективная удовлетворенность лечением» включает такие показатели, как удовлетворенность результатом лечения, взаимоотношениями врач – больной, бытовыми условиями и окружающей обстановкой, а также уровень стигматизации, то есть степень болезненности восприятия себя как пациента. Выявлено, что пациенты с невротическими расстройствами менее ($p < 0,05$) удовлетворе-

[1]Вассерман Л. И., Иовлев Б. В., Карпова Э. Б., Вукс А. Я. Психологическая диагностика отношения к болезни: Пособие для врачей. СПб., 2005. 32 с.

[2]Вансовская В. К., Гайда В. К., Гербачевский В. К. и др. Практикум по экспериментальной и практической психологии. СПб: Издательство Санкт–Петербургского университета. 1997. 312 с.

[3]Бурковский Г. В., Коцюбинский А. Л., Левченко Е. В. и др. Использование опросника качества жизни (версия ВОЗ) в психиатрической практике: пособие для врачей и психологов. СПб., 1998. 56 с.

[4]Вассерман Л. И., Ерышев О. Ф., Клубова Е. Б. и др. Психологическая диагностика индекса жизненного стиля: пособие для врачей и психологов. СПб., 1998. 48 с.

[5]Кабанов М. М., Личко А. Е., Смирнов В. М. Методы психологической диагностики и коррекции в клинике. М.: Медицина. 1983. 312 с.

Таблица 1

Сравнительный анализ показателей опросника FPI в группах обследованных

Table 1

Comparative analysis of FPI questionnaire indicators in the survey groups

Показатель	Группа 1 (x ± s), (n = 45)	Группа 2 (x ± s), (n = 60)
Невротичность	5,17 ± 2,04	5,23 ± 1,22
Спонтанная агрессия	4,73 ± 1,14	3,77 ± 1,98*
Депрессивность	5,83 ± 1,74	4,23±1,55*
Раздражительность	5,03 ± 2,48	4,50 ± 1,31
Общительность	3,87 ± 2,10	3,70 ± 1,44
Уравновешенность	4,10 ± 1,71	4,80 ± 1,58
Реактивная агрессивность	5,07 ± 2,26	4,63 ± 1,50
Застенчивость	5,43 ± 2,19	5,53 ± 1,41
Открытость	4,80 ± 2,07	5,87 ± 1,89*
Экстраинтраверсия	4,27 ± 1,74	4,63 ± 1,59
Эмоциональная лабильность	5,20 ± 1,65	4,83 ± 1,34
Маскулинность-фемининность	3,47 ± 1,81	3,13 ± 1,31

Примечание: * – $p \leqslant 0,05$
Note: * – $p \leqslant 0.05$

Таблица 2

Сравнительный анализ показателей опросника ВОЗКЖ-100 в группах обследованных

Table 2

Comparative analysis of the WHOQOL-100 questionnaire indicators in the survey groups

Показатель	Группа 1 ($x \pm s$), (n = 45)	Группа 2 ($x \pm s$), (n = 60)
Физическая сфера	15,45 ± 2,60	12,40 ± 2,05*
Психологическая сфера	12,64 ± 1,28	14,49 ± 2,86*
Уровень независимости	14,86 ± 2,78	14,49 ± 2,46
Социальные взаимоотношения	12,46 ± 2,57	13,62 ± 2,38
Окружающая среда	14,22 ± 2,22	12,68 ± 1,53
Духовная сфера	12,57 ± 3,31	12,80 ± 2,25
Общее качество жизни	82,20 ± 11,68	80,48 ± 8,39

Примечание: * – p ⩽ 0,05
Note: * – p ⩽ 0.05

ны результатами лечения, то есть они редко отмечают улучшение самочувствия, устранение патологической симптоматики, соответствие результатов лечения своим ожиданиям. У невротических больных выявляется недостаточная ($p < 0,05$) удовлетворенность отношением врач – больной, а также бытовыми условиями. Соответственно, показатель общей удовлетворенности лечения среди пациентов с невротическими расстройствами достоверно ($p < 0,05$) ниже, чем среди пациентов с соматической патологией (табл. 4).

Отношение к болезни в выделенных группах пациентов определяли с помощью методики ТОБОЛ. У больных с невротическими расстройствами достоверно ($p < 0,001$) чаще диагностируют сенситивный тип отношения к болезни. Для пациентов с этим типом отношения к болезни характерны чрезмерная озабоченность возможностью неблагоприятного впечатления, которое

Таблица 3

Сравнительный анализ показателей методики Индекса жизненного стиля в группах обследованных

Table 3

Comparative analysis of the indicators of the individual housing construction methodology in the survey groups

Показатель	Группа 1 ($x \pm s$), ($n = 45$)	Группа 2 ($x \pm s$), ($n = 60$)
Отрицание	6,20 ± 3,19	5,10 ± 2,29
Вытеснение	4,13 ± 1,68	3,23 ± 1,77
Регрессия	4,30 ± 2,93	3,17 ± 1,98
Компенсация	3,90 ± 2,75	2,33 ± 1,60*
Проекция	7,13 ± 4,15	6,70 ± 3,03
Замещение	3,50 ± 2,53	3,43 ± 2,01
Интеллектуализация	3,23 ± 2,19	4,40 ± 2,02*
Реактивные образования	2,67 ± 1,52	2,97 ± 1,85

Примечание: * – $p \leqslant 0,05$
Note: * – $p \leqslant 0.05$

Таблица 4

Сравнительный анализ показателей анкеты «Субъективная удовлетворенность лечением» в группах обследованных

Table 4

Comparative analysis of the "Subjective satisfaction with treatment" questionnaire indicators in the survey groups

Показатель	Группа 1 ($x \pm s$), ($n = 45$)	Группа 2 ($x \pm s$), ($n = 60$)
Результат лечения	23,43 ± 9,60	30,80 ± 7,69*
Отношения врач – больной	16,57 ± 6,65	25,60 ± 6,13*
Бытовые условия	14,53 ± 4,83	19,87 ± 5,88*
Стигматизация	4,53 ± 1,50	3,43 ± 1,74
Общая удовлетворенность	59,07 ± 15,23	78,97 ± 19,59*

Примечание: * – $p \leqslant 0,05$
Note: * – $p \leqslant 0.05$

могут произвести на окружающих сведения о их болезни, опасения, что окружающие станут пренебрежительно или с опаской к ним относиться, распускать неблагоприятные слухи о причине и природе болезни, боязнь стать из-за этого обузой для близких и неблагожелательного отношения с их стороны в связи с этим (табл. 5).

Типы внутренней картины болезни методики ТОБОЛ формируют три блока. При объединении типов в блоки были выбраны два критерия: адаптивность – дезадаптивность, которые отражают влияние отношения к болезни на адаптацию личности больного, и интеринтрапсихическая направленность дезадаптации (в случае дезадаптивного характера отношения). Сравнительный анализ показателей методики ТОБОЛ по блокам пациентов с невротическими расстройствами (1-я группа) и соматической патологией (2-я группа) представлены в табл. 6.

Пациенты с соматической патологией имеют достоверно ($p < 0,001$) более высокие показатели первого блока. Пациенты, страдающие невротическими расстройствами, имеют достоверно ($p < 0,001$) более высокие показатели в блоке 2 и 3.

С целью выявления латентных признаков использован факторный анализ. В группе больных с неврозами выявлено 5 факторов.

Первый фактор – «Негативное эмоциональное реагирование» (14,44 % общей дисперсии) – нагрузка распределена на следующие показатели используемых тестов: невротичность (0,899), депрессивность (0,841), раздражительность (0,898), эмоциональная лабильность (0,828).

Второй фактор – «Качество жизни» (12,56 % общей дисперсии) – нагрузка распределена на показатели уровень независимости (0,799), качество жизни – духовная сфера (0,744), общий показатель качества жизни (0,948).

Третий фактор – «Внутренняя картина болезни» (11,23 % общей дисперсии) –нагрузка распределена на показатели 1-й блок ТОБОЛ (-0,817), 2-й блок ТОБОЛ (0,825), 3-й блок ТОБОЛ (0,717).

Четвертый фактор – «Открытость к общению» (11,13 % общей дисперсии) –нагрузка распределена на показатели общительность (-0,739), уровень экстраинтраверсии (-0,705), стигматизация (-0,727).

Таблица 5

Средние значения методики «Типа отношения к болезни» (ТОБОЛ) в группах обследованных

Table 5

Average values of the Type of Attitude to Illness (TOBOL) method in the survey groups

Показатель	Группа 1 ($x \pm s$), ($n = 45$)	Группа 2 ($x \pm s$), ($n = 60$)
Гармоничный	7,98 ± 12,8	8,43 ± 13,3
Эргопатический	13,60 ± 16,0	20,87 ± 8,3
Анозогнозический	13,20 ± 15,9	18,03 ± 12,4
Тревожный	7,56 ± 6,5	2,57 ± 2,4
Ипохондрический	10,58 ± 9,3	4,77 ± 4,3
Неврастенический	8,07 ± 6,8	5,77 ± 4,8
Меланхолический	10,07 ± 10,9	1,03 ± 2,4
Апатический	8,36 ± 8,3	1,93 ± 2,5
Сенситивный	17,38 ±12,7	12,30 ± 8,2*
Эгоцентрический	8,58 ± 6,8	2,93 ± 3,2
Паранойяльный	6,76 ± 5,6	5,03 ± 4,3
Дисфорический	4,58 ± 4,6	2,87 ± 4,0

Примечание: * – $p \leqslant 0,05$
Note: * – $p \leqslant 0.05$

Таблица 6

Средние значения методики «Типа отношения к болезни» ТОБОЛ по блокам в группах обследованных

Table 6

Average values of the Type of Attitude to Illness (TOBOL) methodology by blocks in the groups of subjects surveyed

Показатель	Группа 1 ($x \pm s$), ($n = 45$)	Группа 2 ($x \pm s$), ($n = 60$)
1 блок	34,78 ± 32,3	47,33 ± 25,6*
2 блок	44,62 ± 31,5	16,07 ± 9,5*
3 блок	37,29 ± 24,5	23,13 ± 13,2*

Примечание: * – $p \leqslant 0,05$
Note: * – $p \leqslant 0.05$

Пятый фактор – «Удовлетворенность лечением» (10,49 % общей дисперсии) –нагрузка распределена на показатели регрессия (0,715), удовлетворенность отношениями врач – больной (0,732).

В группе соматических больных также выявлено5 факторов.

Первый фактор – «Качество жизни» (13,31 % общей дисперсии) – нагрузка распределена на показатели уровень независимости (0,775), качество жизни духовная сфера (0,821), общий показатель качества жизни (0,951), качество жизни физическая сфера (0,714).

Второй фактор – «Негативное эмоциональное реагирование» (11,62 % общей дисперсии) – нагрузка распределена на показатели невротичность (0,788), застенчивость (0,847).

Третий фактор – «Удовлетворенность лечением» (10,5 % общей дисперсии) – нагрузка распределила на показатели удовлетворенность отношениями врач – больной (0,728), удовлетворенность результатом лечения (0,727), общий показатель удовлетворенности (0,921).

Четвертый фактор – «Внутренняя картина болезни» (10 % общей дисперсии) –нагрузка распределена на показатели 2-й блок ТОБОЛ (0,752016), 3-й блок ТОБОЛ (0,859).

Пятый фактор – «Открытость к общению» (8,95 % общей дисперсии) – нагрузка распределена на показатели общительность (-0,728), уровень экстраинтраверсии (-0,688).

Обсуждение. Результаты исследования подтверждают раннее выявленные особенности пациентов, страдающих невротическими заболеваниями [15, 16]. Так, у пациентов с соматической патологией чаще определяется тип ВКБ, при которой психическая и социальная адаптация существенно не нарушается. Пациенты, страдающие невротическими расстройствами, имеют отношения к болезням, которые в наибольшей степени зависят от преморбидных особенностей личности. Для таких больных характерны реакции по типу раздражительной слабости, тревожное, подавленное, угнетенное состояния, «уход» в болезнь. Также у больных с невротическими расстройствами чаще определяется ВКБ, отражающая сенсибилизированное отношением к болезни: они стесняются своего заболевания, используют его для достижения определенных целей, строят концепции паранойяльного характера относительно причин своего заболевания и его хронического течения, проявляют гетерогенные агрессивные тенденции, обвиняя окружающих в своем недуге.

Внутренняя картина болезни в обследуемых группах не является ведущим латентным признаком. Следует отметить, что ведущий фактор у пациентов с невротическими расстройствами – негативное эмоциональное реагирование, а у соматических больных – качество жизни.

Заключение. Внутренняя картина болезни у пациентов, страдающих невротическими расстройствами, характеризуется свойствами, связанными с преморбидными личностными особенностями, или включается в клиническую структуру заболевания. С целью повышения эффективности терапии и приверженности лечению данных пациентов необходимо проводить коррекцию их внутренней картины болезни.

Сведения об авторах:

Колчев Александр Иванович – доктор медицинских наук, профессор, доцент кафедры психиатрии, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова;194044, Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0002-4749-2562; e-mail: a.kolchev@mail.ru

Хафизова Эльвина Фазыльяновна – студент, Институт стоматологии Самарского государственного медицинского университета; Россия, 443099, ул. Чапаевская, д. 89; ORCID: 0009-0003-7059-7885; e-mail: khafizova003@mail.ru

Беззубенко Кирилл Артемович – студент, Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова; Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; ORCID: 0009-0006-8074-6495

Погуляй Юрий Алексеевич – ординатор, Кубанский государственный медицинский университет; Россия, 350063, г. Краснодар, ул. имени Митрофана Седина, д. 4; ORCID: 0009-0005-9762-4200; e-mail: yu.pogulyai@yandex.ru

Мухина Александра Денисовна – студент, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, д. 1; ORCID: 0009-0006-1656-2106; e-mail: sasha.mukhina.2003@bk.ru

Чернявский Евгений Александрович – кандидат медицинских наук, начальник научно-исследовательской лаборатории Научно-исследовательского центра, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0002-1097-2749

Днов Константин Викторович – доктор медицинских наук, доцент, преподаватель кафедры военно-полевой терапии, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0002-1054-4779; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Черный Валерий Станиславович – доктор медицинских наук, доцент, Военный институт физической культуры, Санкт-Петербург; Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский проспект, д. 63

Ханкевич Юрий Ришардович — доктор медицинских наук, сотрудник войсковой части 45707; 198510, Санкт-Петербург, г. Петергоф, ул. Константиновская, д. 25

Information about the authors:

Alexander I. Kolchev – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Associate Professor of the Department of Psychiatry, Military Medical Academy named after, 194044, St. Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0002-4749-2562; e-mail: a.kolchev@mail.ru

Elvina F. Khafizova – Student, Institute of Dentistry, Samara State Medical University; Russia, 443099, Samara, Chapaevskaya Str., 89; ORCID: 0009-0003-7059-7885; e-mail: khafizova003@mail.ru

Kirill A. Bezzubenko – student, First Moscow State Medical University named after I. M. Sechenov; Russia, 119048, Moscow, Trubetskaya Str., 8, Bldg. 2; ORCID: 0009-0006-8074-6495

Yuri A. Pogulyay – Resident, Kuban State Medical University; Russia, 350063, Krasnodar, Mitrofan Sedin Str., 4; ORCID: 0009-0005-9762-4200; e-mail: yu.pogulyai@yandex.ru

Aleksandra D. Mukhina – Student, N. I. Pirogov Russian National Research Medical University; Russia, 117513, Moscow, Ostrovityanova Str., Bldg 1; ORCID: 0009-0006-1656-2106, e-mail: sasha.mukhina.2003@bk.ru

Evgeniy A. Chernyavsky – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Research Laboratory of the Scientific Research Center, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0002-1097-2749

Konstantin V. Dnov – Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Lecturer in the Department of Military Field Therapy, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0002-1054-4779; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Valery S. Cherniy – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Military Institute of Physical Culture, Russia, 194044, Saint Petersburg, Bolshoy Sampsonievsky Prospekt, 63

Yuri R. Khankevich - Dr. of Sci. (Med.), Employee of military unit 45707; 198510, St. Petersburg, Peterhof, Konstantinovskaya St., 25

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – А. И. Колчев, К. В. Днов; сбор данных – Э. Ф. Хафизова, К. А. Беззубенко, Ю. А. Погуляй, А. Д. Мухина, Е. В. Чернявский; анализ данных и выводы – Ю. А. Погуляй, В. С. Черный; подготовка рукописи – В. С. Черный, Э. Ф. Хафизова, К. А. Беззубенко, Ю. А. Погуляй, А. Д. Мухина, Е. В. Чернявский, К. В. Днов, Ю. Р. Ханкевич.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: AIK, KVD the concept and plan of the study were developed. EFKh, KAB, YuAP, ADM, EVCh data collection was carried. YuAP, VSCh data analysis and conclusions were prepared by. VSCh, EFKh, KAB, YuAP, ADM, EVCh, KVD, YuRKh manuscript preparation was carried.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: *20.01.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Лурия Р. А. *Внутренняя картина болезни и ятрогенные заболевания.* М.: Медицина; 1977. 112 с. [Luriya R. A. *The internal picture of the disease and iatrogenic diseases.* Moscow: Meditsina; 1977, 112 p. (In Russ.)].
2. Пчелкин М. А., Разуваева Т. Н. К вопросу о структуре и особенностях внутренней картины болезни у онкобольных // *Проблемы психологии личности в условиях современных вызовов.* Сборник научных статей по итогам всероссийской конференции (с международным участием). Белгород. 2025. С. 111–116 [Pchelkin M. A., Razuvaeva T. N. On the structure and features of the internal picture of illness in cancer patients. In: Problems of personality psychology in the face of modern challenges. Collection of scientific articles based on the results of the All-Russian conference (with international participation). Belgorod, 2025, pp. 111–116 (In Russ.)].
3. Антошкина М. В. Внутренняя картина болезни и самооценка личности: теоретический аспект // *Психология и педагогика: актуальные вопросы теории и практики.* Сборник научных статей. Москва. 2024. С. 185–188 [Antoshkina M. V. The internal picture of the disease and self-esteem of personality: theoretical aspect. *Psychology and pedagogy: current issues of theory and practice.* Collection of scientific articles. Moscow, 2024, pp. 185–188 (In Russ.)].
4. Кабанов М. Ю., Семенцов К. В., Алексеев В. В., Фокина А. А., Бояринов Д. Ю., Седов А. С., Кошелев Т. Е., Беседин И. И. Подходы к диагностике и лечению холедохолитиаза у пациентов пожилого и старческого возраста // *Вестник национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова.* 2022. Т. 17, № 1. С. 107–115 [Kabanov M. Yu., Sementsov K. V., Alekseev V. V., Fokina A. A., Boyarinov D. Yu., Sedov A. S., Koshelev T. E., Besedin I. I. Approaches to the diagnosis and treatment of choledocholithiasis in elderly and senile patients. *Bulletin of the National Medical and*

Surgical Center named after N. I. Pirogov, 2022, Vol. 17, No. 1, pp. 107–115 (In Russ.)]. doi: 10.25881/20728255_2022_17_1_107.

5. Ельникова О. Е., Добрин А. В. Особенности взаимосвязи регуляции кардиоритма и компонентов внутренней картины болезни у студентов // Клиническая и специальная психология. 2024. Т. 13, № 2. С. 159–185. [Yelnikova O. E., Dobrin A. V. Features of the relationship between cardiorhythm regulation and components of the internal picture of the disease in students. Clinical and Special Psychology, 2024, Vol. 13, No. 2, pp. 159–185 (In Russ.)]. doi: 10.17759/cpse.2024130210.
6. Кидаева В. И. Связь защитных механизмов психики и внутренней картины болезни у пациентов с невротическими расстройствами // Вестник науки и творчества. 2019. № 8 (44). С. 26–29 [Kidaeva V. I. The relationship between psychological defense mechanisms and the internal picture of the disease in patients with neurotic disorders. Herald of Science and Creativity, 2019, No. 8 (44), pp. 26–29 (In Russ.)].
7. Кохановская И. А. Внутренняя картина болезни и копинг – стратегии лиц, переживших оперативное вмешательство // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2024. № 6 (94). С. 73–76 [Kokhanovskaya I. A. The internal picture of illness and coping strategies of individuals who have undergone surgery. Skif. Questions of student science, 2024, No. 6 (94), pp. 73–76 (In Russ.)].
8. Макарова Ю. А. Внутренняя картина болезни как феномен личностного переживания // Психология и педагогика в Крыму: пути развития. 2022. № 6. С. 217–226 [Makarova Yu. A. The internal picture of illness as a phenomenon of personal experience. Psychology and Pedagogy in Crimea: Development Paths, 2022, No. 6, pp. 217–226 (In Russ.)].
9. Лисицына А. А. Внутренняя картина болезни у пациентов с колостомой // Студенческий форум. 2023. № 28 (251). С. 9–13 [Lisitsyna A. A. The internal picture of illness in patients with colostomy. Student Forum, 2023, No. 28 (251), pp. 9–13 (In Russ.)].
10. Федоряка Д. А., Резникова Т. Н., Селиверстова Н. А. Динамика психологических показателей внутренней картины болезни у лиц с паническим расстройством // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. 2019. № 11 (177). С. 543–548 [Fedoryaka D. A., Reznikova T. N., Seliverstova N. A. Dynamics of psychological indicators of the internal picture of illness in individuals with panic disorder. Scientific notes of P. F. Lesgaft University, 2019, No. 11 (177), pp. 543–548 (In Russ.)].
11. Богушевская Ю. В., Васильева А. В., Ивченко А. И. Внутренняя картина болезни и модели отношения к лечению у женщин с соматизированными расстройствами // Консультативная психология и психотерапия. 2023. Т. 31, № 4 (122). С. 105–124 [Bogushevskaya Yu. V., Vasilyeva A. V., Ivchenko A. I. Internal picture of illness and models of attitude to treatment in women with somatized disorders. Consultative psychology and psychotherapy, 2023, Vol. 31, No. 4 (122), pp. 105–124 (In Russ.)]. doi: 10.17759/cpp.2023310406.
12. Кабанов М. Ю., Семенцов К. В., Дегтярев Д. Б., Бояринов Д. Ю., Савченков Д. К., Ладоша М. Ю., Яковлева Д. М., Алексеев В. В. Контактная литотрипсия под контролем пероральной холангиоскопии в лечении «сложного» холедохолитиаза у лиц пожилого возраста // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова. 2020. Т. 15, № 2. С. 179–181 [Kabanov M. Yu., Sementsov K. V., Degtyarev D. B., Boyarinov D. Yu., Savchenkov D. K., Ladosha M. Yu., Yakovleva D. M., Alekseev V. V. Contact lithotripsy under the control of peroral cholangioscopy in the treatment of “complex” choledocholithiasis in elderly patients. Bulletin of the N. I. Pirogov National Medical and Surgical Center, 2020, Vol. 15, No. 2, pp. 179–181 (In Russ.)]. doi: 10.25881/BPNMSC.2020.72.74.031.
13. Ивануса С. Я., Лазуткин М. В., Шершень Д. П., Елисеев А. В., Бояринов Д. Ю., Щербаков Н. В. Роль микролитиаза в патогенезе билиарного панкреатита // Клиническая патофизиология. 2016. Т. 22, № 4. С. 26–32 [Ivanusa S. Ya., Lazutkin M. V., Shershen D. P., Eliseev A. V., Boyarinov D. Yu., Shcherbakov N. V. The role of microlithiasis in the pathogenesis of biliary pancreatitis. Clinical pathophysiology, 2016, Vol. 22, No. 4, pp. 26–32 (In Russ.)].
14. Балаян Р. А., Журжу А. С. Исследование механизмов психологической защиты у студентов // Наука и образование в условиях цифровой трансформации. Сборник научных трудов. Казань. 2023. С. 15–18 [Balayan R. A., Zhurzhu A. S. Study of psychological defense mechanisms in students. Science and education in the context of digital transformation. Collection of scientific papers. Kazan, 2023, pp. 15–18 (In Russ.)].
15. Маликова А. Р. Особенности формирования внутренней картины болезни у пациентов // *Вестник науки*. 2025. Т. 4, № 4 (85). С. 593–598 [Malikova A. R. Features of the formation of the internal picture of the disease in patients. *Bulletin of Science*, 2025, Vol. 4, No. 4 (85), pp. 593–598 (In Russ.)].
16. Шпенглер Д. П. Особенности внутренней картины болезни у пациентов неврологического профиля // *Молодой ученый*. 2024. № 51 (550). С. 357–360 [Shpengler D. P. Features of the internal picture of the disease in neurological patients. *Young Scientist*, 2024, No. 51 (550), pp. 357–360 (In Russ.)].

УДК 612.821

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЕ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ТРЕНИРОВКИ НА ОСНОВЕ СИНХРОНИЗАЦИИ РИТМА ДЫХАНИЯ С СЕРДЕЧНЫМ РИТМОМ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ

[1]М. В. Филимонова, [2]С. В. Котовская, [2]Н. В. Газизова*
[1] Цифровая медицина, Москва, Россия
[2] Российский государственный университет социальных технологий, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Реабилитация участников специальной военной операции (СВО), столкнувшихся с последствиями боевого стресса и хроническими болевыми синдромами, требует методов, направленных на восстановление базовых регуляторных функций. Когнитивная гибкость (КГ) и эмоциональная регуляция (ЭР) являются ключевыми мишенями для вмешательства, поскольку травматический стресс приводит к их выраженной дисфункции, проявляющейся в когнитивной ригидности и эмоциональной лабильности.
ЦЕЛЬ. Обобщить опыт применения в реабилитационной программе участников СВО метода персонализированных дыхательных тренировок с биологической обратной связью (БОС), на примере описания клинического случая.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Методика, основанная на системе телеметрического контроля (видеоплетизмография, вариационная пульсометрия), позволяет в реальном времени формировать индивидуальные дыхательные программы, синхронизированные с кардиоритмом. Внедрение дыхательной практики дает возможность целенаправленно оптимизировать физиологические ритмы через контролируемое дыхание для восстановления нейрофизиологической базы, необходимой для нормализации КГ и ЭР.
РЕЗУЛЬТАТЫ. Применение метода подтвердило его высокую эффективность. Помимо значительного снижения симптомов посттравматического стрессового расстройства, тревоги и болевого синдрома была зафиксирована положительная динамика в сфере когнитивно-эмоциональной регуляции: у пострадавших отмечено снижение ригидности мышления, повышение способности переключаться между задачами и более эффективное управление эмоциональными реакциями. Объективные данные вариабельности сердечного ритма показали восстановление вегетативного баланса, что является физиологическим коррелятом улучшения механизмов ЭР и КГ.
ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные данные свидетельствуют, что разработанный метод является эффективным инструментом не только симптоматической коррекции, но и стратегического восстановления механизмов КГ и эмоциональной регуляции, нарушенных в результате травматического стресса.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Целенаправленное воздействие на фундаментальные физиологические ритмы открывает путь к предотвращению долгосрочных негативных изменений в психике и способствует устойчивому психофизиологическому восстановлению участников СВО.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, контролируемые дыхательные упражнения, биологическая обратная связь, реабилитация, боевой стресс, хроническая боль, когнитивная гибкость, эмоциональная регуляция, вариабельность сердечного ритма, видеоплетизмография, диагностика стрессового состояния, психологическое сопровождение, посттравматический стресс, адаптационные механизмы

***Для корреспонденции:** *Котовская Светлана Владимировна,* e-mail: kotovskaya@rgust.ru
***For correspondence:** *Svetlana V. Kotovskaya,* e-mail: kotovskaya@rgust.ru

Для цитирования: Филимонова М. В., Котовская С. В., Газизова Н. В. Персонализированные контролируемые тренировки на основе синхронизации ритма дыхания с сердечным ритмом как способ повышения стрессоустойчивости // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 58–65, EDN: https://elibrary.ru/MMIKGY
For citation: Filimonova M. V., Kotovskaya S. V., Gazizova N. V. Personalized controlled training based on breathing rhythm synchronization with heart rhythm as way to enhance stress response // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 58–65, EDN: https://elibrary.ru/MMIKGY

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа» в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

PERSONALIZED CONTROLLED TRAINING BASED ON BREATHING RHYTHM SYNCHRONIZATION WITH HEART RHYTHM AS WAY TO ENHANCE STRESS RESPONSE

[1]Maria V. Filimonova, [2]Svetlana V. Kotovskaya, [2]Natalia V. Gazizova*
[1] Digital Medicine LLC, Moscow, Russia
[2] Russian State University of Social Technologies, Moscow, Russia

INTRODUCTION. Rehabilitation of special military operation (SMO) participants facing the effects of combat stress and chronic pain syndromes requires methods aimed at restoring basic regulatory functions. Cognitive flexibility (CF) and emotional regulation (ER) are key targets for intervention, as traumatic stress causes significant dysfunction in these areas, manifested in cognitive rigidity and emotional lability.
OBJECTIVE. To summarize the experience of using the method of personalized breathing training with biofeedback (BFB) in the rehabilitation program for SMO participants, using the example of a clinical case description.
MATERIALS AND METHODS. A method based on a telemetry monitoring system (video plethysmography, variational pulsometry) allows to create individual breathing programs synchronized with heart rate in real time. The introduction of breathing practice enables targeted optimization of physiological rhythms through controlled breathing to restore the neurophysiological foundation necessary for normalizing CF and ER.
RESULTS. The method's application confirmed its high efficacy. In addition to a significant reduction in post-traumatic stress disorder symptoms, anxiety, and pain, positive dynamics in cognitive-emotional regulation were recorded: victims demonstrated reduced rigidity of thought, an increased ability to switch between tasks, and more effective management of emotional reactions. Objective heart rate variability data demonstrated restoration of autonomic balance, which is a physiological correlate of improved CF and ER mechanisms.
DISCUSSION. The obtained data indicate that the developed method is an effective tool not only for symptomatic correction, but also for strategic restoration of the mechanisms of CF and emotional regulation disrupted as a result of traumatic stress.
CONCLUSION. Targeted impact on fundamental physiological rhythms opens the way for preventing long-term negative changes in the psyche and promotes sustainable psychophysiological recovery of SMO participants.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, controlled breathing exercises, biofeedback, rehabilitation, combat stress, chronic pain, cognitive flexibility, emotional regulation, heart rate variability, video plethysmography, stress diagnostics, psychological support, post-traumatic stress, adaptation mechanisms

Введение. Современная ситуация с реабилитацией участников специальной военной операции (СВО) характеризуется значительным ростом психоэмоциональных расстройств и хронических болевых синдромов, что требует разработки новых эффективных методов восстановительной терапии. Особую сложность представляет сочетанный характер патологии, где симптомы боевого стресса сочетаются с персистирующими болевыми синдромами, формируя порочный круг взаимного отягощения [1].

В основе реабилитации участников СВО лежит комплексный двухуровневый подход психологического сопровождения, объединяющий когнитивно-рефлексивный и психофизиологический уровни воздействия. Особое внимание авторы уделяли психофизиологическому уровню программы реабилитации, направленному на прямую регуляцию эмоционального состояния через телесные механизмы, минуя вербальные каналы коммуникации.

Произвольное управление функцией дыхания как практика направленного воздействия на ключевые функции организма получило широкое развитие в XX веке, когда значительно увеличилось внедрение дыхательных практик в процесс коррекции психофизиологического состояния. Были разработаны и клинически апробированы различные дыхательные методики, направленные на гармонизацию психоэмоционального фона и достижение терапевтических эффектов, в том числе для купирования симптомов стрессовых расстройств [2]. В настоящее время дыхательные упражнения рассматриваются как существенный элемент реабилитационной клинической практики, будучи перспективным, доступным и экономичным способом вмешательства при различной патологии.

В основе методики заложены дыхательные упражнения, имеющие глубокие исторические корни. Дыхание, являясь одной из базовых интегральных функций организма, находится в постоянной тесной взаимосвязи с большинством физиологических и функциональных систем, напрямую и опосредованно влияя

на газообмен, кислотно-щелочное равновесие, кровообращение, вегетативный баланс, психоэмоциональную сферу и многое другое. Как показывает анализ, дыхательные практики на протяжении тысячелетий занимали центральное место в системах оздоровления — от античных философских концепций, рассматривавших дыхание как медиатор между телесной и душевной сферами, до древних систем управления здоровьем, таких как йога, цигун, тайцзи-цюань и т. д.

Дыхательная реабилитация положительно влияет на эмоциональный фон [3], улучшает респираторную функцию при заболеваниях легких и сердечной недостаточности [4, 5], является обоснованным методом улучшения качества жизни при онкологической патологии [6] и целом ряде других заболеваний.

В частности, в медико-реабилитационных системах используются дыхательная гимнастика А. Н. Стрельниковой с акцентом на форсированный вдох, метод волевой ликвидации глубокого дыхания К. П. Бутейко, система трехфазного дыхания Л. Кофлера, дыхательный тренажер В.Ф. Фролова для эндогенного дыхания и др. В психотерапевтическом направлении применяются техника Ребёфинг Л. Орра для работы с перинатальными травмами, холотропное дыхание С. Грофа с использованием контролируемой гипервентиляции, дыхательная техника «Вайвэйшн» для психофизиологической саморегуляции и др.

Однако, несмотря на доказанную историческую и клиническую эффективность дыхательных практик для ментальной и физической саморегуляции, при их применении выявляются существенные ограничения: усредненный характер упражнений, отсутствие учета индивидуальных биологических ритмов, а также предположительность их пользы и непонимание пациентом физиологических целей выполняемых упражнений. Это позволяет рассматривать дальнейшее изучение методик произвольного управления дыханием, их вариантов выполнения, физиологических эффектов, определения и уточнения нормативных параметров как важное направление научного поиска.

Актуальным направлением является развитие методов, сохраняющих преимущества дыхательных практик, но преодолевающих их ограниченность за счет технологий объективного контроля и биологической обратной связи (БОС). Современные исследования подтвердили физиологические механизмы воздействия дыхательных практик: активация парасимпатической нервной системы, влияние на вариабельность сердечного ритма, модуляция активности мозга [7, 8].

Цель. Обобщить опыт применения в реабилитационной программе участников СВО метода персонализированных дыхательных тренировок с БОС на примере описания клинического случая.

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования реализован перспективный подход, основанный на использовании технологий телеметрического контроля параметров жизненно важных функций пользователя. Разработанный метод интегрирует возможности видеоплетизмографии (VPG) и вариационной пульсометрии, что позволяет в реальном времени оценивать состояние механизмов нейрогуморальной регуляции сердечно-сосудистой системы.

Разработанная технология реализует комплексный подход к созданию индивидуальных дыхательных программ на основе БОС. Метод включает следующие ключевые этапы:

1. Регистрация физиологических параметров. С использованием стандартной веб-камеры осуществляется видеоплетизмографический мониторинг микроциркуляторного русла кожи лица. Технология позволяет бесконтактно регистрировать изменения цветности кожных покровов с частотой не менее 15 кадров в секунду, что обеспечивает получение достоверных данных о пульсовых волнах и параметрах периферической гемодинамики.

2. Анализ вариабельности сердечного ритма. На основе преобразования видеоплетизмограммы в кардиоинтервалограмму проводится спектральный анализ волн регуляции с выделением следующих компонентов: высокочастотные волны (дыхательные); низкочастотные волны (симпатические), сверхнизкочастотные волны (эндотелиальные, миогенные) [12, 14].

3. Формирование персональной дыхательной программы. Длительность фаз дыхательного цикла устанавливается в соответствии с индивидуальными характеристиками сердечного ритма: вдох – 3–8 кардиоциклов, задержка на вдохе – 4–20 кардиоциклов, выдох – 4–9 кардиоциклов; задержка на выдохе – 4–20 кардиоциклов.

4. Реализация БОС. Пользователю предоставляется мультимодальная обратная связь в реальном времени: визуальная индикация на экране монитора ритма его собственных сердечных сокращений, графическое отображение фаз дыхания, акустическое сопровождение дыхательного цикла, динамическая коррекция параметров по изменениям спектра ВСР.

5. Мониторинг эффективности. Система обеспечивает непрерывный контроль психофизиологических показателей с возможностью сохранения данных для последующего анализа и коррекции реабилитационной программы.

Представленная технология позволяет осуществлять персонализированную дыхательную реабилитацию автономно в любое время с использованием доступных технических средств (компьютер, планшет, телефон), что обеспечивает ее широкую применимость в клинической практике.

Данный подход дает возможность перейти от стандартизированных дыхательных практик к персонализированной реабилитационной программе, адаптированной под актуальное психофизиологическое состояние каждого участника СВО и обеспечивающей целенаправленное восстановление нарушенных функций.

Такой интегративный подход способствует трансформации интуитивного выполнения дыхательных упражнений к точному, научно-обоснованному и персонализированному вмешательству, направленному на восстановление нейрофизиологической базы, необходимой для нормализации когнитивной гибкости (КГ) и эмоциональной регуляции у участников СВО.

Ключевым патогенетическим звеном последствий боевого стресса выступает стойкое нарушение фундаментальных регуляторных процессов, проявляющееся дисфункцией когнитивной гибкости и эмоциональной регуляции. Данные нарушения характеризуются развитием когнитивной ригидности, выражающейся в затруднении переключения между задачами, и изменениями стереотипных поведенческих паттернов, а также эмоциональной лабильности с нарушением модуляции аффективного ответа [9].

Перспективным направлением коррекции указанных нарушений может быть применение представленного запатентованного метода контролируемого дыхания, нейрофизиологические механизмы которого включают несколько взаимосвязанных уровней.

На уровне корковых механизмов:

- синхронизацию дыхательного ритма с осцилляторной активностью коры головного мозга, в частности с ɣ-ритмом (40–100 Гц), способствующую улучшению концентрации внимания и скорости обработки информации;

- модуляцию активности префронтальной коры, участвующей в когнитивном контроле и эмоциональной регуляции, а, следовательно, повышению способности к эмоциональной саморегуляции;

- нормализацию функциональных связей между лимбической системой и корковыми центрами, что способствует снижению тревожности и гипервозбуждения.

На уровне нейровегетативных механизмов:

- активацию нисходящих ноцицептивных путей при удлиненной фазе вдоха (более 8 кардиоциклов) с целью уменьшение восприятия болевых стимулов;

- стимуляцию парасимпатического отдела вегетативной нервной системы через дыхательную синусовую аритмию, что способствует снижению симпатического тонуса и урежению сердечного ритма;

- барорецепторную модуляцию через синхронизацию дыхания с сердечным ритмом и, следовательно, стабилизацию артериального давления.

Через механизмы сенсорной интеграции:

- формирование комплексного потока сенсорной сигнализации от рецепторов дыхательной системы приводит к повышению интероцептивной осознанности и способности распознавать ранние признаки стресса;

- интеграцию сознательных и бессознательных сенсорных сигналов в стволовых структурах мозга способствующую улучшению сенсомоторной координации и нормализации мышечного тонуса.

Дыхательная практика когерентности, основанная на принципах БОС, реализуется через строго регламентированный протокол, предусматривающий задержку вдоха, эквивалентную 7 пульсовым волнам с целью оптимизации газообмена, фазу выдоха, продолжительностью 9 пульсовых волн для усиления вагусной активности, синхронизацию дыхательного и сердечного ритмов для активации барорефлекса, что влечет повышение вариабельности сердечного ритма.

Клиническая эффективность данного подхода подтверждена при различных патологи-

ческих состояниях, ассоциированных с вегетативной дисрегуляцией, включая последствия боевого стресса.

Терапевтическое действие реализуется через нормализацию вегетативного баланса и восстановление нарушенных корково-подкорковых взаимодействий, что способствует улучшению показателей КГ и эмоциональной регуляции у пациентов с симптомами стрессовых расстройств.

Клинический случай применения метода. Мужчина, 35 лет, участник СВО, после двусторонней ампутации нижних конечностей. Обратился с жалобами на выраженные фантомные боли, нарушающие ночной сон и повседневную активность.

При проведении телеметрического контроля частотных характеристик волн управления кровотока у обследуемого лица выявлены значительные нарушения микроциркуляции на фоне повышения амплитуды осцилляций, обусловленных низкочастотной ритмикой импульсации симпатических адренергических вазомоторных волокон (диапазон 0,02–0,046 Гц; интервал – 50,0–21,73 сек), непосредственно иннервирующих микрососуды кожи (общий миогенный диапазон). Было отмечено повышение амплитуды осцилляций, обусловленных влиянием на миоциты нейропептидов сенсорных пептидергических нервных волокон (диапазон 0,05–0,069 Гц; интервал – 20–14,5 сек).

Такое сочетание доминирующих волн управления кровотоком было характерно для пострадавших, которые испытывали болевые ощущения, в том числе и фантомную боль.

Данные изменения отражают тесную патофизиологическую взаимосвязь между болью и стрессом, которая реализуется через механизм сенсорно-симпатического взаимодействия [11].

В основе механизма взаимосвязи боли и стресса лежит периферическое взаимодействие (сенсорно-симпатическая связь).

В условиях повреждения тканей и воспаления (как при ранении) происходит экспрессия α-адренорецепторов на телах и аксонах сенсорных ноцицептивных нейронов [10].

Циркулирующие катехоламины (норадреналин, адреналин), уровень которых резко повышен при стрессе, активируют эти рецепторы. В результате ноцицепторы начинают реагировать не только на прямое повреждение, но и на симпатическую активность, что приводит к возникновению симпатически зависимой боли [11].

Активированные ноцицепторы, в свою очередь, выделяют вазоактивные нейропептиды (субстанция Р, CGRP), которые усугубляют нейрогенное воспаление, повышают сосудистую проницаемость и усиливают отек, формируя порочный круг «боль – воспаление – боль» [11].

К центральным механизмам взаимосвязи боли и стресса (дисрегуляция на уровне ЦНС) относятся:

- центральная сенситизация – повышенная возбудимость ноцицептивных нейронов в спинном и головном мозге (задние рога спинного мозга, таламус, ствол мозга) [13];

- гиперактивация симпатической системы, регистрируемая как повышение амплитуды адренергической волны; дополнительно потенцирует эту сенситизацию через нисходящие пути, усиливая передачу болевых сигналов и способствуя хронизации болевого синдрома [1].

Одновременное повышение амплитуды как адренергических (симпатических), так и пептидергических (сенсорных) осцилляций свидетельствует о синхронизированной дезинтеграции вегетативного обеспечения микроциркуляторного русла.

Это создает условия для персистирования боли: симпатическая система поддерживает активацию ноцицепторов, а сенсорные волокна, выделяя нейропептиды, поддерживают воспаление и вазомоторную дисфункцию.

Результаты. Выявленные изменения объективно подтверждают, что острый боевой стресс и связанная с ним массивная активация САС (симпато-адреналиновая система) не только вызывают вегетативную дисрегуляцию, но и непосредственно участвуют в патогенезе болевого синдрома через механизмы периферической и центральной сенситизации. Это объясняет высокую коморбидность острой стрессовой реакции и хронических болевых состояний у комбатантов и подчеркивает необходимость комплексного подхода к терапии, направленного не только на купирование психических симптомов, но и на восстановление вегетативного баланса и блокаду патологических механизмов сенсорно-симпатического взаимодействия.

Диагностика психофизиологического состояния, наблюдаемого участника СВО, выявила низкие значения вариабельности сердечного ритма, что указывает на дисбаланс вегетативной нервной системы, преобладание сим-

патической нервной системы («стрессовой», «боевой») и снижение активности парасимпатической системы («отдых и восстановление»). У пострадавшего с симптомами боевого стресса и хронической болью организм постоянно находился в состоянии повышенной боевой готовности, что и проявляется снижением ВСР. Организм, находящийся в стрессе, становится более чувствительным к болевым сигналам.

В целях реабилитации была разработана индивидуальная дыхательная программа: фаза вдоха – 7 пульсовых волн, фаза выдоха – 9 пульсовых волн, задержка дыхания после вдоха – 12 пульсовых волн. Продолжительность сеанса 180 сек. Режим проведения: 3 раза в день по 180 сек ежедневно в течение 9 дней и симптоматически, по необходимости.

Проведение контролируемых дыхательных программ сопровождалось визуальным представлением изменяемой в размерах геометрической фигурой в виде круга зеленого цвета и голосовым сопровождением команд начала фаз дыхания (позволяющим осуществлять практику с закрытыми глазами, используя навыки ДПДГ (десенсибилизация и переработка движением глаз).

Динамика изменения параметров круга синхронизирована с ритмом сердца и его акустическим сопровождением. Визуальное представление изменения мощности (амплитуды) волн управления перфузии микроциркуляторного русла сосудов кожи лица позволяет пользователю контролировать на основе БОС их изменения. Например, снижение болевых ощущений в процессе контролируемого дыхания сопровождается снижением амплитуды сенсорных пептидергических волн управления.

Динамика контроля изменения психофизиологического состояния сразу после сеанса и итогового исследования объективно регистрирует снижение амплитудно-частотных характеристик сенсорных пептидэргических волн управления кровотоком, уменьшение интенсивности фантомных болей, восстановление режима сна.

Применение персонализированной дыхательной программы позволило эффективно купировать фантомные боли через нормализацию микроциркуляторных показателей и вегетативной регуляции. Метод показал пролонгированное действие и может рассматриваться как перспективная нефармакологическая альтернатива в комплексном лечении болевых синдромов у пациентов после ампутаций.

Обсуждение. Проведенное исследование демонстрирует эффективность разработанного метода персонализированных дыхательных тренировок с БОС в восстановлении когнитивных функций и коррекции эмоциональных нарушений у участников СВО. Представленные результаты подтверждают, что метод не только успешно купирует симптомы стрессового расстройства, но и обеспечивает стратегическое восстановление нарушенных регуляторных процессов.

Особую значимость данному подходу придает его принципиальное отличие от существующих дыхательных практик. В то время как современная реабилитология ограничивается рекомендациями дыхательных упражнений с фиксированной длительностью фаз вдоха и выдоха в секундах, представленная технология впервые обеспечивает точную синхронизацию дыхательного паттерна с индивидуальным сердечным ритмом пациента в реальном времени. Это не просто усовершенствование метода — это качественный прорыв в области немедикаментозной реабилитации.

Описанный случай пострадавшего с фантомными болями после ампутации наглядно демонстрирует способность метода разрывать порочный круг «стресс –– боль – бессонница» через нормализацию вегетативного баланса и микроциркуляторных показателей. Объективное улучшение параметров вариабельности сердечного ритма, подтвержденное данными телеметрического контроля, свидетельствует о восстановлении адаптационного потенциала организма.

Заключение. Разработанный метод представляет собой технологичную и высокоэффективную платформу для реабилитации участников боевых действий, открывая новые перспективы в лечении последствий боевого стресса и сопутствующих болевых синдромов. Дальнейшее внедрение данной методики в клиническую практику позволит существенно повысить эффективность реабилитационных мероприятий и улучшить качество жизни пациентов, перенесших психотравмирующие события.

Сведения об авторах:

Филимонова Мария Александровна – клинический психолог, ООО «Цифровая медицина»; Россия, 105064, Москва, ул. Земляной Вал, д. 21/2, стр. 1, кв. 71; ORCID: 0009-0003-1308-1946; e-mail: maria458075@gmail.com

Котовская Светлана Владимировна – доктор психологических наук, доцент, заведующий кафедрой педагогики и психологии, Российский государственный университет социальных технологий; Россия, 107150, Москва, ул. Лосиноостровская, д. 49; ORCID: 0000-0001-7832-2702; e-mail: kotovskaya@rgust.ru

Газизова Наталия Валерьевна – руководитель Центра психологической поддержки и социальной защиты Российского государственного университета социальных технологий; Россия, 107150, Москва, ул. Лосиноостровская, д. 49; ORCID: 0009-0000-6843-7469; e-mail: gazizova@rgust.ru

Information about the authors:

Maria A. Filimonova – clinical psychologist of LLC Digital Medicine; Russia, 105064, Moscow, Zemlyanoy Val Str., 21/2, bldg. 1, apt. 71; ORCID: 0009-0003-1308-1946; e-mail: maria458075@gmail.com

Svetlana V. Kotovskaya – Dr. of Sci. (Psy), Associate Professor, Head. Department of Pedagogy and Psychology, Russian State University of Social Technologies; Russia, 107150, Moscow, Losinoostrovskaya Str., 49; ORCID: 0000-0001-7832-2702; e-mail: kotovskaya@rgust.ru

Natalia V. Gazizova – Head of the Center for Psychological Support and Social Protection at the Russian State University of Social Technologies; Russia, 107150, Moscow, Losinoostrovskaya Str., 49; ORCID: 0009-0000-6843-7469; e-mail: gazizova@rgust.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — М. А. Филимонова, С. В. Котовская; сбор и математический анализ данных — М. А. Филимонова; анализ данных и выводы – С. В. Котовская; подготовка рукописи — М. А. Филимонова, С. В. Котовская, Н. В. Газизова.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: MAF, SVK the concept and plan of the study. MAF data collection and mathematical analysis. SNL data analysis and conclusions; MAF, SVK, NVG manuscript preparation.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: *28.01.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Tracy I., Manti P. W. Cerebral signature of pain perception and its modulation. *Neuron,* 2007, 55(3), pp. 377–91. doi: 10.1016/j.neuron.2007.07.012. PMID: 17678852.
2. Thanalakshmi J., Maheshkumar K., Kannan R., Sundareswaran L., Venugopal V., Punjaali S. Effect of Sheetali pranayama on cardiac autonomic function in patients with primary hypertension—a randomized controlled trial. *Complement Ther Clin Pract,* 2020, 39, pp. 101138. doi: 10.1016/j.ctcp.2020.101138. Published Mar 5, 2020. PMID: 32379673.
3. Magnon V., Duteil F., Valle G. T. Effects of a single session of deep and slow breathing on vagal tone and anxiety in young and older adults. *Sci Rep,* 2021, 11(1), pp. 19–26. doi: 10.1038/s41598-021-98736-9. PMID: 34588511; PMCID: PMC8481564.
4. Yun R., Bai Y., Lu Y., Wu S., Li S. D. How breathing exercises affect respiratory muscle performance and quality of life in patients with COPD: A systematic review and meta-analysis. *Can Respir J*, 2021, 2021, 1904231. doi: 10.1155/2021/1904231. PMID: 33574969; PMCID: PMC7864742.
5. Kahalin L. P., Arena R. A. Breathing exercises and inspiratory muscle training in heart failure. *Heart Fail Clin,* 2015, 11(1), pp. 149–172. doi: 10.1016/j.hfc.2014.09.002. PMID: 25432483.
6. Giridharan S., Pandiyan B., Kumar N. V., Sumian S. Effect of pranayama on patients with cancer: a narrative review of clinical findings. *Cureus*. 2024, 16(2), e54688. doi: 10.7759/cureus.54688. PMID: 38524027; PMCID: PMC10960562.
7. Malhotra V., Bharshankar R., Ravi N., Bhagat O. L. Acute effects on heart rate variability during slow deep breathing. *Mymensingh Med J*, 2021, 30(1), pp. 208–213.
8. Zaccaro A., Piarulli A., Laurino M., Garbella E., Menicucci D., Neri B., Gemignani A. How breath control can change your life: a systematic review of the psychophysiological correlates of slow breathing. *Front Hum Neurosci*, 2018, 12, pp. 353. doi: 10.3389/fnhum.2018.00353.
9. Schäuble D., Myers B. Corticohypothalamic integration of autonomic and endocrine responses to stress. *Front. Physiol*, 2022, 13, 820398.
10. Gibbs G. F., Drummond P. D., Finch P. M., Phillips J. K. Unravelling the pathophysiology of complex regional pain syndrome: Focus on sympathetically maintained pain. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 2008, 35 (7), pp. 717–724.

11. Drummond P. D., Finch P. M., Skipworth S., Blockey P. Pain increases during sympathetic arousal in patients with complex regional pain syndrome. *Neirology,* 2001, 57 (7), pp. 1296–1303.
12. Таранов А. А., Спиридонов И. Н. Бесконтактное измерение частоты артериального пульса. *Биотехносфера.* 2014. 3 (33). 43–53 [Taranov A. A., Spiridonov I. N. Non-contact measurement of arterial pulse rate. *Biotechnosphere*, 2014, 3 (33), pp. 43–53 (In Russ)].
13. Latremolière A., Wolf K. J. Central sensitization: a mechanism for enhancing pain sensitivity through central neural plasticity. *Journal of Pain*, 2009, 10, pp. 895–926. doi:10.1016/j.jpain.2009.06.012.
14. Федорович А. А., Драпкина О. М., Синопальников В. И. Пронько К. Н. Телемониторинг капиллярного кровотока в коже человека: новые возможности и перспективы // *Клин. Практика.* 2018. 15(2). с. 561–567 [Fedorovich A. A., Drapkina O. M., Sinopalnikov V. I., Pronko K. N. Telemonitoring of Capillary Blood Flow in Human Skin: New Opportunities and Prospects. *Clin. Practice*, 2018, 15(2), pp. 561–567 (In Russ)].

УДК 613.12; 613.96; 613.86

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА *CDKN2A* В ОЦЕНКЕ РИСКА ЗДОРОВЬЮ СТУДЕНТОВ ПРИ СОЧЕТАННОМ ВЛИЯНИИ ПСИХОСОЦИАЛЬНОГО СТРЕССА И КЛИМАТА ПРИБАЛТИКИ: ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

[1]Р. С. Рахманов, [2]А. В. Тарасов, [3]Н. А. Скоблина, [1]Е. С. Богомолова, [1]С. А. Разгулин*

[1]Приволжский исследовательский медицинский университет, г. Нижний Новгород, Россия

[2]Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия

[3]Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Студенты подвержены высокому риску стресса, способствующему развитию заболеваний.

ЦЕЛЬ. Изучить риск здоровью студентов при сочетанном влиянии психосоциального стресса и климата Прибалтики по экспрессии гена *CDKN2A*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Оценивали биоклиматическую комфортность по индексу холодного ветра и интегральному показателю условий охлаждения организма, помесячный уровень УФ-инсоляции. У студентов 1-го курса: 1-я группа (n = 90, осень) и 2-я группа (n = 88, весна) методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) определяли количественную экспрессию гена *CDKN2A*. Сравнивали результаты по сезонам года среди лиц с отсутствием/наличием признаков стрессовых состояний, определенных по Госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS).

РЕЗУЛЬТАТЫ. У студентов мужского и женского пола экспрессия гена *CDKN2A* весной, по сравнению с осенью, увеличивается при отсутствии стресса, соответственно в 13,3 (p = 0,001) и в 13,5 (p = 0,001) раза, при наличии в 7,7 (p = 0,001) и 3,4 (p = 0,001) раза. У студенток осенью число копий транскрипта при наличии стресса в 3,6 (p = 0,029) раза больше, чем при их отсутствии, при нехарактерной особенности у студентов вероятно обусловленное меньшей эмоциональной устойчивостью девушек. Связь между экспрессией гена *CDKN2A* с сезоном года и наличием стресса подтверждена дисперсионным анализом.

ОБСУЖДЕНИЕ. Возможность охлаждения организма, недостаточность витамина D в зимне-весенний период года определяют особенности развития тревожно-депрессивных состояний у студентов в Прибалтике. Экспрессия гена *CDKN2A* может служить индикатором ухудшения здоровья студентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Условия среды обитания и образ жизни являются факторами риска здоровья студентов. Результаты обусловливают проведение большего объема профилактической работы при адаптации к условиям обучения у лиц женского пола по сравнению с мужским, а также внедрение оздоровительных мероприятий по снижению уровня стресса в зимне-весенний период года среди всех когорт обучающихся.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, студенты первого курса, стресс, экспрессия гена *CDKN2A*, весна, осень, распределение особенностей по полу

***Для корреспонденции:** *Рахманов Рофаиль Салыхович, e-mail: raf53@mail.ru*

***For correspondence:** *Rofail S. Rakhmanov, e-mail: raf53@mail.ru*

Для цитирования: Рахманов Р. С., Тарасов А.В., Скоблина Н.А., Богомолова Е. С., Разгулин С. А. Экспрессия гена CDKN2A в оценке риска здоровью студентов при сочетанном влиянии психосоциального стресса и климата Прибалтики: оригинальное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 66–74, EDN: https://elibrary.ru/EBNLSC

For citation: Rakhmanov R. S., Tarasov A. V., Scoblina N. A., Bogomolova E. S., Razgulin S. A. CDKN2A gene expression in health risk assessment in students exposed to combined psychosocial stress and baltic climate: original study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 66–74, EDN: https://elibrary.ru/EBNLSC

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа» в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

CDKN2A GENE EXPRESSION IN HEALTH RISK ASSESSMENT IN STUDENTS EXPOSED TO COMBINED PSYCHOSOCIAL STRESS AND BALTIC CLIMATE: ORIGINAL STUDY

[1]*Rofail S. Rakhmanov**, [2]*Andrey V. Tarasov*, [3]*Natalia A. Scoblina*, [1]*Elena S. Bogomolova*, [1]*Sergey A. Razgulin*

[1]Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia
[2]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
[3]Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov, Moscow, Russia

INTRODUCTION. Students are at high risk of stress, which contributes to the development of diseases.
OBJECTIVE. To study the health risk of students under the combined influence of psychosocial stress and the Baltic climate based on the expression of the *CDKN2A* gene.
MATERIALS AND METHODS. Bioclimatic comfort was assessed using the wind chill index, the integrated body cooling conditions indicator, and monthly UV insolation levels. Quantitative expression of the *CDKN2A* gene was determined in first-year students: Group 1 (n = 90, fall) and Group 2 (n = 88, spring) using polymerase chain reaction (PCR). Results were compared across seasons among individuals with and without signs of stress, as measured by the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS).
RESULTS. In male and female students, the *CDKN2A* gene expression increases in spring compared to autumn in the absence of stress by 13.3 ($p = 0.001$) and 13.5 ($p = 0.001$) times, respectively, and in the presence of stress by 7.7 ($p = 0.001$) and 3.4 ($p = 0.001$) times. In female students, the number of transcript copies in the presence of stress in autumn is 3.6 ($p = 0.029$) times higher than in the absence of stress, an uncharacteristic feature among students, probably due to the lower emotional stability of girls. The relationship between *CDKN2A* gene expression with the season of the year and the presence of stress was confirmed by analysis of variance.
DISCUSSION. Exposure to hypothermia and vitamin D deficiency during winter and spring determine the development of anxiety and depression in students in the Baltics. *CDKN2A* gene expression may serve as an indicator of deteriorating student health.
CONCLUSION. Living conditions and lifestyle are risk factors for student health. These findings suggest that more preventative measures should be taken to help females adapt to learning conditions compared to males, as well as the implementation of health-improving measures to reduce stress levels during the winter and spring seasons for all cohorts of students.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, first-year students, stress, CDKN2A gene expression, spring, fall, distribution of characteristics by sex

Введение. Студенты – категория населения с высоким риском стресса. Наиболее напряженным является начальный период обучения, когда происходит социальная и биологическая адаптация к новой среде и условиям обучения [1–3]. Как показали исследования других авторов, у значительной доли студентов первых курсов медицинского университета высока встречаемость тревожно-депрессивных состояний [4].

Установлено, что воздействие стрессовых жизненных ситуаций, если они происходят неоднократно или в течение длительного периода, может ускорить скорость старения организма, в том числе в раннем возрасте [5]. Стареющие клетки вызывают повышенную экспрессию внутриклеточного белка и ингибитора клеточного цикла $p16^{INK4a}$, кодируемого геном *CDKN2A,* что активирует каскад нейробиологических реакций, связанных с повышенным риском раннего начала возрастных заболеваний. Ген экспрессируется во многих тканях и типах клеток и служит биомаркером физиологического возраста [6, 7].

Особенностью обучения студентов, в частности в Калининградском анклаве России, связано и с тем, что климатические условия являются дополнительным фактором риска для здоровья проживающего там населения, поскольку данный тип климата клинически раздражающий. Климат анклава имеет ряд особенностей, отличающих его от других территорий России [8].

Таким образом, оценка риска здоровью молодых людей, обучающихся в условиях сочетанного влияния психосоциального стресса и климата Прибалтики, является актуальной научно-практической задачей.

Цель. Оценить риск здоровью студентов из-за сочетанного влияния психосоциального стресса и климата Прибалтики по экспрессии гена *CDKN2A*.

Материал и методы. Натурные исследования с участием студентов 1–2-й групп здоровья проводили на основе информированного добровольного согласия в осенний и весенний сезоны 2023 г.

Проведены оценка риска для здоровья физических факторов на открытой территории (ОТ) по показателям за пять лет (2019–2023 гг.), полученным из Гидрометеорологического центра Балтийского флота (средняя и максимальная скорости движения воздуха, средняя и минимальная температура) и расчет индекса холодного ветра (ИХВ)[1] и интегрального показателя условий охлаждения организма (ИПУОО)[2]. Такой мониторинг выполняли помесячно при средних и крайних (минимальная температура, максимальный ветер) показателях физических факторов.

ИХВ рассчитывали по формуле:

$$ИХВ = (10\sqrt{v} + 10{,}45 - v) \cdot (t - 33\ ^{o}C),$$

где v – скорость ветра; t – температура окружающей среды.

Реакция переохлаждения в зимней одежде регистрируется при ИХВ = 1190,0–1547,0 ккал/м^2·ч, комфортные условия при ИХВ = 761,6 ккал/м^2·ч.

ИПУОО определяли по формуле:

$$ИПУОО = 34{,}654 - 0{,}4664 \cdot t + 0{,}6337 \cdot V,$$

где v – скорость ветра; t – температура окружающей среды. При значениях ⩽ 34 –риск обморожения открытых областей тела человека; < 34 – ⩽ 47 – риск умеренный; < 47 – ⩽ 57 – риск критический.

Среднемесячную УФ-активность в г. Калининграде в кВт-час/м^2/день анализировали с 2001 по 2023 г., исходя их данных Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA).

Провели отбор проб крови (стандартная венепункция в университетской клинике) у лиц 1-й группы (n – 90, в сентябре–октябре) и 2-й группы (n = 88, в апреле–мае).

Для определения экспрессии гена *CDKN2A* провели экстракцию тотальной РНК из лейкоцитарной фракции с использованием набора «Лира+» («Биолабмикс», Россия), дополненного предварительным этапом удаления консервирующего раствора IntactRNA («Евроген», Россия). Количество тотальной РНК в экстракте измеряли флуориметром Qubit 2.0 (Thermo Fisher Scientific, США) с набором реагентов Equalbit RNA BR Assay (Vazyme, КНР). Обратную транскрипцию проводили с набором реагентов MMLV RT kit («Евроген», Россия) на ДНК-амплификаторе T100 (Bio-Rad, США) без модификаций протокола с общим количеством РНК-матрицы на реакцию, равным 150 нг.

С помощью метода ПЦР определяли количество экспрессии гена *CDKN2A* с последующим преобразованием значений «порогового цикла» (Ct) в число копий рассматриваемого транскрипта в соответствии с калибровочной кривой, построенной по 6 точкам, с известным количеством амплифицируемой матрицы. При построении калибровочной кривой вместо кДНК использовали ранее наработанный и очищенный через агарозный гель продукт ПЦР-реакций, подвергнутый серии десятикратных разведений. Амплификацию проводили на платформе CFX96 Touch (Bio-Rad, США) по следующей программе в трех технических повторах: предварительная денатурация 5 мин при 95,0 ˚С и 40 циклов – 30 сек 95 ˚С; 60 сек 60 ˚С; 30 сек 72 ˚С.

Проведен сравнительный анализ полученных результатов по сезонам года среди студентов, у которых были установлены признаки тревожно-депрессивных (стрессовых) состояний. С этой целью проведено анкетирование для выявления наличия/отсутствия признаков тревоги или депрессии. Для этого применили Госпитальную шкалу тревоги и депрессии (HADS), включающую 14 утверждений, разделенных на две подшкалы по 7 пунктов для оценки уровня тревоги и депрессии. Каждому утверждению соответствует 4 варианта ответа, которые отражают степень выраженности симптомов по шкале от 0 (отсутствие симптома) до 3 (максимальная выраженность) [9, 10].

Первичные данные оценивали на нормальность распределения. Для параметрических показателей определяли средние и стандартные отклонения *(M ± SD)*. Для отклоняющихся от нормальных, рассчитаны медиана (Me) и интерквартильный размах $[Q_1; Q_3]$. Для достоверности различий данных сравнения по наличию или отсутствию признаков стресса применяли непараметрический метод – критерий Манна–

[1]Определение холодового стресса и его интерпретация на основе показателей требуемой термоизоляции одежды и локального охлаждающего воздействия. ГОСТ ИСО 1079— 2015.

[2]Физиология труда и эргономика. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Методические рекомендации. МР 2.2.7.2129-06. 2.2.7.

Уитни, по показателям осени и весны – парный критерий Вилкоксона для вероятности $p < 0,05$. Проведен одномерный дисперсионный анализ для определения связи между экспрессией гена *CDKN2A* у студентов мужского и женского пола с сезоном года и наличием признаков стрессовых состояний. Анализ выполнен с использованием программного пакета STATISTICA 10.0 с логарифмическим преобразованием данных для нормализации распределения и коррекцией множественных сравнений по методу Бонферрони.

Результаты. Оценка влияния физических факторов на ОТ по индексу холодного ветра подтвердила, что при среднесуточных показателях холодовой дискомфорт отсутствовал. Начиная с апреля (560,6 ккал/м^2·ч) по октябрь (481,1 ккал/м^2·ч) ИХВ был ниже комфортной величины, что могло создавать условия перегрева. Максимальное значение (808,6 ± 46,0 ккал/м^2·ч) отмечено в январе. Однако при действии максимального ветра и минимальной температуры создавались условия для переохлаждения человека, одетого в зимнюю одежду: в октябре 1235,1 ± 76,2 ккал/м^2·ч – апреле 1202,3 ± 65,4 ккал/м^2·ч. Максимальное значение ИХВ было в январе: 1733,7±91,3 ккал/м^2·ч.

По ИПУОО при среднесуточных величинах скорости движения воздуха и температуре определяли умеренный риск обморожений в декабре (35,17 ± 1,2 ед.)–марте (34,2 ± 1,0 ед.) с максимумом в январе (37,85 ± 1,6 ед.). При действии максимального ветра и минимальной температуры период умеренного риска регистрировали с апреля по ноябрь, а в декабре–марте был возможен критический риск охлаждения (максимум в январе – 54,59 ± 1,9 ед.).

Средний уровень УФ-излучений области А в осенний сезон года был в 2,3 раза ниже, чем летом, а в весенний в 6,6 раза выше, чем зимой, однако относительно осеннего показателя весной он был ниже в 1,7 раза, чем осенью. В сентябре–марте уровень УФ инсоляции в г. Калининграде был в 2,6 раза ниже, чем в апреле–августе. Семь месяцев в году УФ-инсоляция варьировала в пределах 0,19–0,15 кВт · ч/м^2 с минимумом в декабре – 0,02 кВт · ч/м^2 (см. рисунок).

У студентов без признаков стресса показатели экспрессии гена в пробах, отобранных осенью, были ниже, чем при их наличии, в 3,2 раза. В весенних пробах статистически значимых различий не установлено (табл. 1). Количество копий транскрипта в крови студентов без признаков стресса, обследованных осенью, было в 10,5 раза меньше, чем при обследовании весной ($p = 0,001$). Также было меньше количество копий транскрипта в осенний период по сравнению с весенним у лиц при наличии у них признаков стресса – в 4,0 раза ($p = 0,001$).

У лиц женского пола без признаков стресса, обследованных осенью, количество копий транскрипта было в 3,6 раза меньше, чем при их наличии. При обследовании весной различий не выявлено. Количество копий транскрипта при отсутствии или наличии признаков стресса у лиц, обследованных осенью, было меньше соответственно в 13,5 ($p = 0,001$)

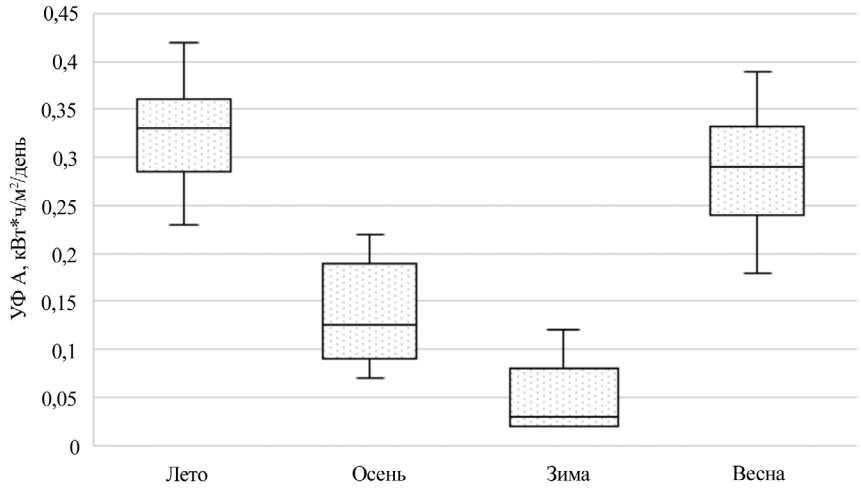


Рис. Показатели УФ-излучений области А по сезонам года, кВт-ч/м^2/день
Fig. UV radiation indicators of region A by seasons of the year, kWh/m2/day

Таблица 1

Показатели экспрессии гена у студентов, обследованных в различные сезона года, копий транскрипта

Table 1

Gene expression indices in students examined in different seasons of the year, transcript copies

Сезон года	Me	Q1	Q3
Осенний, в т. ч.			
Без признаков стресса (n = 54)	34,91	16,03	134,2
С признаками стресса (n = 36)	112,61	23,26	269,96
p	0,032		
Весенний, в т. ч.			
Без признаков стресса (n = 48)	365,05	106,3	562,45
С признаками стресса (n = 34)	455,4	311,6	634,75
p	0,144		

Таблица 2

Показатели экспрессии гена у студентов женского пола, обследованных в различные сезоны года, копий транскрипта

Table 2

Gene expression indices in female students examined in different seasons of the year, nscript copies

Сезон года	Me	Q1	Q3
Осенний, в т. ч.			
Без признаков стресса (n = 33)	36,82	12,88	105,89
С признаками стресса (n = 27)	130,91	27,0	210,68
p	0,029		
Весенний, в т. ч.			
Без признаков стресса (n = 32)	496,3	151,9	567,7
С признаками стресса (n = 35)	450,5	295,0	587,2
p	0,201		

и 3,4 раза (p = 0,001), чем обследованных весной (табл. 2).

У лиц мужского пола по сезонам обследования статистически значимых различий в количестве копий транскрипта при отсутствии или наличии признаков стресса не выявлено. Однако у лиц, обследованных осенью, при отсутствии признаков стресса, их число было меньше в 13,3 раза (p = 0,001), чем весной, а при наличии признаков – в 7,7 раза (p = 0,001) (табл. 3).

При сравнении показателей, определенных осенью в подгруппах мужского и женского полов без признаков стресса и при их наличии, различий не выявлено (p = 0,769 и p = 0,205). Весной статистическая значимость различий соответственно p = 0,142 и p = 0,474 при отсутствии признаков стресса также отсутствовала.

Результаты дисперсионного анализа показали значимое влияние сезона года (осень, весна) – F (1,175) = 28,43; p = 0,001): экспрессия гена *CDKN2A* выше весной по сравнению с осенью вне зависимости от других факторов. Установлена связь с наличием признаков стресса – F (1,175) = 6,21; p = 0,015): у студентов с признаками стресса уровень экспрессии гена выше, чем у студентов без таковых. Подтверждено значимое взаимодействие факторов сезон – стресс в группах обоего пола – F (1,175) = 4,18; p = 0,042); эффект стресса на экспрессию гена различался в зависимости от сезона: осенью связь между наличием стресса и уровнем экс-

Таблица 3

Показатели экспрессии гена у студентов мужского пола, обследованных в различные сезоны года, копий транскрипта

Table 3

Gene expression indices in male students examined in different seasons of the year, transcript copies

Сезон года	Me	Q1	Q3
Осенний, в т. ч.			
Без признаков стресса (n = 21)	26,5	16,66	68,52
С признаками стресса (n = 9)	66,39	9,46	83,86
p	0,82		
Весенний, в т.ч.			
Без признаков стресса (n = 21)	353,6	97,05	495,05
С признаками стресса (n = 5)	510,3	272,7	444,85
p	0,069		

прессии более выражена, весной различия между группами сглаживались.

Обсуждение. Студенты, обследованные осенью, находились в состоянии социальной и биологической адаптации. У студентов, обследованных весной, накапливалась усталость, обусловленная интенсификацией обучения, напряженным режимом и учебной нагрузкой [11].

Показатели количества копий транскрипта у студентов с признаками стресса 1-й и 2-й групп дали основание полагать, что условия студенческой жизни приводили к увеличению экспрессии гена *CDKN2A*, что подтверждено дисперсионным анализом. Вместе с тем были определены особенности в величинах экспрессии гена *CDKN2A* у студентов 1-й и 2-й групп. Так, количество копий транскрипта при наличии и отсутствии признаков стресса при обследовании осенью было меньше, чем при обследовании весной. Возможно, это было связано с действием других факторов, например, влиянием погодных условий региона Балтийского моря, отличающихся высокой степенью изменчивости из-за противоположного воздействия влажных и относительно мягких морских воздушных потоков из северной части Атлантического океана и евразийского континентального климата. Климат характеризуется чрезвычайно изменчивыми погодными условиями из-за своего положения во внетропическом поясе между арктическими и субтропическими воздушными массами. Значительные изменения температуры связаны с интенсивностью североатлантического колебания, особенно зимой и весной. Высокая влажность в регионе делает субъект более подверженным воздействиям скопления водного пара, парникового газа, поступающих в атмосферу в гораздо больших объемах, чем остальные [12, 13]. Такой климат оказывает влияние на организм человека в виде умеренного и слабого холодового стресса [14].

Проведенная нами оценка биоклиматической комфортности в анклаве по биоклиматическим индексам подтверждала наличие холодового риска для населения в октябре–апреле. Для этого использовали ИХВ и ИПУОО, которые рекомендованы для оценки риска работающих на открытой территории.

Другим немаловажным фактором риска для здоровья в условиях Прибалтики является недостаточность ультрафиолетовой инсоляции в сентябре–марте. Можно полагать, что это приводило к дефициту витамина D. Ряд авторов показал наличие связи между уровнем витамина D с депрессией и тревожностью [15]. Поскольку г. Калининград находится в зоне сниженного солнечного облучения [16], то в осенне-зимне-весенний периоды года эндогенный синтез витамина D недостаточен для обеспечения потребности организма в витамине D [17].

В группах студентов обоего пола также были выявлены особенности. Среди студенток, обследованных осенью, в подгруппе с признаками стресса, количество копий транскрипта было значительно больше, а у обследованных весной их не оказалось. В мужских подгруппах

ни в один сезон года статистически значимые различия не обнаружены. Вероятно, это было связано с более низкой эмоциональной устойчивостью студенток, чем у студентов, особенно в начальный период обучения [18, 19]. Наши данные подтверждены и результатами других авторов, установивших, что среди студенток медицинского вуза встречаемость лиц с признаками депрессии выше, чем у студентов [20].

Таким образом, исследования свидетельствуют о том, что на развитие тревожно-депрессивных состояний у студентов, подтвержденных экспрессией гена *CDKN2A* и дисперсионным математическим анализом, оказывают сочетанное влияние факторы риска здоровью, обусловленные не только условиями студенческого образа жизни, но и климата Прибалтики. Результаты работы определяют необходимость проведения большего объема профилактической работы при адаптации к условиям обучения среди лиц женского пола по сравнению с мужским; разработку и внедрение оздоровительных мероприятий по снижению уровня стресса в зимне-весенний период года среди всех когорт студентов.

Заключение. У студентов мужского и женского пола в условиях климата Прибалтики экспрессия гена *CDKN2A* в весенний период года, по сравнению с осенним, увеличивается при отсутствии признаков стресса соответственно в 13,3 (p = 0,001) и 13,5 (p = 0,001) раза, а при их наличии в 7,7 (p = 0,001) и 3,4 (p = 0,001) раза. Это доказывает влияние на их здоровье комплекса факторов риска среды обучения и обитания. У лиц женского пола осенью число копий транскрипта при наличии признаков стресса в 3,6 (p = 0,029) раза больше, чем при их при отсутствии; при нехарактерной особенности в группе лиц мужского пола более вероятно обусловленное меньшей эмоциональной устойчивостью девушек при адаптации к новым социальным условиям жизни. Экспрессия гена *CDKN2A* может служить индикатором ухудшения здоровья студентов.

Сведения об авторах

Рахманов Рофаиль Салыхович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры гигиены, Приволжский исследовательский медицинский университет; Россия, 603905, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1; ORCID:0000-0003-1531-5518; e-mail: raf53@mail.ru

Тарасов Андрей Вячеславович – доктор медицинских наук, доцент, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения ОНК «Институт медицины и наук о жизни», Балтийский федеральный университет им. И. Канта; Россия, 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14. ORCID 0000-0001-5749-1216; e-mail: drup1@yandex.ru

Скоблина Наталья Александровна – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры гигиены, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, д. 1; ORCID 0000-0001-7348-9984; e-mail: skoblina_dom@mail.ru

Богомолова Елена Сергеевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой гигиены, Приволжский исследовательский медицинский университет; Россия, 603905, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1; ORCID: 0000-0002-1573-3667; e-mail: olenabgm@rambler.ru

Разгулин Сергей Александрович – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой медицины катастроф, Приволжский исследовательский медицинский университет; Россия, 603905, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1; ORCID: 0000 0001-8356- 2970; e-mail: kafedramk@pimunn.net

Information about the authors

Rofail S. Rakhmanov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Hygiene, Privolzhsky Research Medical University; Russia, 603905, Nizhny Novgorod, Minin and Pozharsky Sq., 10/1; ORCID: 0000-0003-1531-5518; e-mail: raf53@mail.ru

Andrey V. Tarasov – *Dr.* of Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Public Health and Healthcare, Public Scientific Center “Institute of Medicine and Life Sciences”, Immanuel Kant Baltic Federal University; Russia, 236041, Kaliningrad, Alexandr Nevskiy Str., 14; ORCID 0000-0001-5749-1216; e-mail: drup1@yandex.ru

Natalia A. Skoblina – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Hygiene, Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov; Russia, 117513, Moscow, Ostrovityanova St., Building 1; ORCID 0000-0001-7348-9984; e-mail: skoblina_dom@mail.ru

Elena S. Bogomolova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Hygiene, Privolzhsky Research Medical University; Russia, 603905, Nizhny Novgorod, Minin and Pozharsky Sq., 10/1; ORCID: 0000-0002-1573-3667; mail: olenabgm@rambler.ru

Sergey A. Razgulin – Dr. of Sci. (Med.), assistant professor, Head of the Department of Disaster Medicine, Privolzhsky Research Medical University; Russia, 603905, Nizhny Novgorod, Minin and Pozharsky Sq., 10/1; ORCID: 0000 0001-8356-2970; e-mail: kafedramk@pimunn.net

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Р. С. Рахманов; сбор и математический анализ данных — А. В. Тарасов, литературный обзор — С. А. Разгулин; подготовка рукописи — Р. С. Рахманов, Е. С. Богомолова, Н. А. Скоблина.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: RSR concept and design of the study. AVT data collection and mathematical analysis. SAR literature review. RSR, ESB, NAS manuscript preparation.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Соответствие принципам этики. Исследование было проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (в редакции 2013 г.) и одобрено этическим комитетом БФУ им. И. Канта (Протокол № 38 от 31.03.2023 г.). От всех участников было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Adherence to ethical standards: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (as amended in 2013) and approved by the ethical committee of the Immanuel Kant Baltic Federal University (Minutes No. 38 of March 31, 2023). Written informed consent was obtained from all participants to participate in the study.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Financing. The study was not sponsored.

Поступила/Received: *27.02.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Лисовский О. В., Грицинская В. Л., Колотилов Л. В. Сравнительная оценка нервно-психического состояния первокурсников и студентов старших курсов медицинского вуза // *Профилактическая и клиническая медицина.* 2024. № 2(91). С. 91–96 [Lisovsky O. V., Gritsinskaya V. L., Kolotilov L. V.Comparative assessment of the neuropsychic state of first-year and senior students of a medical university. *Preventive and clinical medicine*, 2024, No. 2 (91), pp. 91–96 (In Russ.)].
2. Шестёра А. А., Транковская Л. В., Капцов В.А., Нагирная Л. Н. Современная характеристика состояния здоровья студентов высших учебных заведений и факторов, его формирующих (обзор литературы) // *Гигиена и санитария.* 2024. Т. 103, № 11. С. 1361–1367 [Shestera A. A., Trankovskaya L. V., Kaptsov V. A., Nagirnaya L. N. Modern characteristics of the health status of students of higher educational institutions and the factors that shape it (literature review). *Hygiene and Sanitation*, 2024, Vol. 103, No. 11, pp.1361–1367 (In Russ.)]. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-11-1361-1367.
3. Тимофеев Д. А., Сазанова Г. Ю., Цвигайло М. А. Высокий уровень тревожности как значимый фактор риска в оценке здоровья и социального самочувствия студентов медицинского университета // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины.* 2023. Т. 31, № 6. С. 1390–1395 [Timofeev D. A., Sazanova G. Yu., Tsvigailo M. A. High level of anxiety as a significant risk factor in assessing the health and social well-being of medical university students. *Problems of social hygiene, health care and history of medicine*, 2023, Vol. 31, No. 6, pp. 1390–1395 (In Russ.)]. doi: 10.32687/0869-866X-2023-31-6-1390-1395.
4. Петров А. В., Петрова М. М., Каскаева Д. С., Шнайдер Н. А. Скрининг тревожно-депрессивных расстройств у студентов-медиков // *Забайкальский медицинский вестник.* 2024. № 1. С. 81–99 [Petrov A. V., Petrova M. M., Kaskaeva D. S., Schneider N. A. Screening for anxiety and depressive disorders in medical students. *Transbaikal Medical Bulletin*, 2024, No. 1, C. 81–99 (In Russ.)]. doi: 10.52485/19986173_2024_1_81.
5. Rentscher K. E., Rentscher K. E., Carroll J. E., Repetti R. L., Cole SW, Reynold B. M., et al. Chronic stress exposure and daily stress appraisals relate to biological aging marker p16INK4a. *Psychoneuroendocrinology*, 2019, No.102, pp. 139–148. doi: 10.1016/j.psyneuen.
6. Lyons C. E., Pallais J. P., McGonigle S., Mansk R. P., Collinge C. W., Yousefzaden M. J., et al. Chronic social stress induces p16-mediated senescent cell accumulation in mice. *Nat Aging*, 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 48–64. doi: 10.1038/s43587-024-00743-8.
7. Lau V., Awogbindin I., M-È Tremblay. Chronic stress induced senescence build-up early in life. *Nat Aging*, 2025, Vol. 5, No 1, pp. 12–14. doi: 10.1038/s43587-024-00774-1.
8. Tarasov A. V., Rakhmanov R. S., Bogomolova E. S., Piskarev Yu. G. Assessment of the Baltic Sea Climate Change Impact on Health. *Pure and Applied Geophysics*, 2021, Vol. 178, No 3, pp. 1–6. doi: 10.1007/s00024-020-02650-6.
9. Zigmond A. S., Snaith R. P. The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand,* 1983. Vol. 67, No. 6. pp. 361–370. doi: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x.
10. Морозова М. А., Потанин С. С., Бениашвили А. Г., Бурминский Д. С., Лепилкина Т. А., Рупчев Г. Е. и др. Валидация русскоязычной версии Госпитальной шкалы тревоги и депрессии в общей популяции // *Профилактическая медицина.* 2023. Т. 26, № 4. С. 7–14 [Morozova M. A., Potanin S. S., Beniashvili A. G., Burminsky D. S., Lepilkina T. A., Rupchev G. E., et al. Validation of the Russian-language version of the Hospital Anxiety and Depression Scale in the general population. *Preventive Medicine*, 2023, Vol. 26, No. 4, pp. 7–14 (In Russ.)].
11. Fauzi M. F., Anuar T. S., Teh L. K., Wai F. L., James R. J., Ahmad R., et al. Stress, Anxiety and Depression among a Cohort of Health Sciences Undergraduate Students: The Prevalence and Risk Factors. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, Vol. 18, pp. 3269. doi: 10.3390/ijerph18063269.

12. Meier H. E. M., Kniebusch M., Dieterich C., Groger M. Climate change in the Baltic Sea region: A summary. *Earth Syst Dyn*, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 457–593. doi: 10.5194/esd-13-457-2022.
13. Баринова Г. М., Гаева Д. В., Романчук А. Ю. Изменения климата и угрозы здоровью населения в Калининградской области // *Географическая среда и живые системы*. 2025. № 1. С. 87–96 [Barinova G. M., Gaeva D. V., Romanchuk A. Yu. Climate change and threats to public health in the Kaliningrad region. *Geographical environment and living systems*, 2025, No. 1, pp. 87–96 (In Russ.)]. doi: 10.18384/2712-7621-2025-1-87-96.
14. Storie J., Suškevičs M., Nevzati F., Kulvik M., Kuhn T., Burkhard B., et al Evidence on the impact of Baltic Sea ecosystems on human health and well-being: a systematic map. *Environ Evid*, 2021,Vol. 10, No. 30, pp. 30. doi: 10.1186/s13750-021-00244-w.
15. Zhang Z., Yang X., Jia Y. Vitamin D and the Risks of Depression and Anxiety: An Observational Analysis and Genome-Wide Environment Interaction Study. *Nutrients*, 2021, Vol. 13, No. 10, pp. 3343. doi: 10.3390/nu13103343.
16. Баринова Г. М. *Калининградская область. Климат*. Калининград: Янтарный сказ. 2002. 194 с. [Barinova G. M. *Kaliningrad Oblast. Climate*. Kaliningrad: Amber Tale, 2002, 194 p. (In Russ.).
17. Кривошеев В. В., Козловский И. В., Никитина Л. Ю. Дефицит витамина D –показатель высокой смертности // *Санитарный врач*. 2024. № 2. С. 125–141 [Krivosheev V. V., Kozlovsky I. V., Nikitina L. Yu. Vitamin D deficiency – an indicator of high mortality. *Sanitary doctor*, 2024, № 2, C. 125–141 (In Russ.)]. doi: 10.33920/med-08-2402-05.
18. Van de Velde S., De Cuyper A., De Kort L, Jaacobs K. An international comparison of gender differences in mental health among higher-education students during the first wave of the COVID-19 pandemic: a multilevel design. *Arch Public Health*, 2023, Vol. 81, No. 1, pp. 211. doi:10.1186/s13690-023-01211-2.
19. Zhu Y., Liang W. M., Jiang K., Truskauskaitė I., Bai Z., Rukšėnas O. Mental well-being of college students: focus on sex differences and psycho physiological indices. *BMC Public Health*, 2025, Vol. 25, No. 1, pp. 3038. doi: 10.1186/s12889-025-24231-9.
20. Яскевич Р. А., Москаленко О. Л. Ассоциация проблемного использования социальных сетей с показателями депрессии по шкале HADS у студентов медицинского университета // *Russian Journal of Education and Psychology*. 2024. Т. 15, № 1. С. 251–273 [Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Association of problematic use of social networks with depression scores on the HADS scale in medical university students. *Russian Journal of Education and Psychology*, 2024, Vol. 1, No. 1, pp. 251–273 (In Russ.)]. doi: 10.12731/2658-4034-2024-15-1-528.

УДК 614.872.2

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЛАЗА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПОД ВОДОЙ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

[1]А. Ю. Зайцева, [1]М. С. Мазинг, [1]И. Е. Антифеев, [2]А. Н. Ятманов, [2]З. А. Левченко*

[1]Институт аналитического приборостроения Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

[2]40-й Государственный научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

ЦЕЛЬ. Определить возможности применения неинвазивных портативных индивидуальных датчиков контроля функционального состояния водолазов при выполнении работ под водой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В экспериментальных исследованиях были использованы системы средств мониторинга функционального состояния «Водолазный оптический датчик автоматический-4» («ВОДА-4»). Аппаратно-программный комплекс представляет собой источник и детектор излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона, снабженный микропроцессорным устройством для обработки и визуализации данных. Для решения задачи контроля функционального состояния водолазов были использованы модификации системы в виде нательных носимых датчиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Проведенные исследования показали, что аппаратно-программный комплекс «ВОДА-4» обладает необходимыми техническими характеристиками для обеспечения регистрации показателей функционального состояния организма водолаза при выполнении им работ под водой. Доказано, что аппаратно-программный комплекс «ВОДА-4» позволяет оперативно и неинвазивно осуществлять контроль состояния водолаза с помощью метода обратно рассеянного излучения в биологических тканях по показаниям 18 оптических датчиков видимого и ближнего инфракрасного диапазона длин волн.

ОБСУЖДЕНИЕ. Выявлены индивидуальные типологические особенности состояния тканевого кровотока, которые отражали компенсаторные реакции организма испытуемых на воздействие повышенного гидростатического давления. Показано, что значения интенсивности обратно рассеянного излучения на выбранных длинах волн существенно снижаются во время погружения под воду и восстанавливаются до значений значительно выше покоя при достижении заданной глубины. Сложность оценки полученных результатов заключается в том, что фактически отсутствует понимание «нормы» при регистрации показателей деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем или изменения колебания уровня лактата и глюкозы в период выполнения работ под водой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Аппаратно-программный комплекс «ВОДА-4», в состав которого входят портативные индивидуальные датчики контроля функционального состояния, позволяет контролировать изменение физиологических показателей водолазов в условиях гипербарии при выполнении водолазных работ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, водолазные работы, датчики функционального состояния, программно-аппаратный комплекс

***Для корреспонденции:** *Зайцева Анна Юрьевна, e-mail: anna@da-24.ru*
***For correspondence:** *Anna Yu. Zaytseva, e-mail: anna@da-24.ru*

Для цитирования: Зайцева А. Ю., Мазинг М. С., Антифеев И. Е., Ятманов А. Н., Левченко З. А. Возможности применения индивидуальных датчиков контроля функционального состояния водолаза при выполнении работ под водой: пилотное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 75–82, EDN: https://elibrary.ru/CNKZBI

For citation: Zaitseva A. Yu., Mazing M. S., Antifeev I. E., Yatmanov A. N., Levchenko Z. A. Possibilities of using individual sensors to monitor functional divers' state when performing underwater work: pilot study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 75–82, EDN: https://elibrary.ru/CNKZBI

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

POSSIBILITIES OF USING INDIVIDUAL SENSORS TO MONITOR FUNCTIONAL DIVERS' STATE WHEN PERFORMING UNDERWATER WORK: PILOT STUDY

[1]Anna Yu. Zaytseva, [1]Maria S. Mizing, [1]Ivan E. Antifeev, [2]Alexey N. Yatmanov, [2]Zemfira A. Levchenko*

[1]Institute of Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences, St Petersburg, Russia
[2]40 State Research Institute, Saint Petersburg, Russia

OBJECTIVE. To determine the possibilities of using non-invasive portable individual sensors for monitoring the divers' functional state when performing work underwater.

MATERIALS AND METHODS. The "Diving Automatic Optical Sensor-4" (VODA-4) functional state monitoring system was used in the experimental studies. The hardware and software system consists of a source and detector of visible and near-infrared radiation, equipped with a microprocessor for data processing and visualization. To address the problem of monitoring the divers' functional state, modifications of the system in the form of wearable body sensors were used.

RESULTS. Conducted studies have shown that the VODA-4 hardware and software system possesses the necessary technical characteristics to ensure the recording of divers' functional state indicators during underwater work. It has been proven that the VODA-4 hardware and software system enables rapid and non-invasive monitoring of a diver's condition using backscattered radiation in biological tissue based on readings from 18 optical sensors in the visible and near-infrared wavelength ranges.

DISCUSSION. Individual typological characteristics of tissue blood flow were identified, reflecting the subjects' compensatory responses to elevated hydrostatic pressure. It was shown that backscattered radiation intensity at selected wavelengths significantly decreases during immersion and recovers to values significantly above resting levels upon reaching a given depth. The difficulty in evaluating the obtained results lies in the virtual lack of understanding of the "norm" when recording cardiovascular and respiratory system performance indicators or changes in lactate and glucose levels during underwater work.

CONCLUSION. The hardware and software complex "VODA-4", which includes portable individual sensors for monitoring the functional state, allows monitoring changes in divers' physiological parameters in hyperbaric conditions during diving operations.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, diving operations, functional state sensors, hardware and software system

Введение. В настоящее время особую актуальность приобретает создание систем мониторинга, позволяющих контролировать состояние военнослужащего при выполнении им поставленной задачи в режиме реального времени. На сегодняшний день решение этого вопроса активно происходит и в водолазной медицине. Выполнение водолазных работ сопровождается высокими нагрузками на организм человека, которые связаны с воздействием повышенного гидростатического давления, составом искусственных дыхательных газовых смесей, изолированностью от окружающей среды, особенностями водолазного снаряжения и прочими факторами. При работе водолаза в вентилируемом снаряжении существует ограниченная возможность по кабель-шланговой связке получать условными сигналами информацию о возникновении нештатной ситуации под водой. При работе в автономном снаряжении такой возможности нет. В обоих вариантах у обеспечивающего водолазный спуск медицинского работника отсутствует возможность контроля физиологического состояния водолаза с целью своевременной диагностики возникающих патологических реакций. Многие критические изменения здоровья водолазов, вплоть до летального исхода, связаны с поздним принятием решения о прекращении водолазного спуска и подъеме его на поверхность [1].

Создание системы, использующей информационно-коммуникационные технологии, основанной на неинвазивной диагностике патологических состояний у лиц, работающих под водой, представляет собой актуальную научно-техническую задачу. Ее решение направлено на сохранение жизни и профессионального долголетия специалистов, выполняющих работу на глубине [2]. Эта задача отражена в Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г., определяющей необходимость совершенствования системы

медико-санитарного обеспечения и водолазной медицины[1].

Современные исследования в области биофизики и физиологии человека показывают, что по изменениям оптических параметров биологических тканей можно судить о нарушениях деятельности сердечно-сосудистой системы, микроциркуляции, обмена веществ и о возникновении патологических изменений [3]. Эти реакции могут быть зафиксированы с помощью оптических датчиков, размещаемых на поверхности кожи. Датчики, установленные на верхней части груди и запястье, позволяют определять изменения параметров обратного рассеяния излучения, которые расшифровываются с помощью автоматизированных программных алгоритмов. Регистрация показателей в режиме реального времени позволяет своевременно определять отклонения их от нормальных значений.

Научная новизна работы состоит в использовании нового принципа оценки физиологического состояния организма по показателям изменения микроциркуляторного русла и сердечного ритма. Существующие неинвазивные методы анализа при массе достоинств имеют ряд недостатков. Одним из них является низкая степень достоверности оценки функционального состояния организма испытуемых [4, 5]. Очевидным путем устранения этого недостатка является увеличение количества анализируемых параметров и многократное дублирование измерительных трактов, однако такая система будет иметь ряд существенных эксплуатационных ограничений. Использование программ и модулей обработки сигналов изменения физиологических показателей на основе алгоритмов машинного обучения позволяет, с одной стороны, учитывать индивидуальные особенности человека, а с другой – выявлять наиболее значимые преобразования физиологических показателей и на их основе выдавать оценку текущего состояния без длительного периода накопления данных [6].

Мониторинг физиологического состояния с помощью носимых устройств является частью современной доказательной медицины, которая позволяет прогнозировать работоспособность человека на основе оценки параметров функционального состояния [7]. В практике водолазной медицины портативные датчики физиологического состояния используют в условиях барокамеры при отсутствии контакта с водой [8]. Это – так называемая система оперативного медицинского контроля. Однако она не может быть использована при работе водолаза под водой. Предлагаемое нами носимое устройство позволяет осуществлять непрерывное наблюдение за физиологическими показателями в период работы под водой. Передача сигналов из-под воды осуществляется с помощью проводной связи по кабель-шланговой связке, а при ее отсутствии – с помощью беспроводной звукоподводной связи.

Цель. Анализ возможности применения неинвазивных портативных датчиков контроля функционального состояния человека при проведении водолазных работ.

Материалы и методы. В качестве датчика контроля состояния водолаза использовали систему средств мониторинга функционального состояния военнослужащего «Водолазный оптический датчик автоматический-4» («ВОДА-4»), разработанную в ФГБУН «Институт аналитического приборостроения РАН» (Санкт-Петербург). Аппаратно-программный комплекс представляет собой источник и детектор излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона, снабженный микропроцессорным устройством для обработки и визуализации данных. Блок-схема аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4» приведена на рис. 1.

Принцип работы периферической части прибора следующий. Световой поток формируется поочередно с помощью двух источников излучения (ИИ), один из которых излучает свет в красном диапазоне, другой – в инфракрасном. Источники излучения питаются от автономного источника тока (ИТ). Переключение излучателей осуществляется с помощью коммутатора (Км). Поток проходит через блок обработки (БО) и поступает на фотоприемник (ФПр). Полученный сигнал пропускается через усилитель (У). Система автоматической регулировки усиления (АРУ) позволяет поддерживать выходные сигналы усилительного каскада на заданном уровне. Визуальное представление периферических датчиков аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4» представлено на рис. 2.

[1]Стратегия развития морской деятельности России до 2030 г. утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2010 г. No. 2205-р.

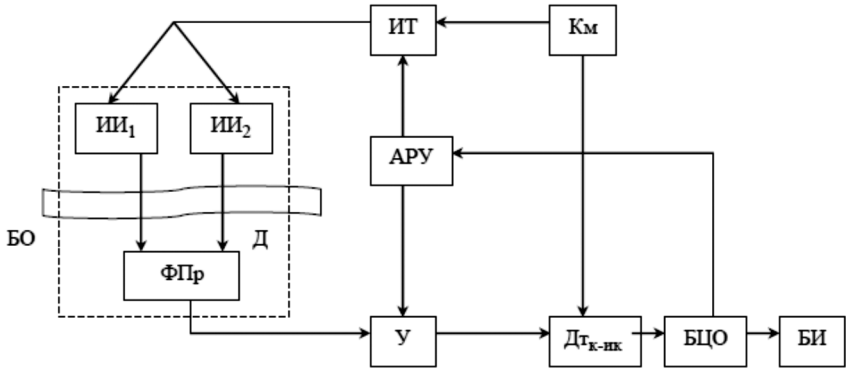


Рис. 1. Блок-схема аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4»
Fig. 1. Block diagram of the hardware and software complex "VODA-4"



Рис. 2. Датчики комплекса «ВОДА-4», фиксируемые на руке водолаза перед спуском
Fig. 2. Sensors of the VODA-4 complex, fixed on the diver's hand before descent

Дизайн исследования заключался в проведении двух этапов:

1-й – определение устойчивости датчиков к повышенному давлению в барокамере;

2-й – определение устойчивости датчиков к воздействию влаги в условиях водолазного спуска.

На 1-м этапе исследования датчики были помещены в барокамеру. Используемая среда – воздух. Давление повышалось трехкратно: до 0,2 МПа, до 0,5 МПа и до 1 МПа. После компрессии выдержка на достигнутой глубине составляла 10 мин. Снижение давления проводилось безостановочно. После выравнивания давления с атмосферным датчики осматривали визуально на предмет отсутствия внешних повреждений. Затем подключали к испытателю, у которого проводили регистрацию показателей деятельности сердечно-сосудистой системы с передачей данных на компьютер.

Проведенное исследование на 1-м этапе показало устойчивость портативных датчиков к воздействию повышенного давления до 1 МПа с сохранением работоспособности, возможности регистрации данных и их передачи на компьютер оператора. На рис. 3 представлена фотофиксация 1-го этапа исследования датчиков.

Задача 2-го этапа исследования заключалась в оценке физиологического состояния водолаза при выполнении водолазных работ в условиях испытательного бассейна с достижением глубины погружения 6 м. Использовался гидрокомбинезон мокрого типа и дыхательный аппарат с открытой схемой дыхания. Водолаз выполнял работу в бассейне в течение 10 мин. Датчики устанавливали на область предплечья, фиксировали тейпами к поверхности кожи. В целях исключения воздействия влаги на область контакта датчика с поверхностью кожи использовали гидроизоляцию. Регистрацию осуществляли по методологии абсорбционной спектроскопии светорассеивающих и поглощающих свет сред. С помощью спектрофотометрического канала прибора оценивали объемное кровенаполнение микроциркуляторного русла ткани в зоне измерения. Полученные данные аккумулировались в накопителе датчика с последующим их анализом после выхода водолаза на поверхность. На данном этапе передача данных на поверхность не осуществлялась. Фотофиксация 2-го этапа экспериментальных исследований приведена на рис. 4.

Методологически 2-й этап исследований выглядел следующим образом. После надевания



Рис. 3. Экспериментальные исследования аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4» при воздействии повышенного давления
Fig. 3. Experimental studies of the hardware and software complex "VODA-4" under the influence of high pressure

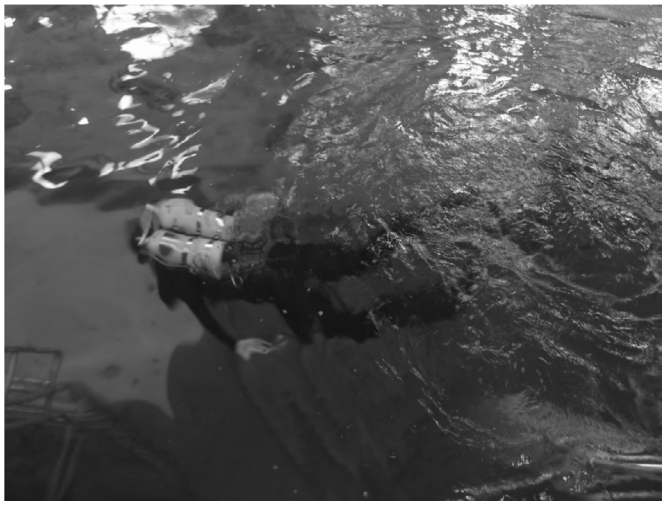


Рис. 4. Экспериментальные исследования функционального состояния водолаза с использованием аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4» в водолазном бассейне
Fig. 4. Experimental studies of the functional state of a diver using the hardware and software complex "VODA-4" in a diving pool

водолазного снаряжения, под который устанавливали датчики, начиналась регистрация показателей в течение 2 мин – состояние относительного функционального покоя или исходный фон. Затем водолаз подключался к дыхательному аппарату, погружался в бассейн и выполнял в течение 3 мин плавательные движения без существенной нагрузки. Регистрация показателей велась в непрерывном режиме. Затем водолаз погружался с грузами на глубину до 6 м, перемещая грузы по дну бассейна, – проба с нагрузкой в течение 3 мин. После выполнения работы с грузами на глубине водолаз всплывал на поверхность и совершал плавательные движения без существенной нагрузки 2 мин – состояние восстановления. Таким образом, общее время проведения пробы занимало 10 мин для каждого испытуемого. Основное назначение пробы с погружением в качестве функциональной нагрузки заключалось в провокации сосудистых реакций. Фиксировалось изменение кровенаполнения конечностей вследствие повышения общей нагрузки – артериальный приток и адекватное притоку усиление венозного оттока от конечности. Параметры, по которым в дальнейшем определяли функциональное состояние, – это частота сердечных сокращений, их ритмичность, ударная и пульсовая волна, пульсоксиметрия. Резервные возможности систем оценивали по приросту перечисленных показателей, происходящему во время восстановления, и его скорости. В перспективе будет рассмотрена возможность оценки показателей метаболизма тканей, а именно: повышение уровня лактата, колебания уровня глюкозы крови, изменяющие ее оптическую плотность, регистрируемую датчиками [9].

Результаты. При экспериментальных исследованиях в барокамере при максимальном давлении 1 МПа и длительности экспозиции 10 мин была продемонстрирована принципиальная работоспособность датчиков комплекса «ВОДА-4».

При проведении водолазного спуска в условиях испытательного бассейна до глубины 6 м

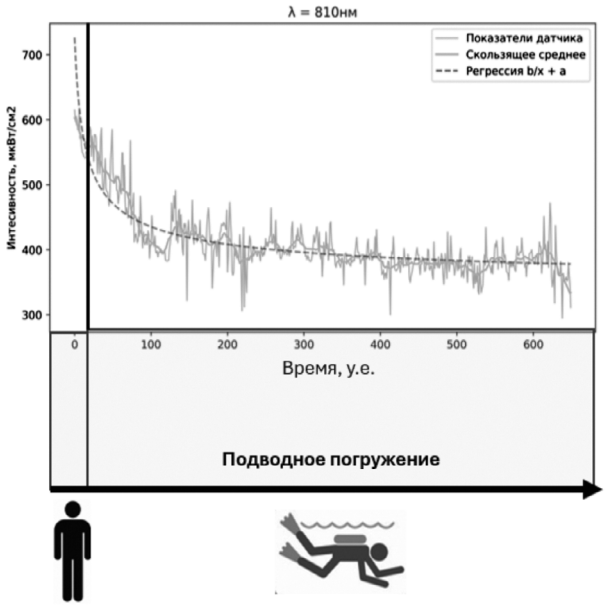


Рис. 5. Изменения уровня кровенаполнения во времени для биологических тканей водолаза при проведении спуска на глубину до 6 м (регистрация произведена на длине волны 810 нм на этапах экспериментального исследования в покое и подводного погружения)

Fig. 5. Changes in the blood filling level over time for the biological tissues of a diver during a dive to a depth of up to 6 meters (recording was made at a wavelength of 810 nm at the stages of the experimental study at rest and underwater immersion)

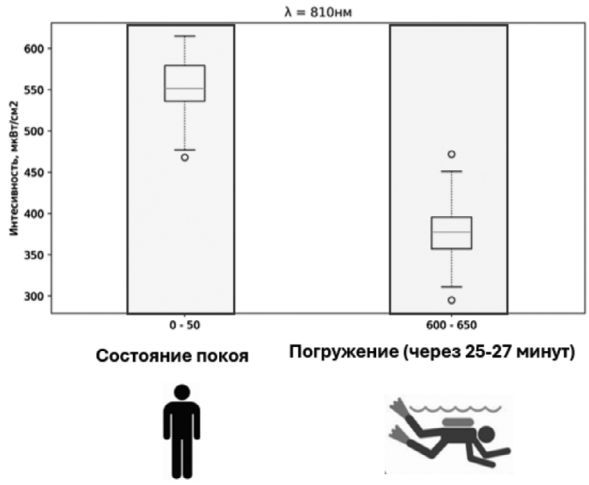


Рис. 6. Средний уровень кровенаполнения относительно состояния покоя для биологических тканей водолаза при проведении спуска на глубину до 6 м (регистрация произведена на длине волны 810 нм на этапах экспериментального исследования в покое и через 25–27 мин подводного погружения)

Fig. 6. Average blood filling level relative to the resting state for biological tissues of a diver during a dive to a depth of up to 6 meters (registration was made at a wavelength of 810 nm at the stages of the experimental study at rest and after 25–27 minutes of underwater diving)

были получены значения параметров обратнорассеянного в биологических тканях излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона длин волн для каждого испытуемого до и во время функциональной нагрузки.

Показатели отклика тканей для всех испытуемых позволили отразить информацию о функциональном состоянии, кислородном обеспечении и динамике изменений параметров микроциркуляторного русла у обследуемых за весь период эксперимента. В дальнейшем результаты обрабатывали с использованием программного анализа данных. Зарегистрированные изменения показателей уровня кровенаполнения относительно состояния покоя для биологических тканей водолаза при проведении спуска на глубину до 6 м приведены на рис. 5, средний уровень со статистическим разбросом значений – на рис. 6.

Обсуждение. При экспериментальных исследованиях в барокамере была показана принципиальная работоспособность аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4» и возможность его применения при проведении водолазных спусков для контроля функционального состояния.

В ходе анализа результатов экспериментальных исследований водолазов были выявлены индивидуальные типологические особенности состояния тканевого кровотока, которые отражали компенсаторные реакции организма испытуемых на воздействие повышенного гидростатического давления. Показано, что значения интенсивности обратно рассеянного излучения на выбранных длинах волн существенно снижаются во время погружения под воду и восстанавливаются до значений значительно выше покоя при достижении заданной глубины. При этом степень выраженности изменений тканевого кровотока конечностей, которую можно наблюдать по постепенному снижению значений показателей датчиков разработанной оптической системы, во время выполнения водолазом работ под водой у всех испытуемых

являлась схожей. Восстановление капиллярного кровотока в русле конечностей у испытуемых происходило с разной динамикой, что говорит о том, что реакция микроциркуляторного русла на нагрузку у испытуемых не является одинаковой. Малое количество проведенных исследований не позволяет выявить закономерности обнаруженных изменений. Такая задача не ставилась на данном этапе исследований, так как они проводились впервые.

Сложность оценки полученных результатов заключается еще и в том, что фактически отсутствует понимание «нормы» при регистрации показателей деятельности сердечно-сосудистой, дыхательной систем или изменения колебания уровня лактата и глюкозы в период выполнения работ под водой. Для того, чтобы понимать это, необходимо проведение большого количества исследований во многих типах снаряжения и при использовании различных искусственных газовых смесей, так как влияние кислорода или азота под повышенным давлением на организм водолаза будет проявляться по-разному. Такие данные получены для условий барокамеры, но для работы под водой в условиях реального водолазного спуска их следует еще определить. В перспективе при создании полноценного аппаратно-программного комплекса с передающим данные на поверхность устройством такие градации будут разработаны за вполне короткое время. Однако уже сейчас стало понятным, что предлагаемые датчики работоспособны и информативны.

Дальнейшее изучение возможностей регистрации показателей физиологического состояния водолазов при выполнении работ в режиме реального времени требует совершенствования гидроизоляции датчиков, модификации передачи данных по гидроакустическому каналу, адаптации программного обеспечения под поставленные задачи.

Заключение. Анализируя результаты проведенных исследований, можно говорить об эффективности применения разработанных неинвазивных портативных носимых датчиков, реализованных в виде аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4» для контроля функционального состояния водолазов при проведении работ под водой в режиме реального времени.

Сведения об авторах

Зайцева Анна Юрьевна – старший научный сотрудник, Институт аналитического приборостроения Российской академии наук; Россия, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 31–33, лит. А; e-mail: anna@da-24.ru

Мазинг Мария Сергеевна – младший научный сотрудник, Институт аналитического приборостроения Российской академии наук; Россия, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 31–33, лит. А; e-mail: mazmari@mail.ru

Антифеев Иван Евгеньевич – научный сотрудник, Институт аналитического приборостроения Российской академии наук; Россия, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 31–33, лит. А; e-mail: antifeevie@bk.ru

Ятманов Алексей Николаевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник, 40 Государственный научно-исследовательский институт; Россия, 188512, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, 4; ORCID: 0000-0003-0043-3255; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Левченко Земфира Ахатовна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник, 40 Государственный научно-исследовательский институт; Россия, 188512, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, 4; e-mail: zalew@msil.ru

Information about the authors

Anna Yu. Zaitseva – Senior Researcher, Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences; Russia, 198095, Saint Petersburg, Ivan Chernykh Str., Bldg 31–33, Lit. A; e-mail: anna@da-24.ru

Maria S. Mazing – Junior Researcher, Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences; Russia, 198095, Saint Petersburg, Ivan Chernykh Str., Bldg 31–33, Lit. A; e-mail: mazmari@mail.ru

Ivan E. Antifeev – Researcher, Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences; Russia, 198095, Saint Petersburg, Ivan Chernykh Str., Bldg 31–33, Lit. A; e-mail: antifeevie@bk.ru

Alexey N. Yatmanov – Cand. of Sci. (Med.), Researcher, 40th State Research Institute; Russia, 188512, Saint Petersburg, Lomonosov, Morskaya Str., 4; ORCID: 0000-0003-0043-3255; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Zemfira A. Levchenko – Cand. of Sci. (Med.), Researcher, 40th State Research Institute; Russia, 188512, Saint Petersburg, Lomonosov, Morskaya Str., 4; e-mail: zalew@msil.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом. Концепция и план исследования — А. Ю. Зайцева, М. С. Мазинг, И. Е. Антифеев, З. А. Левченко; сбор данных — И. Е. Антифеев, З. А. Левченко; анализ данных и выводы — А. Н. Ятманов; подготовка рукописи — А. Ю. Зайцева, М. С. Мазинг, И. Е. Антифеев, А. Н. Ятманов, З. А. Левченко.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.
Special contribution: AYuZ, MSM, IEA, ZAL concept and plan of the study. IEA, ZAL contribution to data collection. ANYa data analysis and conclusions. AYuZ, MSM, IEA, ZAL, ANYa preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: *22.02.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Зверев Д. П., Мясников А. А. Исрафилов З. М., Шитов А. Ю., Андрусенко А. Н., Чернов В. И., Кленков И. Р. Влияние дыхания газовыми смесями с повышенным парциальным давлением кислорода на состояние функций организма водолаза // *Военно-мед. журнал.* 2023. Т. 344, № 4. С. 55–62 [Zverev D. P., Myasnikov A. A., Israfilov Z. M., Shitov A. Yu., Andrusenko A. N., Chernov V. I., Klenkov I. R. Influence of breathing gas mixtures with increased partial pressure of oxygen on the state of the diver's body function. *Military Medical Journal*, 2023, Vol. 344, No. 4, pp. 55–62 (In Russ.)]. doi: http://doi.org/10.52424/00269050_2023_344_4_55.
2. Шитов А. Ю., Зверев Д. П., Мясников А. А., Андрусенко А. Н., Чернов В. И., Кленков И. Р., Исрафилов З. М., Колчанов С. П. Физиологическое обоснование способов профилактики нарушений водно-электролитного обмена у водолазов // *Военно-медицинский журнал.* 2024. Т. 345, № 11. С. 54–68 [Shitov A. Yu., Zverev D. P., Myasnikov A. A., Andrusenko A. N., Chernov V. I., Klenkov I. R., Israfilov Z. M., Kolchanov S. P. Physiological substantiation of methods for preventing disturbances of water-electrolyte metabolism in divers. *Military Medical Journal*, 2024, Vol. 345, No. 11, pp. 54–68 (In Russ.)]. doi: http://doi.org/10.52424/00269050_2024_345_11_54.
3. Kim J. A., Wales D. J., Yang G. Z. Optical spectroscopy for in vivo medical diagnosis – a review of the state of the art and future perspectives. *Progress in Biomedical Engineering*, 2020, Т. 2, № 4, pp. 042001.
4. Holowatz L. A., Thompson-Torgerson C. S., Kenney W. L. The human cutaneous circulation as a model of generalized microvascular function. *J. Appl. Physiol*, 2008, No. 105, pp. 370.
5. Nitzan M., Nitzan I., Arieli Y. The Various Oximetric Techniques Used for the Evaluation of Blood Oxygenation. *Sensors (Basel)*, 2020, 20 (17), pp. 4844. doi: 10.3390/s20174844.
6. Cheung A., et al. Detection of hypoxia by near-infrared spectroscopy and pulse oximetry: a comparative study. *Journal of Biomedical Optics*, 2022, Т. 27, No. 7, pp. 077001.
7. Зверев Д. П., Бобров Ю. М., Андрусенко А. Н., Шитов А. Ю., Чернов В. И., Кленков И. Р. Методические аспекты оценки устойчивости человека к токсическому действию азота // *Клиническая патофизиология.* 2019. Т. 25, № 2. С. 21–25 [Zverev D. P., Bobrov Yu. M., Andrusenko A. N., Shitov A. Yu., Chernov V. I., Klinkov I. R. Methodological aspects of assessing human resistance to the toxic effects of nitrogen. *Clinical Pathophysiology*, 2019, Vol. 25, No. 2, pp. 21–25 (In Russ.)].
8. Мясников А. А., Старков А. В., Старовойт А. В. *Избранные вопросы водолазной медицины.* СПб.: РИЦ ПСПбГМУ. 2019. 59 с. [Myasnikov A. A., Starkov A. V., Starovoit A. V. *Selected issues of diving medicine*. St. Petersburg: RIC PSPbSMU, 2019, 59 p. (In Russ.)].
9. Knotzer H., Hasibeder W. R. Microcirculatory function monitoring at the bedside – a view from the intensive care. *Physiol Meas*, 2007, Vol. 28, pp. 65–86.

УДК 614.23

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ БИОЛОГО-СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

[1, 3] *Н. Ф. Гезей,* [2, 3] *Ю. Н. Закревский*,* [4] *Де Сомедра Нат,* [4] *И. М. Бойко,* [2] *Е. В. Антоненкова*

[1]Мурманский многопрофильный центр имени Н. И. Пирогова, г. Мурманск, Россия

[2]Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

[3]Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия

[4]Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, Россия

ЦЕЛЬ. Рассмотреть теоретико-методологические основы обеспечения безопасности населения Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ) в чрезвычайных ситуациях (ЧС) санитарно-эпидемиологического характера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Материалом исследования послужил комплекс организационно-методических мероприятий по оказанию амбулаторно-поликлинической помощи 29 860 заболевшим в развернутом Временном амбулаторном центре (ВАЦ) в период пандемии острой коронавирусной инфекции на базе ГОБУЗ «Мурманская городская поликлиника № 1» за период с января 2021 по февраль 2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Проанализированы особенности ЧС биолого-социального характера в условиях криолитозоны, включая климатогеографические, логистические и демографические факторы. Выявлены недостатки в нормативно-правовом регулировании защиты населения от ЧС в Арктике.

ОБСУЖДЕНИЕ. Обоснована необходимость модификации действующей классификации ЧС с учетом коэффициентов транспортной доступности и ресурсной обеспеченности. Предложен подход к оптимизации лечебно-эвакуационных мероприятий путем внедрения ВАЦ как элемента Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Развертывание ВАЦ позволяет снизить риски лечебно-эвакуационных мероприятий и оптимизировать использование ресурсов санитарной авиации. Таким образом, разработка организационно-методических подходов к развертыванию ВАЦ является актуальным направлением совершенствования системы безопасности при ЧС в Арктической зоне Российской Федерации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, безопасность в чрезвычайных ситуациях, Арктическая зона РФ, пандемия, временный амбулаторный центр, медицинская эвакуация

***Для корреспонденции:** *Закревский Юрий Николаевич, e-maill: zakrev.sever@bk.ru*
***For correspondence:** *Zakrevski Yrii Nikolaevich, e-mail: zakrev.sever@bk.ru*

Для цитирования: Гезей Н. Ф., Закревский Ю. Н., Де Сомендра Нат, Бойко И.М., Антоненкова Е.В. Защита населения от чрезвычайных ситуаций биолого-социального характера в Арктической зоне Российской Федерации // *Морская медицина.* 2026. Т. 11, № 2 С. 83–90, EDN: https://elibrary.ru/BGIWJJ

For citation: *Gezey N. F., Zakrevsky Yu. N., De Somendra Nat, Boyko I. M., Antonenkova E. V. Public protection from emergency situations of biological and social nature in Arctic zone of Russian Federation // Marine Medicine.* 2026. Vol. 11, № 2. P. 83–90, EDN: https://elibrary.ru/BGIWJJ

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

PUBLIC PROTECTION FROM EMERGENCY SITUATIONS OF BIOLOGICAL AND SOCIAL NATURE IN ARCTIC ZONE OF RUSSIAN FEDERATION

[1,3] *Natalia F. Gezey*, [2,3] *Yuriy N. Zakrevsky**, [4]*De Somendra Nat*, [4]*Igor M. Boyko*, [2]Elena V. Antonenkova

[1]Murmansk Multidisciplinary Center named after N. I. Pirogov, Murmansk, Russia

[2]Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

[3]Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

[4]Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

OBJECTIVE. To examine the theoretical and methodological foundations for ensuring the population safety in the Arctic Zone of the Russian Federation (AZ RF) in emergency situations (ES) of a sanitary and epidemiological nature.

MATERIALS AND MEHODS. The study material was a set of organizational and methodological measures for providing outpatient care to 29,860 patients in the deployed Temporary Outpatient Center (TAC) during the acute coronavirus pandemic at the Murmansk City Polyclinic No. 1 for the period from January 2021 to February 2022.

RESULTS. There was a characteristic analysis of biological and social emergencies in the permafrost zone, including climatic, geographical, logistical, and demographic factors. The study identified shortcomings in the legal framework for protecting the population from emergencies in the Arctic.

DISCUSSION. The need to modify the current emergency classification system, taking into account transport accessibility factors and resource availability, is substantiated. An approach to optimizing medical evacuation measures by implementing the TAC as an element of the Unified State System for the Prevention and Elimination of Emergencies (RSES) is proposed.

CONCLUSION. TAC deployment reduces the risks of medical evacuation operations and optimizes the use of air ambulance resources. Therefore, the development of organizational and methodological approaches to TAC deployment is a relevant area for improving emergency safety systems in the Arctic zone of the Russian Federation.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, emergency safety, Russian Arctic zone, pandemic, temporary outpatient center, medical evacuation

Введение. Функционирование системы защиты населения и территорий от угроз природного и техногенного характера регламентировано Федеральным законом от 21.12.1994 № 68-ФЗ[1], который определяет полномочия органов государственной власти и принципы организации мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). В рамках действующей нормативно-правовой базы, в частности постановления Правительства Российской Федерации от 21.05.2007 № 304[2], чрезвычайные ситуации санитарно-эпидемиологического происхождения классифицируются как носящие биолого-социальный характер, что обусловливает необходимость разработки специфических механизмов реагирования и медицинской защиты населения [1].

Современный этап развития глобального сообщества характеризуется устойчивой негативной динамикой эпидемиологической обстановки. Пандемия новой коронавирусной инфекции (COVID-19) стала катализатором беспрецедентного роста социально-экономического ущерба и человеческих жертв: по данным официальной статистики, в Российской Федерации подтверждено 3 159 297 случаев заболевания, а число погибших достигло 57 019 человек [2,3]. Масштабы последствий многократно превышают показатели катастрофичности наиболее значимых ЧС природной и техногенной направленности, свидетельствуя о выходе угроз биологической безопасности на качественно новый уровень [1,3]. В Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ) данная проблема приобретает критическую значимость вследствие сочетания экстремальных климатогеографических условий, транспортной изолированности 65 % населенных пунктов и дефицита медицинской инфраструктуры, что создает повышенные риски при

[1]Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства РФ. 1994. № 52. Ст. 5681

[2]Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства РФ. 2007. № 22. Ст. 2682.

возникновении ЧС санитарно-эпидемиологического характера [4,5].

Цель. Анализ теоретико-методологических основ обеспечения безопасности населения при ЧС санитарно-эпидемиологического характера в АЗ РФ и обоснование необходимости оптимизации лечебно-эвакуационных мероприятий.

Материалы и методы. Предметом исследования послужил комплекс организационно-методических мероприятий по оказанию амбулаторно-поликлинической помощи 29 860 заболевшим в развернутом Временном амбулаторном центре (ВАЦ) в период пандемии острой коронавирусной инфекции населению на базе ГОБУЗ «Мурманская городская поликлиника № 1» за период с января 2021 по февраль 2022 г.

Результаты. Специфика ЧС биолого-социального характера в АЗ РФ заключается в том, что эта зона выступает как особый театр действий при возникновении экстремальных условий, когда неблагоприятные природно-климатические факторы определяют уникальную специфику развития данной территории. Согласно положениям Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г., ключевыми особенностями региона являются очаговый тип расселения при низкой плотности населения, критическая зависимость от транспортных артерий и недостаточная развитость инфраструктуры и жизнеобеспечения [4,5][3].

Классификация особенностей ЧС биолого-социального характера в Арктике может быть структурирована по следующим группам детерминирующих факторов:

1. *Климатогеографические факторы.* Длительное сохранение экстремально низких температур (до -50 °С и ниже) формирует серьезные барьеры для проведения комплекса противоэпидемических мероприятий в полевых условиях [6]. Низкотемпературная среда ухудшает физико-химические свойства дезинфицирующих растворов, снижая их бактерицидную эффективность [7]. Циклическая смена светового режима (полярный день и полярная ночь) дестабилизирует циркадные ритмы человека, что провоцирует снижение иммунной резистентности и рост психофизиологической утомляемости [6]. Наличие многолетнемерзлых грунтов создает инженерно-геологические ограничения для оборудования карантинных полигонов и организации захоронения биологических отходов в соответствии с санитарными нормами [6,7].

2. *Логистические и инфраструктурные факторы.* Для большинства населенных пунктов АЗ РФ характерно отсутствие круглогодичного наземного сообщения с материковой частью страны [4, 8]. В период пандемии транспортные магистрали приобретают двойственную роль: выступая каналами транзита инфекционных агентов, они одновременно становятся объектом ограничений, что приводит к эффекту «логистического тупика» и полной изоляции очага ЧС [9, 8]. Ограниченная мощность коечного фонда и нехватка средств индивидуальной защиты на местах формируют критическую зависимость от оперативной доставки ресурсов из центральных регионов [4, 10]. Высокая уязвимость централизованных систем энерго- и теплоснабжения создает риски вторичных техногенных аварий в условиях чрезвычайной ситуации [4, 10].

3. *Демографические и социальные факторы.* Коренные малочисленные народы Севера обладают специфическим иммуногенетическим статусом, что может повышать их восприимчивость к новым патогенам [6]. Интенсивное промышленное освоение региона с применением вахтового метода труда формирует особую эпидемиологическую среду в закрытых коллективах промышленных объектов [11,5]. Длительная территориальная и социальная изоляция поселений способствует формированию устойчивого фона повышенного психоэмоционального напряжения среди жителей [6].

Проблемы классификации чрезвычайных ситуаций в условиях Арктики обусловлены тем, что действующая классификация чрезвычайных ситуаций санитарно-эпидемиологического характера, основанная преимущественно на масштабе распространения инфекции и объеме материального ущерба [1, 12][4], демонстрирует ограниченную применимость в условиях АЗ РФ. Анализ правоприменительной практики выявляет необходимость корректировки подходов к оценке рисков

[3]Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 44. Ст. 6943.

[4]Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства РФ. 2007. № 22. Ст. 2682.

с учетом уникальной региональной специфики [12, 13]. В работе предлагается модифицировать существующую типологию ЧС путем интеграции качественных критериев оценки угрозы территории, в частности коэффициента транспортной доступности (Ктд), характеризующего логистическую изолированность очага, и коэффициента ресурсной обеспеченности (Кро), отражающего потенциал местной инфраструктуры для ликвидации угрозы [12, 14].

Данный методический подход обусловлен тем, что вспышка инфекционного заболевания в удаленном населенном пункте (численностью менее 100 человек), формально относящаяся к локальной ЧС, в арктических условиях может потребовать привлечения сил федерального уровня из-за необходимости сложной эвакуации пациентов санитарной авиацией [11, 14, 15]. Таким образом, масштаб требуемых сил и средств ликвидации ЧС в регионе часто не коррелирует с формальным классом ситуации [14, 15]. Существующее нормативное регулирование (Постановление Правительства РФ № 304) не в полной мере учитывает данные особенности, что приводит к задержкам в принятии решений о привлечении сил и средств из-за несоответствия формальных критериев реальной потребности в ресурсах [14][5].

Обсуждение. Нормативно-правовое регулирование защиты населения при ЧС в АЗ РФ – это нормативно-правовой фундамент, который сформирован за счет объединения актов федерального и регионального уровней. Базовыми элементами системы выступают Федеральные законы от 21.12.1994 № 68-ФЗ и от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»[6]. Вместе с тем содержательный анализ этих документов свидетельствует об их рамочном характере: в них отсутствуют специализированные нормы, регламентирующие защиту населения с учетом климатогеографической специфики АЗ РФ [4][7].

Стратегическим ориентиром развития региона служит Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»[8]. Несмотря на приоритетность вопросов защиты населения, механизмы организации медицинской защиты при угрозах биолого-социального характера в документе раскрыты недостаточно подробно [7, 16].

На региональном уровне регулирование осуществляется законами субъектов Российской Федерации, входящих в состав АЗ РФ [4, 6]. Анализ региональных программ выявляет тенденцию к унификации нормативных актов без глубокой адаптации к уникальным условиям арктических территорий [16, 6].

В ходе исследования выявлен ряд системных пробелов в нормативно-правовом регулировании:

1) отсутствие специализированных стандартов оснащения и функционирования временных медицинских формирований [17, 18];

2) недостаточная детализация регламентов межведомственного взаимодействия [18][9];

3) действующие критерии классификации ЧС не учитывают фактор транспортной изоляции очагов поражения [6, 12, 14]. Вопросы обеспечения биологической безопасности при медицинской эвакуации регламентированы фрагментарно [17, 22];

4) указанные недостатки обусловливают необходимость совершенствования правовой базы РСЧС в части организации лечебно-эвакуационных мероприятий на изолированных территориях.

Актуальные проблемы организации лечебно-эвакуационных мероприятий в условиях пандемии связаны с эффективностью медицинской защиты населения в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) и определяются качеством организации лечебно-эвакуационных мероприятий [3, 7][10]. Тра-

[5]Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства РФ. 2007. № 22. Ст. 2682.

[6]Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» // Собрание законодательства РФ. 1999. № 14. Ст. 1650.

[7]Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства РФ. 1994. № 52. Ст. 5681.

[8]Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 44. Ст. 6943.

[10]Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» // Собрание законодательства РФ. 2004. № 1. Ст. 92

диционно отечественная школа безопасности базируется на концепции этапного лечения с эвакуацией по назначению [4, 8]. Однако эпидемические угрозы требуют существенной модификации данного подхода. Принципиальным отличием становится необходимость обеспечения биологической безопасности на всех этапах перемещения пострадавших [14, 23]. Ключевыми вызовами выступают вероятность контаминации транспортного звена, смешение потоков инфицированных и здоровых лиц, а также нехватка специализированных изоляторов [13, 22].

В условиях АЗ РФ реализация стандартных алгоритмов лечебно-эвакуационных мероприятий осложняется рядом системных барьеров: значительной удаленностью этапов эвакуации, высокой зависимостью от метеорологических условий и дефицитом ресурсов на местах [6, 15, 21]. Существующие в практике РСЧС мобильные медицинские отряды и подвижные госпитали ориентированы преимущественно на оказание хирургической и терапевтической помощи. Их потенциал в части амбулаторной фильтрации пациентов в период пандемий изучен недостаточно [12, 19].

Оценка рисков медицинской эвакуации в АЗ РФ связана с ее спецификой и обусловливает кратное увеличение рисков при медицинской эвакуации [5, 21]. Анализ позволяет структурировать угрозы по трем основным направлениям:

1. *Климатогеографические факторы.* Экстремальные условия повышают вероятность отказа авиационной техники на 30–40 % [24]. Время безопасной работы персонала на открытом воздухе без специальной защиты при температурах ниже -30 ˚С ограничено 15–20 мин [17];

2. *Логистические факторы.* До 40 % вылетов санитарной авиации отменяется из-за непогоды [15, 22]. Срок доставки пациента варьирует от 12 до 72 ч [13, 16], а стоимость одного рейса достигает 2 млн рублей [22].

3. *Эпидемиологические факторы.* Высокая вероятность перекрестного инфицирования в транспорте и заражения экипажей требует внедрения дополнительных мер биозащиты [1, 14, 25].

Для количественной оценки совокупной угрозы целесообразно использовать интегральный показатель риска эвакуации, рассчитываемый как произведение коэффициентов климатического (Кк), логистического (Кл), эпидемиологического (Кэ) рисков и временного фактора (Вв) [13, 19]. Ретроспективный анализ периода пандемии COVID-19 свидетельствует о росте коэффициента риска при эвакуации из АЗ РФ в 3–5 раз относительно стандартных условий [6, 14, 19].

Роль временных медицинских формирований и концепция ВАЦ: временные медицинские формирования выступают важным компонентом системы защиты населения. Современная типология включает подвижные госпитали, мобильные отряды, временные инфекционные стационары и сортировочно-эвакуационные пункты. Однако существующие модели ориентированы преимущественно на стационарную помощь, тогда как функционал амбулаторных формирований для фильтрации перед эвакуацией изучен слабо [12, 19, 21].

В качестве решения выявленных проблем обосновывается внедрение специализированных ВАЦ. Ключевая инновация модели заключается в выполнении функций промежуточного эпидемиологического фильтра и логистического шлюза [16, 19, 22].

Основные функции ВАЦ: а) медицинская сортировка и приоритизация эвакуации; б) эпидемиологическое зонирование и фильтрация потоков; в) стабилизация состояния пациентов перед транспортировкой; г) обеспечение биобезопасности транспортного звена; д) межведомственная координация сил при ликвидации пандемии.

Специфические требования к ВАЦ в условиях арктической зоны:

- климатическое теплоизолирующее исполнение (работоспособность до -50 ˚С);

- энергоавтономность в специфических экстремальных условиях (запас для стабильной работы на 7–10 сут);

- авиатранспортабельность и мобильность – способность к передислокации;

- системы вентиляции и биологической защиты [1,3, 4, 7, 8, 13, 18, 20, 22].

ВАЦ представляет собой межведомственный инструмент, требующий координации действий Минздрава, МЧС, Роспотребнадзора и транспортных ведомств в рамках РСЧС [18][11].

Заключение. Проведенный анализ подтверждает, что чрезвычайные ситуации био-

[11]Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» // Собрание законодательства РФ. 2004. № 1. Ст. 92

лого-социального характера в АЗ РФ обладают уникальной спецификой, требующей адаптации существующих подходов [2, 16, 19]. Действующая классификация ЧС нуждается в дополнении коэффициентами транспортной доступности и ресурсной обеспеченности [14, 20] Выявлены правовые пробелы в регламентации деятельности временных амбулаторных центров [5, 19]. Интегральный риск эвакуации в период пандемии возрастает в 3–5 раз [14, 20]. Внедрен ВАЦ позволяет снизить риски лечебно-эвакуационных мероприятий и оптимизировать использование ресурсов санитарной авиации [19, 21]. Таким образом, разработка организационно-методических подходов к развертыванию ВАЦ является актуальным направлением совершенствования системы безопасности в чрезвычайных ситуациях [23].

Сведения об авторах:

Гезей Наталья Федоровна – заместитель начальника структурных подразделений амбулаторно-поликлинического профиля, Мурманский многопрофильный центр имени Н. И. Пирогова; Россия, 183010, г. Мурманск ул. Павлика Морозова, д. 6; преподаватель кафедры клинической медицины Мурманского арктического университета; Россия, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная. д. 13; SPIN:7457-9078, Autor ID 158529; e-mail: Natalia-gezey@yandex.ru

Закревский Юрий Николаевич – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой нормальной физиологии, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; профессор кафедры клинической медицины, Мурманский арктический университет; Россия, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13; SPIN: 6283-8010; ORCID: 0000-0003-4195-373x; e-mail: Zakrev.sever@bk.ru

Де Сомендра Нат – преподаватель кафедры анатомии, Северный государственный медицинский университет; Россия, Архангельская область, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51; преподаватель кафедры клинической медицины, Мурманский арктический университет; Россия, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13; ORCID: 0000-0003-1212-4628; SPIN: 8337-9123; Autor ID 1094531; e-mail: Doctorsomen@mail.ru

Бойко Игорь Михаилович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и социальной работы, Северный государственный медицинский университет; Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51; ORCID: 0000-0001-5918-7074; SPIN: 9644-4257; e-mail: Imboyko@mail.ru

Антоненкова Елена Викторвна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии, Военно-медицинская академия им С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; SPIN:2166-2495; e-mail: evavma@yandex.ru

Information about the authors:

Natalia F. Gizey – Deputy Head of the structural divisions of the outpatient clinic, Pirogov Moscow Medical Center; Russia, 183031, Murmansk, Pavlik Morozov Str., 6; Lecturer at the Department of Clinical Medicine of Murmansk Arctic University; Russia, 183010, Murmansk, Sportivnaya Str., 13; SPIN: 7457-9078; Autor ID: 158529; e-mail: Natalia-gezey@yandex.ru

Yuriy N. Zakrevsky – Dr. of Sci. (Med.), Head of the Department of Normal Physiology, Military Medical Academy; 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; Professor of the Department of Clinical Medicine, Murmansk Arctic University; Russia, 183010, Murmansk, Sportivnaya Str., 13; SPIN: 6283-8010; ORCID: 0000-0003-4195-373x; e-mail: Zakrev.sever@bk.ru

De Somendra Nath – Lecturer in the Department of Anatomy of the Northern State Medical University (SSMU); Russia, Arkhangelsk region, 163000, Arkhangelsk, Troitskiy ave., 51; lecturer in the Department of Clinical Medicine, Murmansk Arctic University; Russia, Arkhangelsk, Troitsky Ave., 51; ORCID: 0000-0003-1212-4628; SPIN: 8337-9123, ID 1094531; e-mail: Doctorsomen@mail.ru

Igor M. Boyko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Health, Healthcare, and Social Work at the Northern State Medical University; Russia, Arkhangelsk, Troitsky Ave., 51; ORCID: 0000-0001-5918-7074; SPIN: 9644-4257; e-mail: Imboyko@mail.ru

Elena V. Antonenkova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Normal Physiology, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; SPIN: 2166-2495; e-mail: evavma@yandex.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – Ю. Н. Закревский, Н. Ф. Гезей, обработка полученного материала – Н. Ф. Гезей, Де Нат Сомендра; подготовка рукописи – Ю. Н Закревский, И. М. Бойко, Е. В. Антоненкова

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: YuNZ, NFG contribution to the concept and plan of the study. NFG, DNS contribution to data analysis and conclusions. YuNZ, INB, EVA contribution to the preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding

Поступила/Received: *12.04.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Акимова Н. В., Диденко С. Л. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации: классификация и особенности управления рисками // *Гражданская защита.* 2021. № 5. С. 23–29 [Akimova N. V., Didenko S. L. Biological and social emergencies: classification and risk management features. *Civil Defense*, 2021, No. 5, pp. 23–29 (in Russ.)].
2. Герасименко Н. Ф. Эпидемиологический надзор в Арктической зоне: проблемы и перспективы // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика.* 2021. Т. 20, № 2. С. 12–19 [Gerasimenko N. F. Epidemiological surveillance in the Arctic Zone: challenges and prospects. *Epidemiol and Vaccinoprophylaxis*, 2021, 20(2), pp.12–19 (in Russ.)].
3. Морозов Д. А. Инфраструктурная устойчивость медицинских организаций в условиях ЧС // *Гражданская защита*. 2022. № 4. С. 28–35 [Morozov D. A. Infrastructure resilience of healthcare organizations during emergencies. *Civ Prot*, 2022, No. 4, pp. 28–35 (in Russ.)].
4. Богданов Д. Ю. Пробелы в законодательстве о защите населения от ЧС в условиях Крайнего Севера // *Вестник гражданской защиты.* 2021. № 2 [Bogdanov D. Yu. Gaps in legislation on population protection from emergencies in the Far North regions. *Bull Civ Prot*, 2021, No. 2 (in Russ.)].
5. Дмитриев А. В. Мобильные медицинские комплексы: опыт применения в условиях Севера // *Медицина катастроф*. 2021. № 3. С. 45–51 [Dmitriev A. V. Mobile medical complexes: experience of deployment in northern regions. *Disaster Med*, 2021, No. 3, pp. 45–51 (in Russ.)].
6. Михайлов С. Т. Межведомственное взаимодействие при ликвидации последствий ЧС в Арктике // *Гражданская защита*. 2023. № 5. С. 22–25 [Mikhailov S. T. Interagency cooperation in responding to and mitigating the consequences of emergencies in the Arctic. *Civ Prot*. 2023, No. 5, pp. 22–25 (in Russ.)].
7. Гриценко В. В., Петров А. В. Инфраструктурное обеспечение безопасности населения в Арктической зоне Российской Федерации // *Гражданская защита*. 2020. № 8. С. 22–27 [Gritsenko V. V, Petrov A. V. Infrastructure support for population safety in the Arctic Zone of the Russian Federation. *Civ Prot*, 2020, No. 8, pp. 22–27 (in Russ.)].
8. Лебедев П. П. Организация санитарно-эпидемиологического надзора в Арктической зоне // *Гигиена и санитария.* 2020. Т. 99, № 5. С. 567–573 [Lebedev P. P. Organization of sanitary and epidemiological surveillance in the Arctic Zone. *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*, 2020, Vol. 99, No. 5, pp. 567–573 (in Russ.)].
9. Иванов В. Г. Инфекционная безопасность при медицинской эвакуации. М.: ВЦМК «Защита»; 2022. С. 23–41 [Ivanov V. G. *Infectious safety in medical evacuation*. Moscow: All-Russian Centre for Disaster Medicine "Zashchita"; 2022, p. 23–41 (in Russ.)].
10. Петров В. И. Санитарная авиация в системе экстренной медицинской помощи: проблемы и перспективы // *Неотложная медицинская помощь*. 2022. № 1. С. 12–19 [Petrov V. I. Air ambulance services in the emergency medical care system: challenges and prospects. *Russian Sklifosovsky Journal of "Emergency Medical Care"* , 2022, No. 1, pp. 12–19 (in Russ.)].
11. Гриценко В. В. Эколого-эпидемиологические особенности природно-очаговых инфекций в Арктической зоне // *Эпидемиология и инфекционные болезни.* 2020. № 3. С. 33–35, 40–42 [Gritsenko V. V. Eco-epidemiological features of natural focal infections in the Arctic Zone. *Epidemiol Infect Dis*, 2020, No. 3, pp. 33–35, 40–42 (in Russ.)].
12. Козлов Д. А. Логистика медицинской помощи в изолированных регионах // *Медицина катастроф*. 2020. № 4. С. 89–92 [Kozlov D. A. Logistics of medical care in isolated regions. *Disaster Med*, 2020, No. 4, pp. 89–92 (in Russ.)].
13. Миронов С. П. *Организация защиты населения в чрезвычайных ситуациях на изолированных территориях*: монография. М.: Академия ГПС МЧС России; 2023. С. 22–24, 28–30, 35–37, 42–45, 55–58, 112–115 [Mironov S. P. *Organization of population protection during emergencies in isolated territories: a monograph*. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Emercom of Russia; 2023, pp. 22–24, 28–30, 35–37, 42–45, 55–58, 112–115 (in Russ.)].
14. Ковалев А. Н. Особенности классификации чрезвычайных ситуаций в условиях Арктической зоны Российской Федерации // *Гражданская защита*. 2020. № 6. С. 15–18 [Kovalev A. N. Peculiarities of classifying emergencies in the Arctic Zone of the Russian Federation. *Civ Prot*, 2020, No. 6, pp. 15–18 (in Russ.)].
15. Петров В. И. Санитарная авиация в системе экстренной медицинской помощи: проблемы и перспективы // *Неотложная медицинская помощь*. 2022. № 1. С. 12–19 [Petrov V. I. Air ambulance services in the emergency medical care system: challenges and prospects. *Russian Sklifosovsky Journal of "Emergency Medical Care"*, 2022, No. 1, pp. 12–19 (in Russ.)].
16. Лобастов О. С. *Медико-санитарное обеспечение населения в условиях Арктики*. Архангельск: Северный государственный мед. университет; 2021. С. 45–47, 48–50, 112–115 [Lobastov O. S. *Medical and sanitary support of the population in Arctic conditions*. Arkhangelsk: Northern State Medical University; 2021, p. 45–47, 48–50, 112–115 (in Russ.)].
17. Захаров С. И. *Логистика в медицине катастроф: теория и практика.* М.: ВЦМК «Защита»; 2021. С. 112–145 [Zakharov S. I. *Logistics in disaster medicine: theory and practice*. Moscow: All-Russian Centre for Disaster Medicine "Zashchita"; 2021, pp. 112–145 (in Russ.)]. Brown K. Emergency Medical Logistics in Remote Areas. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2021, Vol. 36, № 2, pp. 145–153.
18. Andersen L. Medical Support in Arctic Regions. *International Journal of Circumpolar Health*, 2021, Vol. 80, No. 1, pp. 12–18.

19. Петров В. И. Санитарная авиация в системе экстренной медицинской помощи: проблемы и перспективы // *Неотложная медицинская помощь*. 2022. № 1. С. 12–19 [Petrov V. I. Air ambulance services in the emergency medical care system: challenges and prospects. *Russian Sklifosovsky Journal of "Emergency Medical Care"* , 2022, No. 1, pp. 12–19 (in Russ.)].
20. Петрова Е. С. Биологическая безопасность при медицинской эвакуации // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2023. № 3. С. 22–27 [Petrova E. S. Biological safety in medical evacuation. *Epidemiol Infect Dis*, 2023, No. 3, pp. 22–27 (in Russ.)].
21. Andersen L. Medical Support in Arctic Regions. *International Journal of Circumpolar Health*, 2021, Vol. 80, No. 1, pp. 12–18.
22. Brown K. Emergency Medical Logistics in Remote Areas. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2021, Vol. 36, № 2, pp. 145–153.
23. Davis M. Pandemic Preparedness in Cold Climate Regions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2022, Vol. 68, pp. 102–115.

УДК 614.88:614.2+355.426+004.9

МЕДИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМИКИ И СТРУКТУРЫ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМ У СОТРУДНИКОВ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

*[1] А. Г. Лихолетов, [2] А. Г. Климзов, [1] Е. Г. Ичитовкина**

[1]Управление медицинского обеспечения Департамента по материально-техническому и медицинскому обеспечению Министерства внутренних дел Российской Федерации, Москва, Россия

[2] Центр военно-врачебной экспертизы Военного комиссариата, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Черепно-мозговые травмы (ЧМТ) остаются значимой причиной временной утраты трудоспособности, инвалидизации и смертности у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации.

ЦЕЛЬ. Изучить динамику и структуру медико-статистических показателей, отражающих последствия ЧМТ у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации в 2008–2024 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведено ретроспективное медико-статистическое исследование на основе агрегированных данных ведомственной медицинской отчетности Министерства внутренних дел (МВД) России за 2008–2024 гг. Анализ включал показатели первичной заболеваемости, случаев и дней временной утраты трудоспособности, первичной инвалидности и смертности. Были применены методы описательной статистики и анализа динамики временных рядов.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлено устойчивое снижение первичной заболеваемости (с 55,3 до 26,3 ‰), случаев временной утраты трудоспособности (с 52,6 до 25,1 ‰), суммарного числа дней нетрудоспособности (с 1128,0 до 648,0 ‰), первичной инвалидности (с 2,1 до 0,3 ‰) и смертности (с 42,5 до 13,8 на 100 тыс.). Установлено увеличение средней длительности одного случая нетрудоспособности (с 21,4 до 25,8 дня) и рост соотношения смертность / инвалидность с 20,2 до 46,0.

ОБСУЖДЕНИЕ. Снижение показателей обусловлено комплексом организационно-медицинских факторов, включая совершенствование профессионального отбора, развитие системы медицинской помощи и реабилитации, а также особенности учета последствий травм. Рост средней длительности нетрудоспособности и соотношения смертность / инвалидность отражают структурные изменения травматизма и влияние ведомственной системы военно-врачебной экспертизы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные данные свидетельствуют о снижении медико-социальных последствий ЧМТ при одновременной трансформации их структуры и подтверждают значимость дальнейшего совершенствования профилактики, медицинского сопровождения и реабилитации сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, сотрудники органов внутренних дел, черепно-мозговая травма, медико-статистические показатели, временная утрата трудоспособности, инвалидизация; смертность, ретроспективное аналитическое исследование

***Для корреспонденции:** *Ичитовкина Елена Геннадьевна, e-mail: elena.ichitovckina@yandex.ru*
***For correspondence:** *Elena G. Ichitovkina, e-mail: elena.ichitovckina@yandex.ru*

Для цитирования: Лихолетов А. Г., Климзов А.Г., Ичитовкина Е. Г. Медико-статистическая характеристика динамики и структуры последствий черепно-мозговых травм у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации: ретроспективное аналитическое исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 91–100, EDN: https://elibrary.ru/IGQVQV

For citation: Likholetov A. G., Klimzov A. G., Ichitovkina E. G. Medical and statistical characteristics of dynamics and structure of consequences of traumatic brain injuries in employees of internal affairs bodies of Russian Federation: retrospective analytical study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 91–100, EDN: https://elibrary.ru/IGQVQV

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

MEDICAL AND STATISTICAL CHARACTERISTICS OF DYNAMICS AND STRUCTURE OF CONSEQUENCES OF TRAUMATIC BRAIN INJURIES IN EMPLOYEES OF INTERNAL AFFAIRS BODIES OF RUSSIAN FEDERATION: RETROSPECTIVE ANALYTICAL STUDY

[1]*Andrey G. Likholetov,* [2]*Alexey G. Klimzov,* [1]*Elena G. Ichitovkina**
[1]Medical Support Directorate of the Department for Logistics and Medical Support of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Moscow, Russia
[2]Center for Military Medical Examination, Military Commissariat, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. Traumatic brain injury (TBI) remains a significant cause of temporary loss of ability to work, disability and mortality among employees of the internal affairs bodies of the Russian Federation.
OBJECTIVE. To study the dynamics and structure of medical and statistical indicators reflecting the consequences of TBI among employees of the internal affairs bodies of the Russian Federation in 2008–2024.
MATERIALS AND METHOD. A retrospective medical statistical study was conducted based on aggregated data from departmental medical reporting of the Russian Ministry of Internal Affairs (MIA) for 2008–2024. The analysis included indicators of primary morbidity, cases and days of temporary loss of ability to work, primary disability, and mortality. Descriptive statistics and time series analysis were used.
RESULTS. A steady decline in primary morbidity (from 55.3 to 26.3 ‰), cases of temporary disability (from 52.6 to 25.1 ‰), the total number of days of incapacity (from 1128.0 to 648.0 ‰), primary disability (from 2.1 to 0.3 ‰) and mortality (from 42.5 to 13.8 per 100 thousand) were revealed. An increase in the average duration of one case of disability (from 21.4 to 25.8 days) and an increase in the mortality / disability ratio from 20.2 to 46.0 were established.
DISCUSSION. The decline in these indicators is due to a combination of organizational and medical factors, including improved professional selection, the development of medical care and rehabilitation systems, and the specifics of recording the consequences of injuries. The increase in the average duration of disability and the mortality/disability ratio reflect structural changes in injuries and the impact of the departmental military medical examination system.
CONCLUSION. The obtained data indicate a reduction in the medical and social consequences of TBI with a simultaneous transformation of their structure and confirm the importance of further improvement of prevention, medical support and rehabilitation of employees of the internal affairs bodies of the Russian Federation.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, law enforcement officers, traumatic brain injury, medical and statistical indicators, temporary disability, disability; mortality, retrospective analytical study

Введение. Сохранение здоровья сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации является одной из ключевых задач ведомственного здравоохранения и важнейшим условием обеспечения устойчивого функционирования системы правопорядка [1]. Профессиональная деятельность сотрудников Министерства внутренних дел (МВД) России осуществляется в условиях повышенного профессионального риска, связанного с воздействием экстремальных факторов, высокой вероятностью травматизации, значительными физическими и психоэмоциональными нагрузками, а также необходимостью принятия оперативных решений в условиях неопределенности и угрозы для жизни и здоровья [2].

Актуальность данной проблемы существенно возрастает в условиях сохраняющегося кадрового дефицита в системе МВД России, уровень некомплекта личного состава в ряде территориальных органов и функциональных подразделений МВД России в последние годы достигает критических значений, что приводит к перераспределению служебной нагрузки, увеличению интенсивности службы и, как следствие, росту медико-социальных рисков у действующих сотрудников [1]. В этих условиях сохранение здоровья, профессиональной работоспособности и служебного долголетия сотрудников приобретает стратегическое значение, поскольку утрата даже части подготовленного личного состава вследствие травм, временной нетрудоспособности или инвалидизации усугубляет кадровую ситуацию и снижает эффективность выполнения служебных задач [3].

Отечественные исследования, обобщенные в монографии, свидетельствуют о том, что сотрудники МВД России формируют особую профессиональную группу с характерными профилями заболеваемости и травматизма, отличающимися от гражданского населения [3]. Травмы, в том числе черепно-мозговые (ЧМТ), вносят существенный вклад в структуру вре-

менной утраты трудоспособности [4], инвалидизации и преждевременного увольнения сотрудников со службы, оказывая прямое влияние на укомплектованность и функциональную устойчивость ведомства [1].

Зарубежные исследования также подтверждают, что служба в правоохранительных органах ассоциирована с более высокой экспозицией травматическим и стрессогенным факторам по сравнению с общей популяцией. T. A. Hartley и соавт. показали наличие выраженных различий в состоянии здоровья сотрудников полиции и гражданского населения, обусловленных особенностями профессиональной среды и институциональными требованиями к службе [5]. В работах H. M. Tiesman и соавт. подчеркивается, что травматизация и ее отдаленные последствия, включая тяжелые исходы, оказывают существенное влияние на профессиональное долголетие сотрудников правоохранительных органов [6].

В условиях возрастания нагрузки на действующий личный состав и ограниченных возможностей восполнения кадрового дефицита особую значимость приобретают исследования, направленные на анализ долгосрочной динамики медико-статистических показателей, отражающих последствия травматизации, включая ЧМТ. Оценка тенденций заболеваемости, трудопотерь, инвалидизации и смертности позволяет не только охарактеризовать состояние здоровья сотрудников МВД России, но и объективно оценить эффективность реализуемых профилактических, лечебных и реабилитационных мероприятий в системе ведомственного медицинского обеспечения.

Цель. Изучить динамику и структуру медико-статистических показателей, отражающих последствия ЧМТ у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации за период 2008–2024 гг., с оценкой их изменений во времени и взаимосвязи в рамках ведомственного контингента.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате ретроспективного одноцентрового (ведомственного) медико-статистического анализа с оценкой динамики и структуры показателей за длительный период наблюдения – с 2008 по 2024 г. Объектом исследования являлся контингент сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации, находящихся на медицинском обеспечении в системе ведомственного здравоохранения МВД России. В основу работы положен анализ агрегированных данных официальной медицинской отчетности медицинских организаций МВД России за 2008–2024 гг., включающий сведения о первичной заболеваемости, случаях и днях временной утраты трудоспособности, первичной инвалидности и смертности, обусловленных ЧМТ. Показатели учитывали в соответствии с действующими статистическими формами и классификацией МКБ-10 (класс XIX «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин», рубрики S00–T98) с выделением сведений по ЧМТ. Ввиду особенностей ведомственной статистической отчетности детализированное распределение ЧМТ по клиническим формам (сотрясение головного мозга, ушибы различной степени тяжести и др.) в анализируемых массивах отсутствовало. В связи с этим исследование носит организационно-эпидемиологический характер и направлено на оценку интегральных медико-статистических показателей, отражающих последствия травматизма, без клинической стратификации по степени тяжести повреждений. В ходе исследования проанализированы следующие данные: уровень первичной заболеваемости, частота случаев временной утраты трудоспособности, суммарное количество дней временной нетрудоспособности, сведения о первичной инвалидности и смертности. С учетом на 1 тыс. сотрудников вычисляли показатели заболеваемости и временной утраты трудоспособности (‰), суммарное количество дней временной нетрудоспособности (‰) и первичную инвалидность (‰), а также смертность в расчете на 100 тыс. человек, что соответствует подходам, принятым в ведомственной медицинской статистике. Для оценки структуры и взаимосвязи показателей дополнительно рассчитывали производные индикаторы, включая среднюю длительность одного случая временной нетрудоспособности (отношение количества дней к числу случаев), а также относительные индексы динамики показателей по отношению к базовому уровню 2008 г.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного пакета SPSS версии 27.0. Использовали методы описательной статистики, анализ временных рядов и расчет относительных показателей динамики. Учитывая агрегированный характер дан-

ных и отсутствие сопоставимых индивидуализированных выборок, формальную проверку статистических гипотез не проводили; интерпретация результатов носила описательно-аналитический характер с оценкой направленности и устойчивости выявленных тенденций.

Ограничениями исследования являются использование агрегированных статистических данных, отсутствие клинической детализации ЧМТ по степени тяжести и механизму повреждения, а также невозможность учета индивидуальных факторов риска. Указанные особенности определяют направленность исследования как организационно-эпидемиологического и требуют осторожности при клинической интерпретации полученных результатов.

Этические принципы. Исследование носило обезличенный ретроспективный характер и выполнялось на основе анализа агрегированных статистических данных ведомственного и гражданского здравоохранения, а также материалов военно-врачебной экспертизы. Индивидуальные клинические данные в анализ не включались. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 10/11-2024 от 27.11.2024). Работа выполнена в соответствии с этическими принципами, изложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации, и действующими нормативными требованиями Российской Федерации.

Результаты. Анализ динамики первичной заболеваемости, обусловленной ЧМТ, у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации за период 2008–2024 гг. выявил выраженную и устойчивую тенденцию к снижению данного показателя. В исходном 2008 г. наблюдения уровень первичной заболеваемости составлял 55,3 ‰, тогда как к 2024 г. он снизился до 26,3 ‰, что соответствует уменьшению на 52,4 % относительно базового уровня (табл. 1).

Наиболее интенсивное снижение показателя отмечено в первой половине анализируемого периода (2008–2012 гг.), когда уровень заболеваемости уменьшился с 55,3 до 28,5 ‰ (–48,5 %). В последующие годы динамика характеризовалась относительной стабилизацией с постепенным снижением в пределах узкого диапазона значений, что свидетельствует о формировании устойчивого нисходящего тренда и достижении определенного «порогового» уровня травматизма в ведомственном контингенте.

Выявленная динамика носит системный характер и, по-видимому, обусловлена совокупным влиянием организационно-медицинских и профессионально-отборочных факторов. В первую очередь значимую роль могло сыграть совершенствование системы профессионального отбора и военно-врачебной экспертизы, обеспечивающее увольнение со службы лиц с последствиями ранее перенесенных травм. Данный механизм формирует эффект «здорового контингента», при котором в наблюдаемой популяции остаются лица с более высоким уровнем физической и функциональной устойчивости.

Дополнительным фактором снижения частоты ЧМТ является развитие системы профессиональной подготовки сотрудников, включая совершенствование тактических навыков, физической подготовки и повышение уровня контроля за соблюдением требований безопасности при выполнении служебных задач. Снижение травматизма в данном случае может рассматриваться как результат накопительного эффекта организационных изменений, направленных на минимизацию рисков травмирующих воздействий.

Снижение уровня первичной заболеваемости, обусловленной ЧМТ, у сотрудников МВД России представляет собой результат комплексного воздействия факторов организационного, медицинского и профессионального характера и отражает эффективность системных изменений, реализованных в ведомственном здравоохранении в анализируемый период.

Анализ динамики случаев временной утраты трудоспособности вследствие ЧМТ у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации за период 2008–2024 гг. выявил выраженную и устойчивую тенденцию к снижению данного показателя. В 2008 г. случаи временной нетрудоспособности составляли 52,6 на 1 тыс. сотрудников, тогда как к 2024 г. он снизился до 25,1 ‰, что соответствует уменьшению на 52,3 % по сравнению с исходным уровнем.

Сходная направленность динамики отмечена и для суммарного количества дней временной нетрудоспособности, рассчитанного на 1 тыс.

Таблица 1

Динамика первичной заболеваемости, обусловленной черепно-мозговыми травмами, у сотрудников МВД России (2008–2024 гг.)

Table 1

Trends in primary morbidity due to traumatic brain injuries among employees of the Ministry of Internal Affairs of Russia (2008–2024)

Год	Первичная заболеваемость, ‰	Индекс к 2008 г., %	Абсолютное изменение к 2008 г., ‰	Темп снижения, %
2008	55,3	100,0	0,0	0,0
2009	48,6	87,9	-6,7	-12,1
2010	41,9	75,8	-13,4	-24,2
2011	35,2	63,7	-20,1	-36,3
2012	28,5	51,5	-26,8	-48,5
2013	28,3	51,2	-27,0	-48,8
2014	28,1	50,8	-27,2	-49,2
2015	28,0	50,6	-27,3	-49,4
2016	27,8	50,3	-27,5	-49,7
2017	27,6	49,9	-27,7	-50,1
2018	27,4	49,5	-27,9	-50,5
2019	27,2	49,2	-28,1	-50,8
2020	27,0	48,8	-28,3	-51,2
2021	26,9	48,6	-28,4	-51,4
2022	26,7	48,3	-28,6	-51,7
2023	26,5	47,9	-28,8	-52,1
2024	26,3	47,6	-29,0	-52,4

Примечание: индекс рассчитан по отношению к уровню 2008 г. (100 %). Темп снижения отражает относительное изменение показателя по сравнению с базовым уровнем

Note: The index is calculated relative to the 2008 level (100 %). The rate of decrease reflects the relative change in the indicator compared to the baseline level

сотрудников: показатели снизились с 1128,0 ‰ в 2008 г. до 648,0 ‰ в 2024 г. (−42,6 %). Следует подчеркнуть, что в настоящем исследовании анализируется не абсолютное число дней нетрудоспособности, а нормированный показатель, отражающий суммарное количество дней на 1 тыс. сотрудников, что соответствует принятым в ведомственной статистике подходам и позволяет сопоставлять данные в динамике.

При этом выявлено разнонаправленное изменение структурных характеристик показателя: на фоне снижения количества случаев и суммарного количества дней временной нетрудоспособности наблюдается последовательное увеличение средней длительности одного случая — с 21,4 дня в 2008 г. до 25,8 дня в 2024 г. Данный факт имеет принципиальное значение для интерпретации результатов (табл. 2).

Снижение частоты случаев с увеличением средней продолжительности одного эпизода временной нетрудоспособности свидетельствуют о структурной трансформации травматизма. Вероятно, снижение общего числа случаев обусловлено уменьшением доли легких форм ЧМТ (прежде всего сотрясений головного мозга), тогда как сохраняющиеся случаи характеризуются большей клинической значимостью и требуют более длительного периода восстановления.

Снижение частоты временной утраты трудоспособности может быть связано с комплексным воздействием факторов, включая совершенствование профессиональной подготовки сотрудников, повышение уровня профилактики травматизма, внедрение регламентированных требований безопасности и усиление кон-

Таблица 2

Динамика случаев и продолжительности временной утраты трудоспособности вследствие черепно-мозговых травм у сотрудников Министерства внутренних дел России (2008–2024 гг.)

Table 2

Trends in the incidence and duration of temporary disability due to traumatic brain injuries among employees of the Ministry of Internal Affairs of Russia (2008–2024)

Год	Случай ВУТ, ‰	Индекс к 2008 г., %	Дни ВУТ (на 1 тыс. сотрудников)	Индекс к 2008 г., %	Средняя длительность одного случая, день
2008	52,6	100,0	1128,0	100,0	21,4
2009	46,2	87,8	1003,5	88,9	21,7
2010	39,9	75,9	879,0	77,9	22,0
2011	33,5	63,7	754,5	66,9	22,5
2012	27,1	51,5	630,0	55,9	23,2
2013	26,9	51,1	630,6	55,9	23,4
2014	26,8	51,0	631,3	56,0	23,6
2015	26,6	50,6	631,9	56,0	23,8
2016	26,4	50,2	632,5	56,1	24,0
2017	26,3	50,0	633,1	56,1	24,1
2018	26,1	49,6	633,8	56,2	24,3
2019	25,9	49,2	634,4	56,2	24,5
2020	25,8	49,0	635,0	56,3	24,6
2021	25,6	48,7	638,3	56,6	24,9
2022	25,4	48,3	641,5	56,9	25,3
2023	25,3	48,1	644,8	57,2	25,5
2024	25,1	47,7	648,0	57,4	25,8

Примечание: случаи временной утраты трудоспособности (ВУТ) и суммарное количество дней представлены в расчете на 1 тыс. сотрудников (‰). Средняя длительность одного случая рассчитана как отношение общего количества дней временной нетрудоспособности к числу случаев

Note: The incidence of temporary disability and the total number of days are presented per 1,000 employees (‰). The average duration of one case is calculated as the ratio of the total number of days of temporary disability to the number of cases

троля за условиями служебной деятельности. Дополнительное значение имеет развитие системы медицинского обеспечения, осуществляющей более раннюю диагностику и эффективное лечение травм, что способствует снижению частоты повторных эпизодов временной нетрудоспособности.

В то же время увеличение средней длительности одного случая может отражать изменение подходов к ведению пострадавших, включая более строгие критерии допуска к службе после травмы, расширение реабилитационных мероприятий и ориентированность на полное восстановление функционального состояния. Такой подход способствует снижению риска осложнений и повторной травматизации, однако сопровождается увеличением длительности одного эпизода нетрудоспособности.

Выявленная динамика показателей временной утраты трудоспособности отражает не только снижение частоты ЧМТ, но и изменение их структуры и тяжести, а также совершенствование организационно-медицинских подходов к ведению пострадавших в системе ведомственного здравоохранения.

Анализ динамики показателей первичной инвалидности и смертности вследствие ЧМТ у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации за период 2008–2024 гг. выявил устойчивое снижение обоих показа-

телей при различной скорости их изменений. Уровень первичной инвалидности снизился с 2,1 ‰ в 2008 г. до 0,3 ‰ в 2024 г., что соответствует уменьшению на 85,7 % относительно базового показателя. Данные смертности за аналогичный период уменьшились с 42,5 до 13,8 на 100 тыс. сотрудников, то есть на 67,5 %.

Динамика показателей характеризуется выраженным опережающим снижением уровня инвалидности по сравнению со смертностью. Уже к 2012 г. показатель инвалидности снизился до 1,3 ‰ (−38,1 % к 2008 г.), тогда как смертность составила 35,3 на 100 тыс. (−16,9 %). К 2020 г. инвалидность достигла уровня 0,6 ‰ (−71,4 %) при смертности 21,0 на 100 тыс. (−50,6 %), а к 2024 г. разрыв в темпах снижения показателей сохранялся или усиливался.

Указанные изменения сопровождались ростом соотношения показателей смертность / инвалидность: с 20,2 в 2008 г. до 27,2 в 2012 г.; с 35,0 в 2020 г. до 46,0 в 2024 г., что свидетельствует о существенном изменении структуры неблагоприятных исходов ЧМТ.

Выявленная диспропорция может быть обусловлена особенностями формирования показателей первичной инвалидности в ведомственной системе. Снижение инвалидности с 2,1 до 0,3 ‰ отражает не только уменьшение частоты тяжелых последствий травм, но и влияние организационных факторов, включая отбор контингента и выбытие со службы сотрудников с выраженными нарушениями до установления инвалидности. В этих условиях показатель инвалидности становится более чувствительным

Таблица 3

Динамика первичной инвалидности и смертности вследствие черепно-мозговых травм у сотрудников Министерства внутренних дел России (2008–2024 гг.)

Table 3

Trends in primary disability and mortality due to traumatic brain injuries among employees of the Ministry of Internal Affairs of Russia (2008–2024)

Год	Первичная инвалидность, ‰	Индекс к 2008 г., %	Смертность (на 100 тыс.)	Индекс к 2008 г., %	Соотношение смертность / инвалидность
2008	2,1	100,0	42,5	100,0	20,2
2009	1,9	90,5	40,7	95,8	21,4
2010	1,7	81,0	38,9	91,5	22,9
2011	1,5	71,4	37,1	87,3	24,7
2012	1,3	61,9	35,3	83,1	27,2
2013	1,2	57,1	33,5	78,8	27,9
2014	1,1	52,4	31,7	74,6	28,8
2015	1,1	52,4	29,9	70,4	27,2
2016	1,0	47,6	28,2	66,4	28,2
2017	0,9	42,9	26,4	62,1	29,3
2018	0,8	38,1	24,6	57,9	30,8
2019	0,7	33,3	22,8	53,6	32,6
2020	0,6	28,6	21,0	49,4	35,0
2021	0,6	28,6	19,2	45,2	32,0
2022	0,5	23,8	17,4	40,9	34,8
2023	0,4	19,0	15,6	36,7	39,0
2024	0,3	14,3	13,8	32,5	46,0

Примечание: индексы рассчитаны по отношению к уровню 2008 г. (100 %). Соотношение отражает число случаев смертности на один случай первичной инвалидности

Note: The indices are calculated relative to the 2008 level (100 %). The ratio reflects the number of deaths per one case of primary disability

к управленческим решениям и организационным механизмам.

Сохраняющаяся более высокая относительная доля смертности может быть обусловлена не только характером травматических воздействий, присущих профессиональной деятельности сотрудников МВД России, но и особенностями ведомственной системы освидетельствования и учета последствий травм. В практике военно-врачебной экспертизы сотрудники, перенесшие тяжелые ЧМТ, после прохождения освидетельствования признаются негодными к дальнейшему прохождению службы и увольняются по состоянию здоровья. В последующем инвалидность таким лицам устанавливается уже вне системы медицинского обеспечения МВД России, что приводит к занижению показателей первичной инвалидности в анализируемом контингенте. На этом фоне снижение смертности с 42,5 до 13,8 на 100 тыс. сотрудников отражает повышение эффективности медицинской помощи и маршрутизации пострадавших. Однако более медленные темпы ее снижения по сравнению с инвалидностью в значительной степени обусловлены указанными организационными особенностями учета, а также сохранением доли тяжелых травм с высоким риском летального исхода.

Обсуждение. Полученные результаты в целом согласуются с данными отечественных и зарубежных исследований, посвященных анализу состояния здоровья и травматизма в профессиональных группах с повышенным уровнем риска. Системная нисходящая динамика показателей ЧМТ у сотрудников МВД России корреспондирует с выводами, представленными в монографии В. И. Евдокимова и соавт. [3], где на основе длительного ретроспективного анализа отмечено общее улучшение ряда медико-статистических показателей здоровья сотрудников органов внутренних дел. Выявленная устойчивая тенденция снижения частоты ЧМТ может быть объяснена комплексным воздействием организационно-медицинских и профилактических мероприятий, реализуемых в системе МВД России. К ключевым из них можно отнести совершенствование профессионального отбора и медицинского освидетельствования; внедрение регламентированных программ физической и тактической подготовки; развитие системы ведомственной медицинской помощи, включая этапность оказания помощи и маршрутизацию пострадавших; усиление контроля за условиями службы и техникой безопасности. Более низкие показатели частоты ЧМТ у сотрудников МВД России по сравнению с гражданским населением могут быть обусловлены эффектом «здорового работника», предполагающим, что в профессиональный контингент изначально отбираются лица с более высоким уровнем соматического и психофизиологического здоровья. Дополнительным фактором исключения являются лица с последствиями травм по результатам военно-врачебной экспертизы, что приводит к селекции менее травмоуязвимой популяции.

Сопоставление с зарубежными данными также подтверждает, что сотрудники правоохранительных органов демонстрируют иные профили заболеваемости и травматизма по сравнению с общей популяцией, что обусловлено как спецификой профессиональной деятельности, так и особенностями медицинского отбора и сопровождения. K. Lyons и соавт. [7] указывают на наличие выраженных различий в состоянии здоровья полицейских по сравнению с гражданским населением, подчеркивая роль институциональных факторов, включая доступность медицинской помощи и регламентированные требования к профессиональной пригодности.

Снижение частоты и выраженности трудопотерь при ЧМТ, выявленное в настоящем исследовании, согласуется с данными D. Maupin Tiesman и соавт. [8], которые отмечают, что травматизм у сотрудников полиции носит комплексный характер и во многом зависит от уровня подготовки, организационной среды и механизмов восстановления после травм. Целенаправленные программы профилактики и реабилитации позволяют не только снижать частоту травм, но и уменьшать их медико-социальные последствия, включая продолжительность временной утраты трудоспособности [9].

Особый интерес представляет выявленное в исследовании устойчивое снижение показателей первичной инвалидности и смертности вследствие ЧМТ у сотрудников МВД России. Зарубежные исследования в области профессионального здоровья полицейских указывают, что неблагоприятные исходы, включая летальные, в значительной степени опосредованы сочетанием травматических воздействий, хронического стресса и сопутствующих психосоциальных факторов [7–9]. В этом

контексте более низкие уровни смертности и инвалидизации в ведомственном контингенте могут отражать как эффективность медицинского сопровождения, так и особенности учета и маршрутизации лиц с тяжелыми последствиями травм за пределы активной службы.

Согласно данным А. И. Сидорова и соавт. (2019), внедрение структурированных программ физической подготовки и тренинга устойчивости способствует снижению риска тяжелых травм, включая черепно-мозговые, улучшает исходы восстановления и позволяет рассматривать выявленную положительную динамику показателей ЧМТ у сотрудников МВД России как отражение более широких тенденций профессионализации и стандартизации подготовки в силовых ведомствах [1].

Заключение. Проведенный ретроспективный анализ продемонстрировал устойчивое снижение медико-статистических показателей, характеризующих последствия ЧМТ у сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации в 2008–2024 гг., включая первичную заболеваемость, временную утрату трудоспособности, инвалидность и смертность. Выявленные изменения сопровождаются структурной трансформацией исходов травматизма, проявляющейся снижением частоты случаев при увеличении средней длительности нетрудоспособности и опережающим снижением инвалидности по сравнению со смертностью.

Установленные особенности обусловлены совокупным влиянием организационно-медицинских факторов, включая совершенствование системы профессионального отбора и военно-врачебной экспертизы, развитие медицинской помощи и реабилитации, а также особенности учета последствий травм в ведомственном контингенте.

Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем совершенствовании профилактики травматизма, медицинского сопровождения и реабилитации сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации.

Сведения об авторах

Лихолетов Андрей Геннадьевич – заместитель начальника управления медицинского обеспечения, Департамент по материально-техническому и медицинскому обеспечению МВД России; Россия, 123060, Москва, ул. Расплетина, д. 26; SPIN: 2375-1624; ORCID: 0009-0003-9146-2461; e-mail: oomp.mvd@mail.ru

Климзов Алексей Геннадьевич – врач-терапевт, Центр военно-врачебной экспертизы Военного комиссариата Санкт-Петербурга; Россия, 190121, Санкт-Петербург, Английский пр., д. 8/10; SPIN: 8081-7960; ORCID: 0009-0009-61789344; e-mail: klimzovmed@yandex.ru

Ичитовкина Елена Геннадьевна – доктор медицинских наук, доцент, главный психиатр МВД России, Департамент по материально-техническому и медицинскому обеспечению МВД России; Россия, 123060, Москва, ул. Расплетина, д. 26; SPIN: 4333-0282; ORCID: 0000-0001-8876-669X; e-mail: elena.ichitovckina@yandex.ru

Information about the authors

Andrey G. Likholetov – Deputy Head of the Medical Support Directorate, Department for Logistics and Medical Support of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation; Russia, 123060, Moscow, Raspletina Str., 26; SPIN: 2375-1624; ORCID: 0009-0003-9146-2461, e-mail: oomp.mvd@mail.ru

Alexey G. Klimzov – General Practitioner, Military Medical Examination Center of St. Petersburg; Russia, 190121, Saint Petersburg, English Ave, 8/10; SPIN: 8081-7960; ORCID: 0009-0009-61789344; e-mail: klimzovmed@yandex.ru

Elena G. Ichitovkina – Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, psychiatrist, Chief Psychiatrist of the Ministry of Internal Affairs of Russia; Department of Material and Technical Support and Medical Services of the Ministry of Internal Affairs of Russia; Russia, 123060, Moscow, Raspletina Str., 26; SPIN: 4333-0282; ORCID: 0000-0001-8876-669X; e-mail: elena.ichitovckina@yandex.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом. Сбор первичных материалов, интерпретация полученных данных, написание первичного варианта статьи – Е. Г. Ичитовкина; сбор первичных материалов, систематизация полученных результатов – А. Г. Лихолетов; редактирование окончательного варианта статьи, структурирование материала – А. Г. Климзов.

Author contributions. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the study concept, data collection and analysis, manuscript preparation, and approved the final version prior to publication).

Special contribution. EGI collection of primary data, interpretation of results, and drafting of the manuscript. AGL collection of primary data and systematization of results. AGK editing of the final version of the manuscript and structuring of the material.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: *13.01.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Сидоров А. В., Алимова А. И. О некоторых вопросах формирования профессиональной направленности в подготовке сотрудников органов внутренних дел на современном этапе // *Закон и право*. 2024. № 11. С. 261–265 [Sidorov A. V., Alimova A. I. On certain issues of forming professional orientation in the training of internal affairs officers at the present stage. *Law and Law*, 2024, No. 11, P. 261–265 (In Russ.)].
2. Сидоренко В. А., Рыбников В. Ю., Нестеренко Н. В. Основные показатели состояния здоровья и структура заболеваемости сотрудников органов внутренних дел, Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы МЧС России и военнослужащих Вооруженных сил Российской Федерации // *Медицина катастроф*. 2021. № 2 (114). С. 11–15 [Sidorenko V. A., Rybnikov V. Yu., Nesterenko N. V. The main indicators of the state of health and the structure of morbidity of employees of the internal affairs bodies, the Federal Fire Service of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia and military personnel of the Armed Forces of the Russian Federation. *Disaster Medicine*, 2021, No. 2 (114), pp. 11–15 (In Russ.)]. doi: 10.33266/2070-1004-2021-2-11-15.
3. Евдокимов В. И., Иванов Н. М., Ичитовкина Е. Г., Лихолетов А. Г. *Оценка состояния здоровья и заболеваемости сотрудников МВД России (2008–2023 гг.):* монография. (Сер. «Заболеваемость военнослужащих»; вып. 22). СПб.: Измайловский; 2024. 105 с. [Evdokimov V. I., Ivanov N. M., Ichitovkina E.G., Likholetov A.G. *Assessment of the state of health and morbidity of employees of the Ministry of Internal Affairs of Russia (2008–2023)*: monograph. (Ser. "Morbidity of military personnel"; issue 22), St. Petersburg: Izmailovsky; 2024, 105 p. (In Russ.)].
4. Овчаренко А. П., Лемешкин Р. Н., Толстошеев В. Н., Лучшев А. В. Анализ опыта работы по ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций у специалистов нештатных формирований службы медицины катастроф Минздрава России и ФМБА // *Медицина катастроф*. 2023. № 1. С. 9–13 [Ovcharenko A. P., Lemeshkin R. N., Tolstosheev V. N., Luchshev A. V. Analysis of the experience in eliminating medical and sanitary consequences of emergencies by specialists of non-regular formations of the disaster medicine service of the Ministry of Health of Russia and FMBA. *Disaster Medicine*, 2023, No. 1, pp. 9–13 (In Russ.)]. doi: 10.33266/2070-1004-2023-1-9-13.
5. Hartley T.A., Burchfiel C.M., Fekedulegn D., Andrew M.E., Violanti J.M. Health disparities in police officers: comparisons to the U.S. general population. *International Journal of Emergency Mental Health*, 2011, Vol. 13, No. 4, pp. 211–220. doi: 10.3233/WOR-2012-1411.
6. Tiesman H. M., Gwilliam M., Konda S., Hartley D., Chaumont Menéndez C. Nonfatal injuries to law enforcement officers: A rise in assaults. *American Journal of Preventive Medicine*, 2015, Vol. 49, No. 3, pp. 398–404. doi: 10.1016/j.amepre.2015.02.016.
7. Lyons K., Radburn M., Bell S., Griffiths R., Maupin D., Rundle A., Nasrullah A., Mawson S. Occupational injuries and work-related musculoskeletal disorders in policing: a review of evidence and best practices. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 2021, Vol. 31, No. 2, pp. 203–216. doi: 10.1007/s10926-020-09925-0 5.
8. Maupin D., Wills T., Moran K., et al. Police training and conditioning: improving resilience and reducing injury risks in tactical populations. *Strength and Conditioning Journal*, 2022, Vol. 44, No. 2, pp. 80–90. doi: 10.1519/SSC.0000000000000623.
9. Hogan B., MacDonald R., Wallace J., O'Connor S. Emergency medicine and digital health: real-world challenges and future directions. *Journal of Medical Internet Research*, 2020, Vol. 22, No. 7, e18940. doi: 10.2196/18940.

УДК 613.693

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЙТРЕКИНГА КАК МЕТОДА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕТЧИКА НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А. А. Благинин, Д. В. Овчинников, И. И. Жильцова, Ю. М. Иваков, О. А. Анненков, Д. В. Баковец, С. Н. Синельников*

Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Айтрекинг как метод регистрации глазодвигательной активности человека представляет большой научный и практический интерес для специалистов в области авиационной медицины для диагностики функционального состояния летчика в различные периоды его профессиональной деятельности. В российской и зарубежной литературе уже описаны исследования, установившие паттерны некоторых показателей айтрекинга при различных видах интенсивности когнитивной деятельности в различных условиях умственной работы, в том числе с привлечением авиационных специалистов. Выявлена взаимосвязь динамики глазодвигательной активности между физиологическими и психофизиологическими показателями организма человека.

ЦЕЛЬ. Обосновать использование айтрекинга для диагностики функциональных состояний летчика с помощью корреляционного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Модель исследования заключается в оценке регуляции сердечного ритма, уровня функционирования центральной нервной системы и глазодвигательной активности летчиков до и после выполнения полета на авиационном тренажере. При этом осуществлялось моделирование аварийной ситуации как внешнего стресс-фактора, оказывающего влияние на функциональное состояние летчика. Проведены оценка динамики функционального состояния по изменению физиологических и психофизиологических показателей, а также корреляционный анализ динамических рядов этих показателей с данными глазодвигательной активности и успешности действий в аварийных ситуациях.

В исследовании приняли участие 22 летчика из Юго-Восточной Азии, которые выполняли полеты на авиационных тренажерах российского производства.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлены статистически значимые изменения показателей айтрекинга, вариабельности ритма сердца, психофизиологических показателей, характеризующие изменение функционального состояния летчиков и степень напряжения глазодвигательной активности.

Установлены сильные статистические связи скоростных характеристик перемещения взора и временных характеристик фиксаций взора с показателями математического и спектрального анализа кардиоритмограммы, а также со свойствами внимания и скоростью нервных процессов. Установлены статистические связи физиологических и психофизиологических показателей с успешностью профессиональной деятельности летчиков.

ОБСУЖДЕНИЕ. Характер статистических связей свидетельствует о том, что в основе изменения вариабельности ритма сердца, характеристик внимания, нервной системы, глазодвигательной активности человека и успешности его профессиональной деятельности в условиях аварийной ситуации лежит функциональное состояние организма летчика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Увеличение скоростных показателей перемещения взора при выполнении когнитивных задач выявляет степень напряжения регуляторных систем организма летчика. Временные показатели фиксаций взора в большей степени отражают степень активации когнитивных процессов и в меньшей степени – мобилизацию физиологических резервов человека. Характер статистических связей между глазодвигательной активностью летчика, физиологическими, психофизиологическими реакциями организма и успешностью его профессиональной деятельности позволяют рассматривать айтрекинг как информативный метод оценки функционального состояния пилота.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, летчик, функциональное состояние, авиационная медицина, айтрекинг, глазодвигательная активность

***Для корреспонденции:** *Анненков Олег Александрович, e-mail: bnm.oleg@yandex.ru*

***For correspondence:** *Oleg A. Annenkov, e-mail: bnm.oleg@yandex.ru*

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

Для цитирования: Благинин А. А., Овчинников Д. В., Жильцова И. И., Иваков Ю. М., Анненков О. А., Баковец Д. В., Синельников С. Н. Психофизиологическое обоснование использования айтрекинга как метода оценки функционального состояния летчика на основе корреляционного анализа: ретроспективное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 101–114, EDN: https://elibrary.ru/NEURSB

For citation: Blaginin A. A., Ovchinnikov D. V., Zhiltsova I. I., Ivakov Yu. M., Annenkov O. A., Bakovets D. V. Sinelnikov S. N. Psychophysiological justification for use of eye tracking as method of assessing pilot's functional state based on correlation analysis: retrospective study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 101–114, EDN: https://elibrary.ru/NEURSB

PSYCHOPHYSIOLOGICAL JUSTIFICATION FOR USE OF EYE TRACKING AS METHOD OF ASSESSING PILOT'S FUNCTIONAL STATE BASED ON CORRELATION ANALYSIS: RETROSPECTIVE STUDY

Andrey A. Blaginin, Dmitry V. Ovchinnikov, Irina I. Zhiltsova, Yuri M. Ivakov, Oleg A. Annenkov, Dmitry V. Bakovets, Sergey N. Sinelnikov*
Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. Eye tracking, as a method for recording human oculomotor activity, is of great scientific and practical interest to aviation medicine specialists for diagnosing pilots' functional status at various stages of their professional careers. Russian and international literature has already described studies that have established patterns of certain eye tracking indicators for various levels of cognitive activity in various mental work environments, including studies involving aviation specialists. A correlation between oculomotor activity dynamics and physiological and psychophysiological parameters of the human body has been identified.

OBJECTIVE. To justify the use of eye tracking for diagnosing pilot's functional states using correlation analysis.

MATERIALS AND METHODS. The study assessed pilots' heart rate regulation, central nervous system function, and oculomotor activity before and after performing a flight in a flight simulator. An emergency situation was simulated as an external stressor affecting the pilot's functional state. The dynamics of functional state were assessed based on changes in physiological and psychophysiological indicators, as well as a correlation analysis of the time series of these indicators with oculomotor activity data and the success of actions in emergency situations.

The study involved 22 pilots from Southeast Asia who performed flights in Russian-made flight simulators.

RESULTS. Statistically significant changes in eye-tracking parameters, heart rate variability, and psychophysiological parameters characterizing changes in the pilots' functional state and the degree of oculomotor activity strain were identified. Strong statistical correlations were established between the speed characteristics of gaze movements and the temporal characteristics of gaze fixations with the parameters of mathematical and spectral analysis of the cardiac rhythmogram, as well as with attentional properties and the speed of neural processes. Statistical correlations were also established between physiological and psychophysiological parameters and the pilots' professional success.

DISCUSSION. The nature of the statistical relationships indicates that the basis for changes in heart rate variability, characteristics of attention, the nervous system, oculomotor activity of a person and the success of his professional activity in an emergency situation is the functional state of the pilot's body.

CONCLUSION. Increased gaze velocity during cognitive tasks reveals the degree of stress on the pilot's regulatory systems. Gaze fixation time indicators largely reflect the degree of cognitive activation and, to a lesser extent, the mobilization of physiological reserves. The nature of the statistical relationships between pilot oculomotor activity, physiological and psychophysiological responses, and professional performance allows eye tracking to be considered an informative method for assessing a pilot's functional state.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, pilot, functional state, aviation medicine, eye tracking, oculomotor activity

Введение. Профессиональная деятельность летчика в современных условиях связана не только с непрерывным воздействием факторов авиационного полета, но и с напряженной умственной и эмоциональной нагрузкой, обусловленной обработкой большого количества зрительной и аудиальной информации, необходимостью принятия важных решений в режиме ограниченных временных параметров, часто связанных с риском для жизни членов экипажа или пассажиров [1, 2].

В связи с этим большую часть работы авиационного врача составляют мероприятия по оценке функционального состояния организма летчика, его работоспособности и прогнозированию профессионального здоровья летчика [3]. В настоящее время в арсенале авиационной медицины имеется большое количество физи-

ологических и психофизиологических инструментов для решения этих задач [4–6]. Однако разработка новых методов оценки реакции организма летчика на внешние и внутренние стресс-факторы профессиональной деятельности сохраняет свою актуальность [7].

Современными исследователями установлено, что стрессовые факторы влияют на динамику функционального состояния человека, что находит отражение в уровне функционирования различных физиологических систем организма: сердечно-сосудистой (ССС), дыхательной, но в первую очередь – центральной нервной системы (ЦНС). Это отражается в изменении показателей гемодинамики, вегетативной нервной системы и мозговой активности [8, 9].

Одним из проявлений мозговой деятельности человека является его глазодвигательная активность. Любой когнитивный процесс характеризуется постоянным перемещением взора, что обусловлено необходимостью перманентного поиска, опознания и сканирования визуальной информации. Влияние стресс-факторов и изменение функционального состояния организма человека, безусловно, оказывают влияние на глазодвигательную активность [10].

В основе данного утверждения лежит представление о регуляции глазодвигательной активности как о функциональной системе с многоуровневым процессом управления и строгой архитектурой глазодвигательных актов, в которую входят синтез предпосылок движений, принятие решения, акцептор действий и обратная связь [11]. Таким образом, в соответствии с теорией функциональных систем, динамика глазодвигательной активности человека может служить маркером изменений функционального состояния организма в целом [1].

В отечественной и зарубежной литературе описаны некоторые паттерны глазодвигательной активности человека, в частности характеристики фиксаций взора и саккад. Установлены особенности их параметров при когнитивной деятельности, такой как поиск и обработка визуальной информации и аналитическая умственная работа без визуальной нагрузки в условиях ограниченного лимита времени и психоэмоционального напряжения; при некоторых неврологических, нейрофизиологических и психических девиациях [12–14]. Проведены исследования по оценке глазодвигательной активности пилотов гражданской авиации в процессе полета на авиационном тренажере, где выявлена ее связь с функциональным состоянием ЦНС и ССС, а также определены наиболее чувствительные ее показатели как маркеры зрительного утомления[1].

В силу того, что работа летчика эмоционально и когнитивно напряжена, использование айтрекинга в оценке реакций организма на действие профессиональных факторов летной работы представляется во многом специфическим, а с физиологической точки зрения – интегральным и комплексным методом, наряду с анализом вариабельности сердечного ритма и оценкой статокинетической функции методом компьютерной стабилографии [15].

Применение айтрекинга в авиационной медицине позволит не только дополнить имеющийся инструментарий для рутинной работы авиационного врача по медицинскому обеспечению полетов, но и значительно расширить возможности медицинского сопровождения летчиков в наиболее сложные и важные периоды их профессиональной деятельности. Оценка психофизиологических резервов и сформированности навыков управления летательным аппаратом у летчиков при переучивании на новую авиационную технику, у курсантов летных училищ при прохождении первичной летной подготовки, оценка функционального состояния летчика в период медико-психологической реабилитации и врачебно-летного освидетельствования могут быть потенциальными точками реализации возможностей айтрекинга [16, 17].

Цель. Обосновать использование айтрекинга для оценки функционального состояния летчика на основе статистических связей его глазодвигательной активности с уровнем функционирования ЦНС, регуляцией сердечного ритма, а также с успешностью профессиональной деятельности.

Материалы и методы. Модель исследования заключается в оценке изменения напряжения регуляторных систем, уровня функционирования ЦНС, характеристик внимания и глазодвигательной активности летчика до и после пилотирования на авиационном тренажере в условиях моделирования аварийной ситуации. Нештатная ситуация во время пилотирова-

[1]Зибарев Е. В. Научное обоснование концепции оценки напряженности труда у пилотов гражданской авиации: дис. … д-ра мед. наук. Москва, 2023. 356 с.

Таблица 1

Характеристики летчиков, принявших участие в исследовании

Table 1

Characteristics of the pilots who took part in the study

Группа летчиков	Привлечены к работе на тренажерах, *n*	Эффективность деятельности, балл	Средний возраст, год	Возрастной диапазон, годы	Средний налет, часы
А	10	7,3	25,5	24–29	261
Б	12	8,2	31,5	25–47	603

ния представляет собой внешний стресс-фактор, оказывающий влияние на функциональное состояние организма летчика, мобилизацию его физиологических, психофизиологических и когнитивных резервов.

Для этой цели к полетам на тренажерах были привлечены 22 летчика из Юго-Восточной Азии, которых разделили на две группы на основании эффективности их деятельности при моделировании нештатной ситуации. В полете моделировались отказ системы управления, пожар, отказ работы двигателя самолета, работы шасси и другие ситуации, предусмотренные программой тренажерной подготовки. Эффективность действий летчика оценивали летчики-инструкторы на основе установленных протоколов по десятибалльной шкале. Характеристики летчиков, принявших участие в исследовании, представлены по группам в табл. 1.

Летчиков, привлеченных к исследованиям, обследовали в два этапа. Первый этап – регистрация фоновых показателей за 15–30 мин до начала подготовки на тренажере; второй этап — регистрация показателей непосредственно после полета на тренажере в течение 15 мин. На обоих этапах обследование осуществлялось по единой программе в утренние часы в отдельном, хорошо проветриваемом помещении с температурой воздуха 22 °С.

Степень напряжения регуляторных систем оценивали методом анализа вариабельности ритма сердца (ВРС) с помощью оборудования российского производства «ВНС-Ритм». Продолжительность записи ритмограммы составляла 5 мин для фиксации не менее 300 сердечных сокращений. Ритмограмму анализировали математическим методом по Р. М. Баевскому с учетом моды (Мо), вариационного размаха (ВР), амплитуды моды (АМо), индекса напряжения регуляторных систем (ИН), а также спектральным методом по показателям высокочастотных колебаний (HF — high frequency), низкочастотных колебаний (LF — low frequency), очень низкочастотных (VLF — very low frequency) колебаний, соотношения LF/HF, общей мощности спектра (TP — total power) и показателя активности регуляторных систем (ПАРС) [19, 20].

Уровень функционирования ЦНС оценивали с использованием оборудования отечественного производства «НС-Психотест» по валидным психофизиологическим методикам, таким как простая и сложная сенсомоторные реакции (ПСМР, ССМР) для фиксации скорости нервных процессов, реакция на движущийся объект (РДО), отражающая баланс процессов возбуждения и торможения, а также «Черно-красные таблицы Шульте—Платонова» для определения объема (ОВ), распределения (РВ) и переключаемости (ПВ)[2]. оценка концентрации и устойчивости внимания,

Мобилизацию когнитивных резервов обследуемых оценивали методом регистрации глазодвигательной активности человека во время выполнения теста «Черно-красные таблицы Шульте—Платонова» с использованием оборудования немецкого производства SMI RED250. Полученные данные анализировали по количественным и временным характеристикам фиксаций взора (количество, частота, продолжительность), временным и скоростным показателям перемещения взора (количество, частота, продолжительность, средняя и пиковая скорость, амплитуда саккад) при помощи программного обеспечения SMI BeGaze.

Для определения психофизиологических основ, потенциальных возможностей и перспектив практического применения айтрекинга

[2]Мантрова И. Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике. Иваново: Нейрософт; 2005

для диагностики функционального состояния и работоспособности летного состава выявляли корреляционные статистические связи между физиологическими, психофизиологическими показателями и данными глазодвигательной активности летчиков при выполнении когнитивной задачи до и после полета на авиационном тренажере.

Исследования проводили в отдельном помещении в условиях кондиционирования воздуха и поддержания температуры +22 °С в утренние часы, через 1,5–2 ч после приема пищи. От всех обследуемых получено письменное согласие на участие в исследовании в соответствии с нормами биомедицинской этики (Declaration of Helsinki and European Community directives, 8/609 EC).

Статистическую обработку данных выполняли с использованием математико-статистического анализа, включающего оценку нормальности распределения с определением критерия Дэвида—Хартли—Пирсона и дальнейшим использованием непараметрических методов (критерий Вилкоксона). Расчеты производились с помощью программы Statistica 12.0 и Microsoft Office Excel-2010 на персональном компьютере.

Результаты. Анализ глазодвигательной активности летчиков до и после полета на авиационном тренажере не выявил статистически значимых изменений характеристик фиксаций в обеих группах. Не установлено достоверных изменений характеристик саккад во 2-й группе. На рисунке представлена динамика характеристик саккад у летчиков 1-й группы.

Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что когнитивная нагрузка на летчиков во время записи глазодвигательной активности была умеренной и не вызывала значимой активации умственной деятельности. По мнению ряда авторов, количественные и временные характеристики фиксаций ассоциированы с активизацией и мобилизацией когнитивных резервов, направленных на выполнение сложных умственных задач [13]. С другой стороны, они могут быть связаны с противоположными физиологическими процессами при развитии утомления зрительного

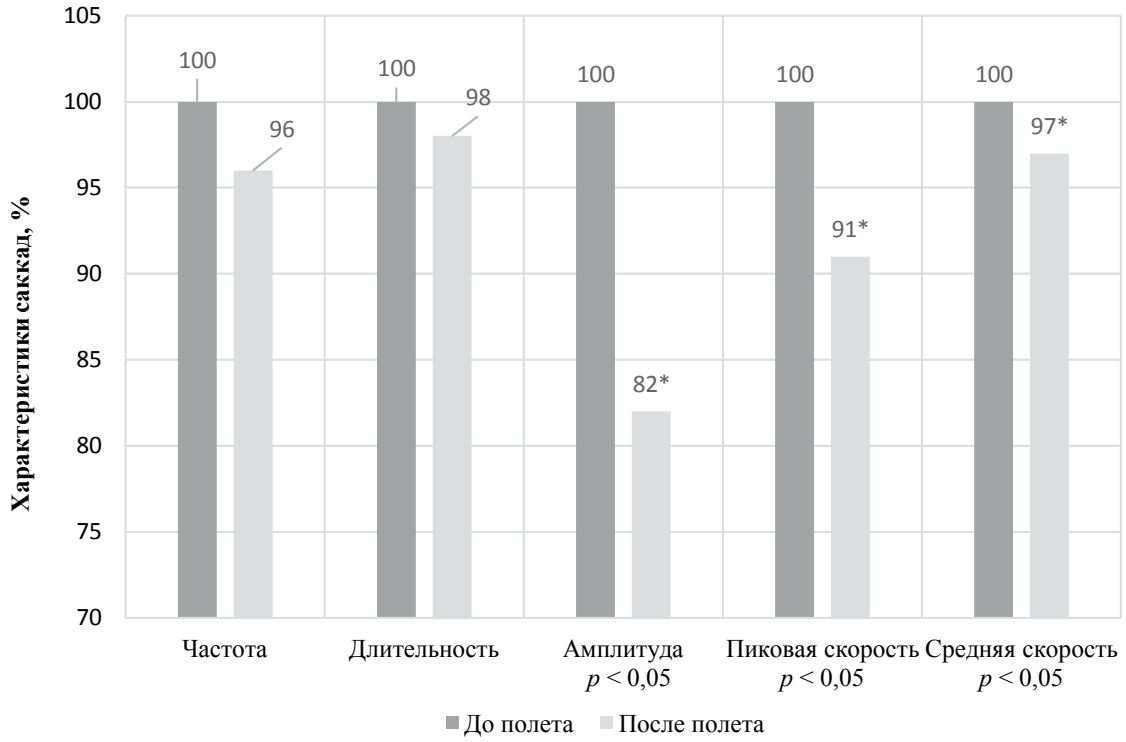


Рисунок. Характеристика саккад у летчиков 1-й группы до и после моделирования аварийной ситуации на тренажере; * — уровень статистической значимости p ⩽ 0,05 при сравнении показателей до и после полета на тренажере

Figure. Characteristics of saccades in pilots of 1st group before and after simulating an emergency situation on a simulator; * — the level of statistical significance is p < 0.05 when comparing the indicators before and after the flight on the simulator

анализатора и организма в целом, при неспособности к длительной фиксации взора и снижении аналитической деятельности.

Основываясь на результатах исследований В. А. Барабанщикова, проведенных в 2014 г., можно сделать вывод, что скорость и амплитуда саккад имеют прямую связь со сложностью выполняемой когнитивной задачи и отражают степень мобилизации когнитивных ресурсов человека. В то же время снижение пиковой скорости саккад может свидетельствовать о сложности выполняемой задачи или развития утомления [14].

Таким образом, в 1-й группе достоверные изменения скоростных показателей саккад свидетельствуют о снижении аналитической активности и, вероятно, о развитии умственного утомления. Во 2-й группе достоверных изменений глазодвигательной активности не зафиксировано.

Динамика показателей ВРС, имевших статистическую значимость, у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации представлена в табл. 2.

Динамика показателей ВРС в 1-й группе свидетельствует о повышении парасимпатического влияния на регуляцию сердечного ритма по показателю ВР, о снижении общего вегетативного влияния на нее по ТР преимущественно за счет увеличения гуморального влияния, о выраженном напряжении регуляторных систем по интегральному показателю ПАРС. Наблюдаемая в полученных данных картина, демонстрирующая явное рассогласование показателей спектрального и математического

Таблица 2

Показатели вариабельности ритма сердца у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации на тренажере

Table 2

Heart rate variability indicators in pilots before and after simulating an emergency situation on a simulator

Показатель	Группа летчиков	Значение до полета на тренажере	Значение после полета на тренажере
Вариационный размах, с	1	193[151; 225]	227 [196; 252]*
	2	176 [129; 217]	142 [99; 167]
Амплитуда моды, %	1	40,3[32,2; 47,5]	39,5 [32,8; 44,4]
	2	45,1 [35,1; 50,6]	59,7 [45,5; 71,6] *
Индекс напряжения регуляторных систем, отн. ед.	1	155 [78; 172]	131 [70; 134] *
	2	293 [86; 337]	488 [153; 560] *
Общая мощность спектра, мс^2	1	3756 [1980; 5050]	4194 [2808; 6076] *
	2	2602 [1351; 4013]	1749 [516; 2243] *
Мощность VLF-волн, мс^2	1	1200 [806; 1503]	1780 [878; 2313] *
	2	626 [325; 748]	266 [50; 378]
Мощность LF-волн, мс^2	1	928 [470; 1084]	1164 [753; 1457]
	2	1153 [377; 1490]	699 [313; 1088] *
Мощность HF-волны, мс^2	1	1629 [585; 1700]	1250 [615; 1599] *
	2	824 [418; 877]	784 [178; 1108]
Коэффициент соотношения LF/HF, отн. ед.	1	0,85 [0,42; 1,09]	1,06 [0,85; 1,15]
	2	1,93 [0,99; 2,50]	1,35 [0,62; 2,10] *
Показатель активности регуляторных систем, балл	1	3,00[2,50; 4,00]	3,75 [2,75; 5,25] *
	2	4,58[4,00; 5,00]	4,75[4,75; 6,00]

Примечание. * — уровень статистической значимости $p \leq 0{,}05$ при сравнении показателей до и после полета на тренажере.

Note. * — the level of statistical significance is $p < 0.05$ when comparing the indicators before and after the flight on the simulator

анализа ритмограммы, может быть интерпретирована как тенденция к демобилизации физиологических резервов и перенапряжению адаптационных механизмов организма [17].

Во 2-й группе отмечены изменения несколько иного характера. Прежде всего, наблюдается увеличение симпатического влияния на регуляцию ритма сердца (AMo), повышение централизации и общего вегетативного влияния на нее (TP), но с уменьшением доли симпатического компонента (LF/HF, LF) в TP. Характер описанных изменений можно интерпретировать как умеренное напряжение адаптационных механизмов и мобилизацию физиологических резервов организма [18].

Динамика внимания и уровня функционирования ЦНС у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации на тренажере, имевшая статистическую значимость, представлена в табл. 3.

Анализ полученных данных показывает, что у летчиков 1-й группы до выполнения полетов на тренажере отмечалось значимое превалирование процессов возбуждения нервной системы над торможением, что особенно отчетливо прослеживается при сравнении со временем РДО у летчиков 2-й группы. После моделирования полета в аварийной ситуации выраженность процессов возбуждения уменьшилась за счет снижения доли запаздывающих и опережающих реакций, однако сохранилась в отрицательной области показателей РДО, что может отражать значимое воздействие стресс-фактора на сбалансированность нервных процессов. Распределение и переключаемость внимания до полета по пятибалльной шкале находились на 2-м уровне (ниже среднего), а после сместились на 1-й уровень (низкий), что свидетельствует о снижении подвижности нервных процессов.

Во 2-й группе зарегистрирована противоположная 1-й группе динамика сбалансированности нервных процессов, заключающаяся в смещении баланса в сторону процессов возбуждения по данным РДО, а также смещение переключаемости внимания с 5-го уровня (высокий) на 4-й уровень (выше среднего).

Сравнение результатов корреляционного анализа динамических рядов глазодвигательной активности летчиков с показателями ВРС до и после полетов представлено в табл. 4.

При этом до моделирования аварийной ситуации на тренажере установлены прямые корреляционные связи скоростных показателей саккад с интегральным показателем регуляции сердечного ритма, ПАРС, а также доли длинных фиксаций с мощностью дыхательных волн.

Полученные данные, прежде всего связи скоростных показателей, отражают взаимодействие активации глазодвигательной активности и сонаправленного ей напряжения регуляторных систем организма. С физиологической точки зрения напряжение может быть обусловлено изменением функционального состояния организма летчиков в предполетный период, которое сопровождается выраженными эмоциональными реакциями, психологической подготовкой к действиям в сложных условиях, мобилизацией физиологических резервов организма. Это, в свою очередь, лежит в основе активации глазодвигательной активности при решении несложных когнитивных задач.

Интерес вызывают результаты корреляционного анализа данных, полученных непосредственно после выполнения полета с моделированием аварийной ситуации. Зарегистрированы статистически значимые связи скоростных показателей саккад с ПАРС, индексом напряжения регуляторных систем, а также обратная связь с модой вариационной пульсометрии. Установлены прямые связи длительности фиксаций с ПАРС и коэффициентом соотношения LF/HF.

Эти результаты в полной мере соответствуют выявленным связям в предполетный период. Это касается скоростных показателей саккад и ПАРС. Статистическая связь с показателем Мо и ИН имеет аналогичное физиологическое значение и отражает симпатотонию и напряжение регуляторных механизмов. Выполнение полета на тренажере с моделированием аварийной ситуации оказывает влияние на функциональное состояние человека и приводит к физиологическим реакциям, чаще всего более выраженным, чем в предполетный период, что и нашло отражение в появлении дополнительных связей показателей саккад и математического анализа ритмограммы.

Прямые связи ПАРС, соотношения симпатического и парасимпатического влияния на мощность спектра с временными характеристиками фиксаций могут свидетельствовать о воздействии функционального состояния человека или внешних условий при выполнении

умственной работы на мобилизацию когнитивных функций, проявляющуюся прежде всего удлинением фиксаций.

Однако в нашем исследовании достоверных изменений характеристик фиксаций в обеих группах летчиков не получено, в связи с чем

Таблица 3

Характеристика внимания и нервных процессов у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации на тренажере

Table 3

Characteristics of attention and nervous processes in pilots before and after simulating an emergency situation on a simulator

Показатель	Группа летчиков	Значение до полета на тренажере	Значение после полета на тренажере
Распределение внимания, баллы	1	71,9 [52,3; 90,4]	108,0 [58,3; 137,3] *
	2	55,3[46,7; 61,1]	60,4 [52,9; 63,6]
Переключение внимания, баллы	1	39,4 [22,3; 61,2]	76,3 [28,0; 102,3] *
	2	6,8 [5,9; 22,0]	17,7 [15,7; 31,9] *
Среднее время реакции на движущийся объект, мс	1	-12,7 [-25,3; -1,8]	-8,0 [-10,8; 8,5] *
	2	-6,1 [-11,3; -3,3]	-13,0 [-14,0; 2,5] *
Доля запаздываний реакции на движущийся объект, %	1	62,8 [54,8; 67,0]	52,0 [40,0; 60,0] *
	2	30,1 [7,0; 43,3]	37,2 [11,5; 61,8]
Доля опережений реакции на движущийся объект, %	1	29,3 [20,0; 43,5]	17,3 [7,0; 20,0] *
	2	23,8 [18,3; 21,8]	30,1 [20,0; 28,5]

Примечание. * — уровень статистической значимости $p \leqslant 0{,}05$ при сравнении показателей до и после полета на тренажере

Note. * — the level of statistical significance is $p < 0.05$ when comparing the indicators before and after the flight on the simulator

Таблица 4

Корреляционный анализ глазодвигательной активности и вариабельности ритма сердца до и после моделирования аварийной ситуации на тренажере

Table 4

Correlation analysis of oculomotor activity indicators and HRV indicators before and after simulating an emergency situation on a simulator

Показатель	Коэффициент корреляции						
	до полета		после полета				
	HF	ПАРС	ЧСС	Мода	ИН	LF/HF	ПАРС
Доля коротких фиксаций	-	-	-	-	-	0,44*	0,69***
Доля средних фиксаций	-	-	-	-	-	0,42*	0,54**
Долядлинных фиксаций	0,48*	-	-	-	-	-	-
Длительность саккады	-	-	-	-	-	-	0,64**
Амплитуда саккады	-	0,45*	0,47*	-	-	-	0,53**
Пиковая скорость саккады	-	0,48*	0,50**	-0,44*	0,43*	-	0,51**
Средняя скорость саккады	-	0,44*	0,45*	-	-	-	0,48*

Примечание. Уровень статистической значимости * — $p \leqslant 0{,}05$; ** – $p \leqslant 0{,}01$; *** — $p \leqslant 0{,}001$. HF — высокочастотные колебания; LF — низкочастотные колебания; ПАРС – показатель активности регуляторных систем; ЧСС – частота сердечных сокращений; ИН – индекс напряжения

Note. The level of statistical significance * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$. HF – high–frequency oscillations; LF –low–frequency oscillations; ПАРС – an indicator of the activity of regulatory systems; ЧСС – heart rate; ИН – stress index

интерпретация их статистических связей носит исключительно теоретический и оценочный характер.

Статистические связи показателей глазодвигательной активности с данными психофизиологического обследования летчиков также раскрыли некоторые физиологические и психофизиологические аспекты применения айтрекинга при оценке функционального состояния летчика.

В табл. 5 отражены статистические связи характеристик внимания, состояния нервной системы и показателей глазодвигательной активности у летчиков до и после выполнения полета на авиационном тренажере.

При анализе фоновых показателей обращают на себя внимание обратные связи скоростных параметров саккад с объемом и распределением внимания. Также установлены обратные связи временных характеристик фиксаций и саккад с распределением внимания, а длительности фиксаций — со временем ПСМР.

Особый интерес представляет связь скоростных показателей саккад со свойствами внимания — объемом и распределением, — которые отражают подвижность нервных процессов. В настоящем исследовании активация глазодвигательной активности у летчиков, не имеющих отклонений в состоянии здоровья, связана со сложностью выполняемой когнитивной задачи и необходимой для ее выполнения мобилизацией физиологических резервов, в том числе подвижности нервных процессов.

Увеличение средней продолжительности фиксаций обеспечивает повышение эффективности аналитической работы человека, что, в свою очередь, связано с увеличением объемов оперативной памяти и внимания. Это подтверждается выявленной обратной статистической связью этих параметров.

Прямая связь времени ПСМР и длительности фиксаций в настоящем исследовании не имеет физиологической основы и обусловлена функциональным состоянием организма в целом, так как тест ПСМР и запись глазодвигательной активности при решении когнитивной задачи выполнялись последовательно в предполетный период. Таким образом, в рамках корреляционного анализа данный результат носит скорее информационный характер и должен рассматриваться в комплексе со всеми примененными методиками.

Таблица 5

Корреляционный анализ глазодвигательной активности и психофизиологических показателей до и после моделирования аварийной ситуации на тренажере

Table 5

Correlation analysis of oculomotor activity and psychophysiological indicators before and after simulating an emergency situation on a simulator

Показатель	Коэффициент корреляции					
	до полета			после полета		
	ПСМР	ОВ	РВ	ССМР	РДО	ОВ
Длительность фиксации	0,56**	-0,73***	-	0,43*	0,43*	-0,78***
Доля коротких фиксаций	-	-	-0,57**	-	-	-0,45*
Доля средних фиксаций	-	-	-0,46*	-	-	-0,56**
Доля длинных фиксаций	0,48*	-	-	0,55**	-	-
Длительность саккады	-	-0,74***	-0,60**	-	-	-0,83***
Амплитуда саккады	-	-0,43*	-0,52**	-	-	-0,53**
Пиковая скорость саккады	-	-0,56**	-0,57**	-	-	-0,62**
Средняя скорость саккады	-	-0,61**	-0,55**	-	-	-0,66***

Примечание. Уровень статистической значимости: * – $p \leqslant 0{,}05$; ** – $p \leqslant 0{,}01$; *** – $p \leqslant 0{,}001$. ПСМР – простая сенсомоторная реакция; ОВ – объем внимания; РВ – распределение внимания; ССМР – сложная сенсомоторная реакция; РДО – реакция на движущийся объект

Note. The level of statistical significance: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$. ПСМР – is a simple sensorimotor reaction; ОВ – is the volume of attention; РВ – is the distribution of attention; ССМР – is a complex sensorimotor reaction; РДО – is a reaction to a moving object

Результаты корреляционного анализа параметров глазодвигательной активности, свойств внимания и нервной системы после полетов на авиационном тренажере близки по своему характеру с таковыми до выполнения полетов, за исключением отсутствия статистической связи с распределением внимания и появлением дополнительных прямых связей времени ССМР и временными параметрами фиксаций.

Сонаправленность полученных связей до и после выполнения полетов на авиационном тренажере может свидетельствовать о наличии физиологических основ для описания динамики функционального состояния организма летчика по показателям глазодвигательной активности.

Анализ успешности деятельности летчика и показателей глазодвигательной активности не выявил статистически значимых связей.

Результаты корреляционного сопоставления эффективности профессиональной деятельности летчиков в условиях моделирования аварийной ситуации с показателями регуляции сердечного ритма, характеристиками внимания и состоянием нервной системы представлены в табл. 6.

Успешность профессиональной деятельности до и после полета имеет обратные статистические связи со свойствами внимания и прямые — с точностью реакций в тесте РДО, что может свидетельствовать о влияния последних на успешность деятельности. Успешность деятельности летчика во многом обеспечивается уровнем его профессиональной подготовленности, его готовностью к аварийным ситуациям в полете, что, в свою очередь, определяет динамику функционального состояния летчика до, во время и после полета.

С физиологической точки зрения аналогичные заключения можно сделать. исходя из из выявленных связей эффективности деятельности летчика и регуляции сердечного ритма. Ключевыми показателями спектрального анализа кардиоритмограммы являются ТР, ПАРС, ИЦ, повышение их значений отражает увеличение централизации регуляции ритма сердца, общего вегетативного влияния на него и напряжения регуляторных систем организма, что обеспечивает мобилизацию физиологических резервов организма в целях достижения результата. Направленность выявленных связей математического анализа кардиоритмограммы, таких как ВР, Мо, АМо и ИН, отражает статистическую зависимость успешности деятельности от симпатотонии и напряжения регуляторных систем, что соответствует данным спектрального анализа.

Обсуждение. По мнению многих авторов, скоростные параметры саккад демонстрируют мобилизацию когнитивной деятельности человека, особенно если она носит не аналитический, а поисковый характер, требующий высокой глазодвигательной активности. С другой стороны, повышение параметров скорости саккад подавляет аналитическую когнитивную деятельность и сокращает длительность фиксаций. В этом случае они отражают скорее изменение функционального состояния организма в целом под действием внешних стресс-факторов, что может реализовываться через вегетативное влияние на глазодвигательную активность [10, 13].

В настоящем исследовании отсутствие достоверных изменений характеристик фиксаций у летчиков как до, так и после выполнения полетов свидетельствует о недостаточной когнитивной нагрузке при выполнении теста «Черно-красные таблицы Шульте—Платонова». В связи с этим достоверные изменения скоростных показателей саккад и их статистическая связь с показателями внимания и ВРС обусловлены особенностями и динамикой функционального состояния организма и напряжением регуляторных механизмов у летчиков. Сказанное подтверждают практически идентичные динамика этих показателей и их корреляционные связи до и после моделирования аварийной ситуации. В послеполетный период зарегистрировано большее количество статистических связей скоростных параметров саккад с показателями ВСР, что обусловлено напряжением регуляторных механизмов у летчиков после воздействия стресс-факторов при моделировании аварийных ситуаций [19]. Недостаточно интенсивная когнитивная нагрузка аналитического плана не привела к достоверным изменениям временных характеристик устойчивости взора. Однако, по данным корреляционного анализа, зарегистрированы некоторые прямые связи этих параметров с показателем ПАРС и обратные — со свойствами внимания в послеполетный период. Снижение показателей объема, распределения и переключаемости внимания свидетельствует об улучшении

Таблица 6

Корреляционный анализ психофизиологических показателей и ВРС с успешностью деятельности при моделировании аварийной ситуации

Table 6

Correlation analysis of psychophysiological indicators and HRV with the success of activities in simulating an emergency situation

Показатель	Коэффициент корреляции	
	до полета	после полета
Доля точных реакций РДО, %	0,61**	0,60**
Доля запаздываний РДО, %	-0,55**	-
Концентрация внимания, усл. ед.	-	0,43*
Распределение внимания, балл	-0,46*	-0,44*
Переключение внимания, балл	-0,60**	-0,50*
ЧСС, уд./мин	0,52*	0,53*
Вариационный размах, с	-	-0,56**
Мода, с	-	-0,49*
Амплитуда моды, %	-	0,55**
Индекс напряжения регуляторных систем, отн. ед.	0,50*	0,56**
Общая мощность спектра, мс^2	-	-0,54**
Мощность VLF-волн, мс^2	-	-0,47*
Мощность LF-волн, мс^2	-	-0,44*
Мощность HFволн, мс^2	-	-0,45*
Коэффициент соотношения LF/HF, отн. ед.	0,52*	-
Индекс централизации, отн. ед.	0,61**	-
ПАРС, балл	0,67**	0,46*

Примечание. Уровень статистической значимости * - p⩽0,05; ** - p⩽0,01. РДО – реакция на движущийся объект; ЧСС – частота сердечных сокращений; VLF – очень низкочастотные колебания; HF – высокочастотные колебания; LF – низкочастотные колебания; ПАРС – показатель активности регуляторных систем

Note. The level of statistical significance * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$. РДО – reaction to a moving object; ЧСС – heart rate; VLF – very low frequency; HF – high frequency; LF – low frequency; ПАРС – indicator of activity of regulatory systems

этих свойств, что с физиологической точки зрения полностью соответствует увеличению продолжительности фиксаций, обеспечивающему эффективность напряженного аналитического мышления. А увеличение ПАРС отражает напряжение регуляторных механизмов человека при повышении когнитивной активности.

Корреляционный анализ успешности профессиональной деятельности летчиков в условиях моделирования аварийных ситуаций помогает раскрыть некоторые физиологические аспекты глазодвигательной активности с точки зрения диагностики функционального состояния летчика. Установленные статистические связи успешности деятельности с показателями ВСР и свойствами внимания свидетельствуют о зависимости первой от напряжения регуляторных систем организма, что обусловлено в первую очередь профессиональной подготовленностью летчика и его функциональным состоянием, а также вегетативной регуляцией физиологических систем в процессе профессиональной деятельности.

Отсутствие статистических связей глазодвигательной активности с эффективностью деятельности позволяет сделать заключение о том, что ключевым звеном, объединяющим физиологические, психофизиологические процессы, в том числе глазодвигательную активность, и успешность профессиональной деятельности, является функциональное состояние организма летчи-

ка. В основе динамики показателей глазодвигательной активности летчика лежат два взаимодополняющих аспекта: с одной стороны, это произвольная когнитивная деятельность аналитического или неаналитического характера, а с другой — непроизвольный компонент, обусловленный уровнем функционирования физиологических систем, напряжением регуляторных систем и состоянием организма.

Заключение. Статистический анализ связи между показателями айтрекинга, ВРС, уровнем функционирования ЦНС и успешностью профессиональной деятельности летчика в условиях моделирования аварийных ситуаций на авиационном тренажере позволяет сделать несколько выводов.

Скоростные показатели перемещения взора (скорость и амплитуда) имеют сильные прямые статистические связи с результатами спектрального и математического анализа кардиоритмограммы летчика; динамика этих показателей при изменении функционального состояния сонаправлена и характеризуется увеличением количества статистических связей.

Увеличение скоростных показателей может свидетельствовать о напряжении регуляторных систем организма и мобилизации его физиологических резервов, обусловленных внешними неблагоприятными факторами.

Скоростные показатели перемещения взора имеют сильные обратные статистические связи с объемом и распределением внимания; активация глазодвигательной активности сонаправлена подвижности нервных процессов и обусловлена сложностью выполняемой когнитивной задачи и мобилизацией физиологических резервов летчика.

Временные показатели фиксаций взора имеют сильные прямые статистические связи с результатами математического и спектрального анализа кардиоритмограммы, а также обратные связи с объемом и распределением внимания.

Длительность фиксаций в большей степени отражает степень активации произвольных когнитивных процессов аналитического характера и в меньшей — степень мобилизации физиологических резервов человека.

Статистических связей глазодвигательной активности с успешностью профессиональной деятельности летчика не установлено. Центральным звеном, определяющим динамику физиологических и психофизиологических процессов, напряжение глазодвигательной активности и обеспечивающим успешность профессиональной деятельности, является функциональное состояние организма летчика.

Динамика показателей ВРС, уровня функционирования ЦНС, глазодвигательной активности, а также характер статистических связей между ними и успешностью профессиональной деятельности пилота позволяют рассматривать айтрекинг как современный и информативный метод оценки функционального состояния летчика.

Сведения об авторах

Благинин Андрей Александрович – Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор медицинских наук, доктор психологических наук, профессор, профессор кафедры авиационной и космической медицины, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0002-3820-5752

Овчинников Дмитрий Валерьевич – кандидат медицинских наук, доцент, начальник отдела организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0001-8408-5301

Жильцова Ирина Игоревна – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры авиационной и космической медицины, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д.6; ORCID: 0000-0003-2684-2866

Иваков Юрий Михайлович – кандидат медицинских наук, заместитель начальника кафедры авиационной и космической медицины, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д.6; ORCID: 0009-0004-8912-9296

Анненков Олег Александрович – кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры авиационной и космической медицины, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д.6; ORCID: 0009-0009-3521-9057; e-mail: bnm.oleg@yandex.ru

Баковец Дмитрий Владимирович – врач хирург хирургического отделения клиники термических поражений и пластической хирургии, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д.6; ORCID: 0009-0001-4406-3981

Синельников Сергей Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, врач-методист учебно-методического отдела, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д.6; ORCID: 0000-0003-1097-5883

Information about the authors

Andrey A. Blaginin – Honored Scientist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Med.), Dr. Sci. (Psych.), Professor, Professor of the Department of Aviation and Space Medicine, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0002-3820-5752

Dmitry V. Ovchinnikov – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of The Department for the Organization of Scientific Work and Training of Scientific and Pedagogical Personnel, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0001-8408-5301

Irina I. Zhiltsova – Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Aviation and Space Medicine, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str., 6; ORCID 0000-0003-2684-2866

Yuri M. Ivakov – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Head of the Department of Aviation and Space Medicine, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str. 6; ORCID: 0009-0004-8912-9296

Oleg A. Annenkov – Cand. of Sci. (Med.), Senior Lecturer at the Department of Aviation and Space Medicine, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0009-0009-3521-9057; e-mail: bnm.oleg@yandex.ru

Dmitry V. Bakovets – Surgeon, Surgical Department, Clinic of Thermal Injuries and Plastic Surgery, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str. 6; ORCID: 0009-0001-4406-3981

Sergey N. Sinelnikov – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Medical methodologist of the educational and methodological department, Military Medical Academy; 194044, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0003-1097-5883

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – Д. В. Овчинников и А. А. Благинин, сбор данных – О. А. Анненков и Д. В. Баковец, статистическая обработка полученного материала – С. Н. Синельников и О. А. Анненков, подготовка рукописи – Ю. М. Иваков и И. И. Жильцова

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: DVO, AAB, contribution to the concept and plan of the study. OAA, DVB contribution to data collection. SNS, OAA contribution to data analysis and conclusions. YuMI, IIZh contribution to the preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.
Funding: the study was carried out without additional funding

Поступила/Received: *14.01.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Пономаренко В. А., Алексеенко М. С., Долгов А. А. Психофизиологические компоненты профессиональной надежности пилота // *Проблемы безопасности полетов*. 2018. № 6. С. 3–18 [Ponomarenko V. A., Alekseenko M. S., Dolgov A. A. Psychophysiological components of professional reliability of pilot. *Flight Safety*, 2018, No. 6, pp. 3–18 (In Russ.)].
2. Жданько И. М., Исаенков В. Е., Ворона А. А., Филатов В. Н., Никифоров Д. А. Профессиональная надежность военного летчика: медицинские и социально-психологические аспекты // *Военно-медицинский журнал*. 2016. Т. 337, № 6. С. 30–36 [Zhdanko I. M., Isaenkov V. E., Vorona A. A., Filatov V. N., Nikiforov D. A. Professional reliability of military pilots: medical and social-psychological aspects. *Military Medical Journal*, 2016, Vol. 337, No.6, pp. 30–36 (In Russ.)].
3. Благинин А. А., Анненков О. А., Трофименко С. В. Особенности деятельности авиационных врачей по медицинскому обеспечению безопасности полетов // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2019. № 4(68). С. 146–148 [Blaginin A. A., Annenkov O. A., Trofimenko S. V. Features of the practice of aviation doctors in medical provision of flights safety. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2019, No. 4(68), pp. 146–148 (In Russ.)].
4. Благинин А. А., Лапшина Т. А., Емельянов Ю. А., Баковец Д. В., Дудина Е. А. Переносимость умеренных степеней гипоксии военнослужащими женского пола в разные фазы овариально-менструального цикла // *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2024. № 2. С. 64–67 [Blaginin A. A., Lapshina T. A., Emelyanov Yu. A., Bacovets D. V., Dudina E. A. Moderate hypoxia tolerance by military females in different phases of their ovarian-menstrual cycle. *Kremlin Medicine Journal*, 2024, No. 2, pp. 64–67 (In Russ.)]. doi: 10.48612/cgma/4b2h-5829-gr7x.
5. Лапшина Т. А., Благинин А. А., Емельянов Ю. А., Баковец Д. В. Оценка статической мышечной выносливости нижних конечностей у военнослужащих женского пола // *Профессиональное здоровье военнослужащих: материалы Всеармейской научно-практической конференции (к 100-летию со дня рождения профессора И. Д. Кудрина) (Санкт-Петербург, 01 июня 2023 года)*, Санкт-Петербург, 2023. С. 183–186 [Lapshina T. A., Blaginin A. A., Emelyanov Yu. A., Bacovets D. V. Assessment of static muscular endurance of the lower extremities in female military personnel. *Professional health of military personnel: materials of the All-Army scientific and practical conference (on the 100th anniversary of the birth of Professor I.D. Kudrin) (St. Petersburg, June 1, 2023)*, St. Petersburg, 2023, pp. 183–186 (In Russ.)].

6. Жильцова И. И., Альжев Н. В., Анненков О. А., Лапшина Т. А. Влияние психоэмоционального напряжения на постуральную устойчивость по показателям спектра статокинезиограммы и вариабельности сердечного ритма // *Военно-медицинский журнал*. 2018. Т. 339, № 6. С. 61–69 [Zhiltsova I. I., Alzhev N. V., Annenkov O. A., Lapshina T. A. Influence of psychoemotional stress on postural stability on the parameters of the statokinesiogram spectrum and heart rate variability. *Military Medical Journal*, 2018, Vol. 339, No. 6, pp. 61–69 (In Russ.)].
7. Анненков О. А., Овчинников Д. В., Иваков Ю. М., Синельников С. Н., Баковец Д. В. Оценка адаптационных возможностей летчиков в периоды подготовки и выполнения полетов: ретроспективное исследование // *Морская медицина*. 2025. Т. 11, № 2. С. 135–143 [Annenkov O. A., Ovchinnikov D. V., Ivakov Yu. M., Sinelnikov S. N., Bakovets D. V. Assessment of adaptive capabilities of pilots during flight training and performance: a retrospective study. *Marine Medicine,* 2025, Vol. 11, No. 2, pp. 135–143 (In Russ.)]. doi: 10.22328/2413-5747-2025-11-2-135-143.
8. Благинин А. А., Ву К. Х., Анненков О. А. Психофизиологическая подготовка летчиков к деятельности в условиях аварийной разгерметизации кабины самолета // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2025. Т. 27, № 3. С. 367–374 [Blaginin A. A., Vu K. Kh., Annenkov O. A. Psychophysiological training of pilots for cases of emergency cockpit decompression. *Extreme medicine*, 2025, Vol. 27, No. 3, pp. 367–374 (In Russ.)]. doi: 10.47183/mes.2025-271.
9. Баевский Р. М., Берсенев Е. Ю., Орлов О. И., Ушаков И. Б., Черникова А. Г. Проблема оценки адаптационных возможностей человека в авиакосмической физиологии // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. 2012. Т. 98, № 1. С. 95–107 [Baevsky R. M., Bersenev E. Yu., Orlov O. I., Ushakov I. B., Chernikova A. G. The problem of estimation of the organism adaptable opportunities under stressful influences. *Russian Journal of Physiology,* 2012, Vol. 98, No. 1, pp. 95–107 (In Russ.)].
10. Талеева А. И., Звягина Н. В. Окуломоторная активность при решении зрительных когнитивных задач в различных временных условиях // *Сенсорные системы*. 2021. Т. 35, № 3. С. 217–227 [Taleeva A. I., Zvyagina N. V. Oculomotor activity in solving visual cognitive tasks under different time conditions. *Sensory Systems*, 2021, Vol. 35, No. 3, pp. 217–227 (In Russ.)]. doi: 10.31857/S0235009221030045.
11. Меркулова А. Г., Калинина С. А. Распределение зрительного внимания при подготовке пилотов-курсантов к лётной деятельности // *Гигиена и санитария*. 2017. Т. 96(8), С. 752–755 [Merkulova A. G., Kalinina S. A. The distribution of the visual attention in the training of student-pilots for the flight activity. *Hygiene and Sanitation*, 2017, Vol. 96, No. 8, pp. 752–755 (In Russ.)]. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-8-752-755.
12. Candelieri A., Riganello F., Cortese D., Sannita W. G. Functional status and the eye-tracking response: A datamining classification study in the vegetative and minimaly conscious states. *Proceedings of the International Conference on Health Informatics, Rome, Italy, 26–29 January*, 2011, P. 138.
13. Fox S. E., Faulkner-Jones B. E. Eye-Tracking in the Study of Visual Expertise: Methodology and Approaches in Medicine. *Frontline Learning Research*, 2017, Vol. 5, No. 3, pp. 29–40. doi: 10.14786/flr.v5i3.258.
14. Барабанщиков В. А., Жегало А. В. *Айтрекинг: методы регистрации движения глаз в психологических исследованиях и практике*. М.: Когито-Центр; 2014. 128 с. [Barabanshchikov V. A., Zhegalo A. V. *Eye-tracking: methods of eye movement registration in psychological research and practice*. Moscow: Kogito Center; 2014, 128 p. (In Russ.)].
15. Жильцова И. И., Альжев Н. В. Опыт применения компьютерной стабилографии для предполетного и послеполетного контроля функционального состояния организма летчиков // *Военно-медицинский журнал*. 2020. Т. 341, № 12. С. 47–54 [Zhiltsova I. I., Alzhev N. V. Experience of using computer posturography for pre-flight and post-flight control of the functional state of the body of pilots. *Military Medical Journal*, 2020, Vol. 341, No. 12, pp. 47–54 (In Russ.)].
16. Шелепин Е. Ю., Скуратова К. А., Лехницкая П. А., Шелепин К. Ю. Айтрекинг как инструмент медицинской диагностики // *Российский психологический журнал*. 2024. Т. 21, № 4. С. 168–194 [Shelepin E. Yu., Skuratova K. A., Lekhnitskaya P. A., Shelepin K. Yu. Eye tracking as a tool for medical diagnosis. *Russian Psychological Journal,* 2024, Vol. 21, No. 4, pp. 168–194 (In Russ.)]. doi: 10.21702/2yd85727.
17. Крюков Е. В., Ивченко Е. В., Благинин А. А., Овчинников Д. В., Анненков О. А. Перспективы повышения безопасности полетов и профессиональной надежности вьетнамских летчиков, эксплуатирующих самолеты российского производства // *Военно-медицинский журнал*. 2025. Т. 346, № 1. С. 56–63 [Kryukov E. V., Ivchenko E. V., Blaginin A. A., Ovchinnikov D. V., Annenkov O. A. Prospects for improving flight safety and professional reliability of vietnamese pilots operating russian-made aircraft. *Military Medical Journal,* 2025, Vol. 346, No. 1, pp. 56–63 (In Russ.)]. doi: 10.52424/00269050_2024_346_1_56.
18. Баевский Р. М., Черникова А. Т. Проблема физиологической нормы: математическая модель функциональных состояний на основе анализа вариабельности сердечного ритма // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2002. Т. 36, № 6. С. 11–17 [Baevsky R. M., Chernikova A. T. The problem of physiological norm: a mathematical model of functional states based on the analysis of heart rate variability. *Aerospace and environmental medicine,* 2002, T. 36, No. 6, pp. 11–17 (In Russ.)].
19. Михайлов В. М. *Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения*. Иваново: Нейрософт; 2000. 200 с. [Mikhailov V. M. *Heart rate variability. Practical application experience*. Ivanovo: Neurosoft; 2000, 200 p. (In Russ.)].

УДК: 159.91

ЭФФЕКТИВНОСТЬ VR-ТРЕНАЖЕРА С БИЛАТЕРАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОСЛЕДСТВИЙ БОЕВОГО СТРЕССА КОМБАТАНТАМИ: ПИЛОТНОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

[1]В. В. Юсупов, [2]В. М. Серко, [3]Н. А. Бланкет, [1]Ю. Л. Старенченко, [2]И. Ю. Капитонов*
[1]П. П. Сиващенко

[1]Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия
[2]Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного вооружения, Москва, Россия
[3]Этерно, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ. В статье представлены материалы экспериментального исследования военнослужащих-комбатантов (операторов БпЛА) с использованием программно-аппаратного комплекса «ПАК Этерно™» (ПАК). Проводилась апробация ПАК VR-гарнитуры с алгоритмизированным методом билатеральной стимуляции (БЛС) для самостоятельной переработки симптомов постстрессовых расстройств комбатантами в полевых условиях.
ЦЕЛЬ. Оценить эффективность, безопасность и практическую применимость виртуальной технологии «ПАК Этерно™» с методом БЛС для самостоятельной переработки симптомов острой стрессовой реакции военнослужащими в условиях боевых действий.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В соответствии со стандартами по проведению медико-психологической реабилитации военнослужащих использовали методики оценки физиологических показателей и психического состояния операторов БпЛА. Также оценивали функциональное состояние и результативность профессиональной деятельности (самооценка и оценка командиром расчета/подразделения). Однократная терапевтическая сессия в самостоятельном режиме с использованием ПАК в среднем продолжалась 25 мин, в дальнейшем проводился повторный скрининг.
РЕЗУЛЬТАТЫ. Полученные результаты показали значимый психотерапевтический эффект и приемлемый профиль безопасности при самостоятельном применении в условиях боевой обстановки: 38 % (n = 80) — улучшение функционального состояния по психофизиологическим показателям после однократной сессии; 51 % (n = 80) — снижение количества жалоб по шкале анкеты самооценки состояния (ACC-2) после сессии; 32 % участников (n = 26) перешли с уровней «неудовлетворительное» и «удовлетворительное» до уровня «хорошее» субъективное самочувствие.
ОБСУЖДЕНИЕ. Были подтверждены механизмы (патофизиологический и нейробиологический) действия ПАК, клинически доказавшего десенсибилизацию травматических воспоминаний, и иммерсивной VR-среды, обеспечивающей концентрацию внимания и устранение внешних отвлекающих факторов при сохранении полной конфиденциальности.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты указывают на снижение уровня выраженности последствий боевого стресса у военнослужащих и нормализацию субъективного самочувствия даже при однократном применении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, посттравматическое стрессовое расстройство, боевой стресс, оператор БпЛА, острая реакция на стресс, билатеральная стимуляция, модель адаптивной переработки информации, виртуальная реальность, медико-психологическая реабилитация, VR-терапия, десенсибилизация и переработка движениями глаз

***Для корреспонденции:** *Юсупов Владислав Викторович, e-mail: vmeda_37@mil.ru*
***For correspondence:** *Vladislav V. Yusupov, e-mail: vmeda_37@mil.ru*

Для цитирования: Юсупов В. В., Серко В. М., Бланкет Н. А., Старенченко Ю. Л., Капитонов И. Ю., Сиващенко П. П. Оценка эффективности применения VR-тренажера с использованием билатеральной стимуляции для самостоятельной переработки боевого стресса у комбатантов: пилотное контролируемое исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 115–124, EDN: https://elibrary.ru/AYMEEW

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

For citation: Yusupov V. V., Serko V. M., Blanket N. A., Starenchenko Yu. L., Kapitonov I. Yu., Sivaschenko P. P. Effectiveness of a VR simulator with bilateral stimulation for self-processing of combat stress consequences in combatants: pilot controlled study // Marine Medicine. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 115–124, EDN: https://elibrary.ru/AYMEEW

EFFECTIVENESS OF A VR SIMULATOR WITH BILATERAL STIMULATION FOR SELF-PROCESSING OF COMBAT STRESS CONSEQUENCES IN COMBATANTS: PILOT CONTROLLED STUDY

[1]Vladislav V. Yusupov, [2]Vladislav M. Serko, [3]Nadezhda A. Blanket, [1]Yuri L. Starenchenko, [2]Igor Yu. Kapitonov, [1]Pavel P. Sivashchenko*

[1]Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

[2]Main Research Test Inter-service Center for Advanced Armament of the Chief Directorate for Research and Development of Advanced Armament, Moscow, Russia

[3]Eterno LLC, Moscow, Russia

INTRODUCTION. This article presents the results of an experimental study of combatant military personnel (UAV operators) using the PAK Eterno™ hardware and software system (PAK). PAK was tested using a VR headset with an algorithmic bilateral stimulation (BLS) method for self-management of post-traumatic stress disorder symptoms by combatants in the field.

OBJECTIVE. To evaluate the effectiveness, safety, and practical applicability of the virtual technology "PAK Eterno™" with the BLS method for self-treatment of symptoms of acute stress reaction by military personnel in combat conditions.

MATERIALS AND METHODS. In accordance with standards for medical and psychological rehabilitation of military personnel, methods were used to assess the physiological parameters and mental state of UAV operators. Their functional status and professional performance were also assessed (self-assessment and assessment by the crew/unit commander). A single independent therapy session using the PAK lasted an average of 25 minutes, followed by repeated screening.

RESULTS. The obtained results demonstrated a significant psychotherapeutic effect and an acceptable safety profile for independent use in combat conditions: 38% (n = 80) — improvement in functional state according to psychophysiological indicators after a single session; 51% (n = 80) — reduction in the number of complaints according to the self-assessment questionnaire scale (ACC-2) after the session; 32% of participants (n = 26) moved from the levels of "unsatisfactory" and "satisfactory" to the level of "good" subjective well-being.

DISCUSSION. The mechanisms (pathophysiological and neurobiological) of PAK action, which has clinically proven desensitization of traumatic memories, and the immersive VR environment, which ensures concentration of attention and elimination of external distractions while maintaining complete confidentiality, were confirmed.

CONCLUSION. The results indicate a reduction in the severity of the effects of combat stress in military personnel and normalization of subjective well-being even with a single use.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, post-traumatic stress disorder, combat stress, UAV operator, acute stress response, bilateral stimulation, adaptive information processing model, virtual reality, medical and psychological rehabilitation, VR therapy, eye movement desensitization and reprocessing

Введение. В условиях современных вооруженных конфликтов психика военнослужащих подвергается исключительно высоким нагрузкам, приводящим к накоплению негативных психоэмоциональных состояний, невротизации и формированию предпосылок постстрессовых расстройств. По данным ВОЗ, распространенность посттравматического стрессового расстройства (ПТСР) среди ветеранов боевых действий составляет от 10 до 30 %, существенно превышая популяционный уровень [1, 2]. Данные Минздрава России и ряда отечественных эпидемиологических исследований фиксируют сопоставимые показатели среди участников вооруженных конфликтов на постсоветском пространстве [3]. Экономический и социальный ущерб от ПТСР включает снижение боеспособности, рост инвалидизации и суицидального риска, долгосрочные затраты на медико-психологическую реабилитацию [4–6].

По результатам анализа литературы установлены ограничительные принципы существующей системы оказания психологической помощи военнослужащим: физическая недоступность, стигматизация, кумулятивный эффект травмы. Штатные психологи не могут присутствовать повсеместно, особенно в районах непосредственного соприкосновения с противником [7, 8]. Обращение к психологу воспринимается как признак слабости и приводит

к стигматизации симптомов, формируя барьер добровольного отказа от помощи. Исследования подтверждают, что стигматизация является одним из ключевых препятствий для обращения за психологической помощью в военной среде [9, 10]. В результате кумулятивного эффекта травмы и отсутствия своевременной психопрофилактики накапливаются негативные переживания, что приводит к закреплению признаков стрессовых расстройств [11].

Согласно клиническим руководствам ВОЗ, метод десенсибилизации и переработки движениями глаз, лежащий в основе билатеральной стимуляции, является методом первой помощи при ПТСР. Доказательная база десенсибилизации и переработки движениями глаз (ДПДГ) включает оригинальные работы F. Shapiro [12, 13], систематические обзоры Cochrane [14] и положения международных клинических руководств [15].

Нейробиологические механизмы билатеральной стимуляции (БЛС) связаны с активацией рабочей (оперативной) памяти и теорией двойного внимания: БЛС снижает яркость и эмоциональную насыщенность травматических воспоминаний за счет конкуренции за ресурсы рабочей памяти [16–19]. Виртуальная реальность обеспечивает повышение концентрации внимания, а также снижает стигматизацию обращения за психологической помощью, избегая ассоциации комбатанта с ролью пациента, обеспечивая полную конфиденциальность сессии [20–22].

Результативность применения VR-технологии при ПТСР подтверждена рядом исследований [17–20]. Вместе с тем в литературе практически отсутствуют данные о самостоятельном (без участия специалиста) применении комбинированного VR + БЛС-протокола непосредственно в зоне боевых действий — это определяет научную новизну проведенного исследования.

Цель. Оценить эффективность, безопасность и практическую применимость виртуальной технологии ПАК с методом БЛС для самостоятельной переработки симптомов острой стрессовой реакции военнослужащими в условиях боевых действий.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие военнослужащие-комбатанты (n = 80), находящиеся непосредственно в зоне боевых действий. Критерии включения в выборку исследования: действующие операторы БпЛА, имеющие опыт участия в боевых действиях; подписанное информированное добровольное согласие на участие в исследовании в условиях анонимности; отсутствие противопоказаний (эпилепсия, психиатрические диагнозы, недавняя черепно-мозговая травма).

Объем выборки обоснован расчетом статистической мощности (power analysis): при ожидаемом размере эффекта (Cohen's d ⩾ 0,5), уровне значимости (α = 0,05) и мощности ($1-\beta$ = 0,80) минимально необходимый объем составляет n = 34, что соответствует фактическому объему выборки исследования.

Проведено пилотное контролируемое исследование с предварительным и повторным измерением психологических и физиологических показателей.

Для экспресс-оценки функционального состояния организма военнослужащих в динамике использовали [23–25]:

- показатели систолического, диастолического артериального давления и частоты сердечных сокращений (ЧСС);

- индекс функциональных изменений системы кровообращения — адаптационный потенциал (АП) (по Р. М. Баевскому, 1979), позволяющий дать предварительную количественную оценку уровня соматического здоровья военнослужащих [26];

- оценка резервных возможностей сердечно-сосудистой системы военнослужащих с помощью нагрузочных проб с задержкой дыхания (пробы Штанге и Генчи);

- силовая выносливость по показателям ручной динамометрии;

- вегетативный гомеостаз военнослужащих по индексу Кердо (соотношение возбудимости симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы).

Для оценки психического состояния военнослужащих в динамике (в период до и после самостоятельного применения VR-шлема) использовали следующие методики [24, 27]:

- анкета самооценки состояния (АСС-2) — направлена на определение уровня субъективного самочувствия и наличия соматических жалоб у военнослужащего;

- субъективная шкала астении (MFI-20) — помогает выявить наличие и выраженность различных аспектов астении;

- шкала скрининга ПТСР (Т50 – Trauma Screening Questionnaire, 2002);

- шкала индекса выраженности бессонницы (ISI);
- шкала депрессии (Бек – BDI).

В качестве психотерапевтической интервенции был использован программно-аппаратный комплекс ETERNO™ (ПАК) (ООО «Этерно». Свидетельство о государственной регистрации ПО № 2026616678), который представляет собой VR-гарнитуру со специализированным программным обеспечением, реализующим алгоритм психологического тренинга саморегуляции и переработки травматических событий. Комплекс разработан с учетом требований полевого применения: автономная работа, эргономичный интерфейс, не требующий специальной подготовки пользователя.

Схематично протокол интервенции представлен на рис. 1.

Протокол сеанса переработки травмирующих переживаний включал следующие этапы:

1. Психологический и физиологический скрининги в автоматизированном режиме;
2. Определение травмирующего события;
3. Сеанс переработки с комбинированной БЛС (движения глаз – визуальная активность, вибрация контроллеров – тактильные ощущения, направленный бинауральный звук – аудионагрузка);
4. Замещение негативных убеждений на адаптивные позитивные когниции;
5. Повторная диагностика.

Психодиагностические инструменты исследования представлены в табл. 1.

Статистическую обработку данных проводили с использованием парного t-критерия Стьюдента для связанных выборок. Нормальность распределения проверяли критерием Шапиро–Уилка. Уровень значимости принят $p \leqslant 0{,}05$ [23]. Объем выборки обоснован расчетом статистической мощности.

Результаты. Для оценки эффективности положительного психотерапевтического эффекта проводили повторную оценку психического и функционального состояния экспериментальной группы. Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 2.

По результатам сравнительного анализа установлены достоверные различия между показателями до и после сессии по ключевым параметрам: субъективное самочувствие (по ACC-2) улучшилось на 38 % ($p < 0{,}001$), количество жалоб снизилось на 51 % ($p < 0{,}001$).

Значимым является переход 32 % ($n = 26$) участников с уровней «неудовлетворительное» и «удовлетворительное» на уровень «хорошее» субъективное самочувствие при средней продолжительности сессии 25 мин, что клинически значимо для повышения боеспособности личного состава в сложных условиях деятельности.

Динамика психологических показателей группы обследованных до и после однократного сеанса самокоррекции демонстрирует статистически значимое улучшение практически по всем изучаемым шкалам. Размер эффекта для показателя «Субъективное самочувствие» составил d = 0,91, что соответствует большому эффекту; для показателя «Количество жалоб» — d = 0,74 (выраженный эффект); для ЧСС в покое — d = 0,68 (средний эффект). Полученные значения подтверждают не только статистическую, но и практическую значимость самокоррекции с помощью VR-технологии.

Общая характеристика функционального и психического состояния обследуемых групп представлена в табл. 3.

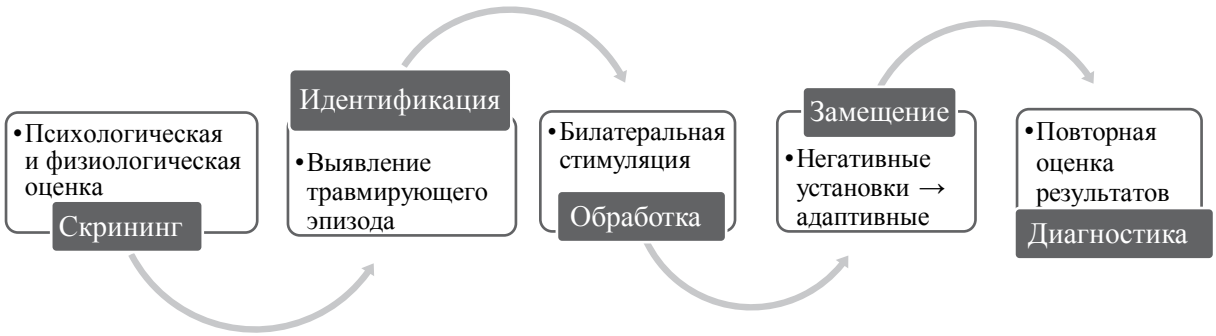


Рис. 1. Протокол психотерапевтической интервенции
Fig. 1. Therapeutic intervention protocol

Таблица 1

Психодиагностические инструменты исследования с указанием измеряемых показателей

Table 1

Psychodiagnostic Research Tools with Indication of Measured Indicators

Аббревиатура	Название методики	Измеряемые показатели
BDI-II	Шкала депрессии Бека (Beck Depression Inventory-II) [17]	Депрессия
T50	Скрининг ПТСР (Trauma Screening Questionnaire) [18]	ПТСР-симптоматика
ACC-2	Анкета самооценки состояния [19]	Субъективное самочувствие
SUD	Шкала субъективной оценки состояния (Subjective Units of Distress) [10]	Дистресс в ходе сеанса
MFI-20	Многомерный опросник астении (Multidimensional Fatigue Inventory) [20]	Астения
ISI	Индекс выраженности инсомнии (Insomnia Severity Index) [21]	Нарушения сна

Таблица 2

Эффективность применения VR-гарнитуры для самокоррекции психических нарушений у военнослужащих (динамика показателей до/после однократного сеанса, $M \pm SD$, парный t-критерий Стьюдента) ($X \pm mx$)

Table 2

Evaluating the Effectiveness of VR Headset Intervention for Self-Correction of Mental Health Issues in Servicemembers (Pre/Post-Single Session Data Dynamics, $M \pm SD$, Paired Student's t-test) (X±mx)

Показатель	До сессии (n = 80)	После сессии (n = 80)	t-критерий	P ⩽
Субъективное самочувствие (стэны)	5,09±0,26	7,04±0,3	−7,95	0,001
Количество жалоб (баллы)	2,59±0,32	1,28±0,21	5,15	0,001

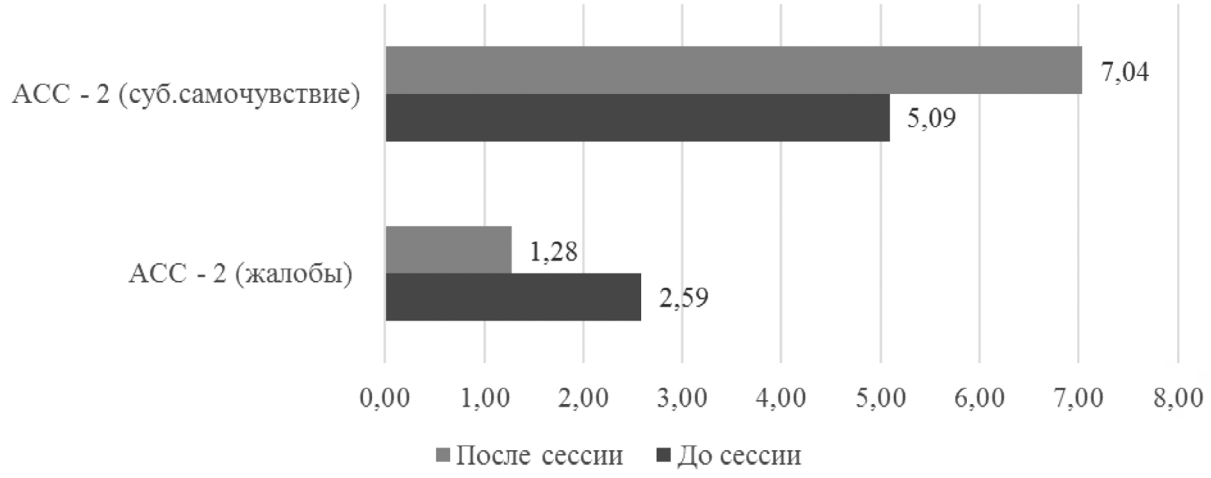


Рис. 2. Сравнительные результаты показателей самочувствия военнослужащих до и после сеанса самокоррекции

Fig. 2. Comparison of servicemen's well-being metrics: pre- and post-self-correction session

Таблица 3

Физиологические, психологические и антропометрические показатели военнослужащих выборки исследования

Table 3

Physiological, psychological and anthropometric indicators of military personnel of the study sample

Показатель	X ± mx
Возраст (годы)	31,7 ± 1,4
Рост (см)	177,5 ± 0,9
Масса тела (кг)	97,3 ± 15,5
АД систолическое (мм рт. ст.)	129,7 ± 1,9
АД диастолическое (мм рт. ст.)	78,7 ± 1,3
ЧСС в покое (уд/мин)	75,8 ± 1,5
Проба Штанге (сек)	59,9 ± 2,7
ЧСС после пробы Штанге (уд/мин)	88,8 ± 2,2
ЧСС после пробы Штанге через 1 мин (уд/мин)	78,3 ± 1,6
Проба Генчи (сек)	29,2 ± 1,5
ЧСС после пробы Генчи (уд/мин)	85,3 ± 2,1
ЧСС после пробы Генчи через 1 мин (уд/мин)	78,14 ± 2,3
Индекс Баевского (ед.)	3,0 ± 0,15
Динамометрия правой кисти (кг)	46,7 ± 1,5
Динамометрия левой кисти (кг)	44,7 ± 1,47
Индекс выраженности инсомнии ISI (баллы)	7,42 ± 0,8
MFI-20 (баллы)	41,8 ± 2,3
Скрининг ПТСР Т50 (баллы)	1,59 ± 0,21
Шкала депрессии BDI (баллы)	7,81 ± 0,8
Субъективное самочувствие (стэны)	5,09 ± 0,26
Количество жалоб (баллы)	2,59 ± 0,32

По результатам анализа показателей, представленных в табл. 3, среднегрупповые значения в основном укладываются в «коридоры» баллов, относящиеся к первой и второй группам здоровья (военнослужащие с компенсированным и субкомпенсированным состоянием здоровья).

После сеанса, на заключительном этапе исследования, проводили контрольное измерение АД и пульса. Были установлены статистически значимые различия только по AD_{max} (табл. 4).

Проведенная апробация ПАК на базе VR-гарнитуры с методикой ДПДГ и БЛС подтвердила результативность и высокий потенциал данного подхода для решения задач психосамокоррекции, снижения выраженности симптомов боевого стресса (тревожность, навязчивые воспоминания) в полевых условиях.

Клинически доказанная эффективность метода ДПДГ в работе с травматическими воспоминаниями также нашла свое подтверждение в рамках данного технологического решения.

Обсуждение. Следует отметить, что полученные результаты согласуются с данными зарубежных исследований VR-терапии при ПТСР [14–16]. В серии работ по системе Bravemind было продемонстрировано значимое снижение симптоматики ПТСР у ветеранов военных конфликтов при VR-экспозиционной терапии под руководством специалиста. Было показано превосходство VR-экспозиции над стандартной терапией по скорости редукции симптомов, подтверждена применимость VR-протоколов в различных клинических группах. Принципиальное отличие представленной технологии — самостоятельное ее применение без участия специ-

Таблица 4

Статистически значимая положительная динамика физиологических показателей у военнослужащих ($n = 36$)

Table 4

Statistically significant positive dynamics of physiological parameters in military personnel ($n = 36$)

Показатель	Величина показателя		*t*-критерий Стьюдента в связанных выборках	$p \leqslant$
	до релаксации	после релаксации		
АД систолическое	129,7 ± 1,84	125,7 ± 2,3	2,51	0,01
АД диастолическое	78,6 ± 1,27	79,22 ± 1,74	-0,63	0,53
Пульс в покое	75,8 ± 1,5	70,3 ± 1,7	3,88	0,001

алиста непосредственно в зоне боевых действий, что ранее не изучалось систематически. По сравнению с классическим EMDR, проводимым специалистом, самостоятельное применение ПАК обеспечивает, по предварительным оценкам, около 60–70 % терапевтического эффекта при полном устранении барьеров доступности и стигматизации. В сравнении с другими цифровыми инструментами психопрофилактики для военных специалистов (мобильные приложения, биофидбэк-устройства) ПАК выгодно отличается интеграцией доказательного метода EMDR и иммерсивной VR-среды [28].

Таким образом, в ходе исследования были подтверждены механизмы (патофизиологический и нейробиологический) действия ПАК, которое определяется синергией алгоритмизированного метода БЛС, клинически доказавшего десенсибилизацию травматических воспоминаний, и иммерсивной VR-среды, обеспечивающей концентрацию внимания и устранение внешних отвлекающих факторов при сохранении полной конфиденциальности.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение рандомизированного контролируемого исследования (РКИ) с большой выборкой ($n \geqslant 350$), включением группы активного сравнения (стандартная психологическая помощь) и оценкой отдаленных эффектов (1, 3, 6 мес).

Перспективным также является масштабирование применения ПАК на другие группы высокого риска: сотрудников силовых структур, спасателей МЧС, а также мирного населения в зонах вооруженных конфликтов.

Заключение. Проведенная апробация подтверждает принципиальную реализуемость, эффективность и безопасность применения VR-технологии ПАК с интеграцией метода БЛС в условиях боевой обстановки. На репрезентативной выборке операторов БпЛА (участников боевых действий) установлен статистически значимый психотерапевтический эффект, выражающийся в улучшении субъективного самочувствия и положительной динамике по шкалам оценки состояния.

Важным результатом является устранение барьеров технологического принятия: интерфейс VR-гарнитуры не вызывает затруднений при самостоятельном применении, негативных эмоциональных реакций и соматических жалоб также не зафиксировано.

ПАК может быть рекомендован к внедрению в систему медико-психологического сопровождения военных специалистов в качестве мобильного, эргономичного и клинически обоснованного инструмента экстренной психологической самопомощи при острых стрессовых реакциях в полевых условиях. Для окончательного подтверждения клинической эффективности данной технологии необходимо проведение рандомизированных контролируемых исследований с большей выборкой и оценкой отдаленных эффектов (не менее 6 мес наблюдения).

Сведения об авторах:

Юсупов Владислав Викторович – доктор медицинских наук, профессор; начальник научно-исследовательского отдела (медико-психологического сопровождения) Научно-исследовательского центра, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0002-5236-8419; Scopus Author ID: 57177317400; SPIN: 9042-3320; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Серко Владислав Михайлович – начальник лаборатории (методов сопровождения операторов) — заместитель начальника испытательного отдела (медицинских технологий), Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного вооружения; Россия, 125040, Москва, муниципальный округ Беговой, ул. Скаковая, д. 16, стр. 1

Бланкет Надежда Алексеевна – руководитель, ООО «Этерно»; Россия, 125047, Москва, пер. Оружейный, д. 13, стр. 2

Старенченко Юрий Леонидович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (медико-психологического сопровождения) Научно-исследовательского центра, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; SPIN: 6068-7300; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Капитонов Игорь Юрьевич – ведущий психолог, ООО «Этерно»; Россия, 125047, Москва, пер. Оружейный, д. 13, стр. 2

Сиващенко Павел Павлович – кандидат медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0001-6286-6967; SPIN: 2596-7898; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Information of the authors

Vladislav V. Yusupov – Dr. of Sci. (Med.), Professor; Head of the Research Department (Medical and Psychological Support) of the Research Center, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0002-5236-8419; Scopus Author ID: 57177317400; SPIN: 9042-3320; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Vladislav M. Serko – Head of the Laboratory (Operator Support Methods) – Deputy Head of the Testing Department (Medical Technologies), Main Research Test Inter-service Center for Advanced Armament of the Chief Directorate for Research and Development of Advanced Armament; Russia, 125040, Moscow, Begovoy municipal district, Skakovaya Str., 16, bldg 1

Nadezhda A. Blanket – Director, Eterno LLC, Moscow, Russia; Russia, 125047, Moscow, Oruzheyny Lane, 13, Bldg 2

Yuri L. Starenchenko – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Research Department (Medical and Psychological Support), Research Center, Military Medical Academy named after S. M. Kirov; 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; SPIN: 6068-7300; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Igor Yu. Kapitonov – Leading Psychologist, Eterno LLC, Moscow, Russia; Russia, 125047, Moscow, Oruzheyny Lane, 13, Building 2

Pavel P. Sivashchenko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Senior Researcher, Military Medical Academy; 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0001-6286-6967; SPIN: 2596-7898; e-mail: vmeda_37@mil.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: В. В. Юсупов — разработка общей концепции и дизайна исследований; Ю. Л. Старенченко — методология исследования, обзор литературы, заключение; Н. А. Бланкет — интерпретация результатов, создание базы данных: В. М. Серко — анализ данных, статистическая обработка данных; И. Ю. Капитонов, П. П. Сиващенко — введение, анализ данных, материалы и методы.

Contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: VVYu — development of the general concept and design of the research; YuLS — research methodology, literature review, conclusion; NAB – interpretation of results, database creation; VMS – data analysis, statistical processing of data; IYuK, PPS – introduction, data analysis, materials and methods.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Funding. The authors declare no obvious or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Финансирование: Исследование выполнено в соответствии с планом научной работы № 23/52/9 от 18.10.2023 г. По распоряжению УПМИ № 249/3/8/1562нс от 22.12.2025 г. На основании указаний 16/2523/КП от 21.01.2026 г., 16/3201/КП от 26.01.2026 г.

Funding. The research was conducted in accordance with the scientific work plan No. 23/52/9 dated 18.10.2023. As per the order of UPMI No. 249/3/8/1562ns dated 22.12.2025. Based on the instructions 16/2523/KP dated 21.01.2026 and 16/3201/KP dated 26.01.2026.

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке НИО МПС ВМедА имени С. М. Кирова и ФГКУ ГНИИМЦ.

Acknowledgements: This study was made possible by the support of the Research Institute of Military Medicine of the Military Medical Academy named after S. M. Kirov and the Federal State Institution Scientific Research Institute of Military Medicine

Поступила/Received: *18.03.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Зун С. А., Нечипоренко В. В., Лыткин В. М., Баразенко К. В., Ятманов А. Н. Математическая модель прогноза группы психического здоровья курсантов военного вуза // *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2020. Т. 39, № S3–S4. С. 108–111 [Zun S. A., Nechiporenko V. V., Lytkin V. M., Barazenko K. V., Yatmanov A. N. Mathematical model for predicting the mental health group of cadets of a military university. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2020, Vol. 39, No. S3–S4, pp. 108–111 (In Russ.)].
2. Kessler R. C., Aguilar-Gaxiola S., Alonso J., et al. Trauma and PTSD in the WHO World Mental Health Surveys. *Eur J Psychotraumatol*, 2017, No. 8 (suppl. 5), pp. 353–383. doi:10.1080/20008198.2017.1353383.
3. Тарабрина Н. В. *Психология посттравматического стресса: теория и практика*. М.: Институт психологии РАН; 2009. 304 с. [Tarabrina N. V. *Psychology of post-traumatic stress: theory and practice*. Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences; 2009, 304 p. (in Russ)].

4. Tanielian T., Jaycox L. H., et al. *Invisible Wounds of War: Psychological and Cognitive Injuries, Their Consequences, and Services to Assist Recovery*. Santa Monica, CA: RAND Corporation; 2008.
5. Юсупов В. В., Корзунин В. А., Демкин А. Д., Овчинников Б. В. Ближайшие перспективы решения проблем медико-психологического сопровождения военнослужащих // *Известия Российской военно-медицинской академии.* 2022. Т. 41, № 1. С. 55-61. [Yusupov V. V., Korzunin V. A., Demkin, A. D., Ovchinnikov B. V. Immediate prospects for solving problems of medical and psychological support for military personnel. *Proceedings of the Russian Military Medical Academy*, 41(1), pp. 55-61 (in Russ)].
6. Hoge C. W., Castro C. A., Messer S. C., et al. Combat duty in Iraq and Afghanistan, mental health problems, and barriers to care. *N Engl J Med*, 2004, No. 351 (1), pp. 13–22. doi:10.1056/NEJMoa040603.
7. Milliken C. S., Auchterlonie J. L., Hoge C. W. Longitudinal assessment of mental health problems among active and reserve component soldiers returning from the Iraq war. *JAMA*, 2007, No 298 (18), pp. 2141–2148.
8. Зеленина Н. В., Назаров С. С., Марченко А. А. [и др.] Особенности адаптации после психического травматического стресса у военнослужащих, выполнявших специальные задачи // *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2018. № 3(63). С. 153-158. [Zelenina, N. V., Nazarov, S. S., Marchenko, A. A., et al. Features of adaptation after mental traumatic stress in military personnel who performed special tasks. *Bulletin ofthe Russian Military Medical Academy*, 3(63), pp. 153-158 (in Russ)].
9. Britt T. W., Greene-Shortridge T. M., Brink S., et al. Perceived stigma and barriers to care for psychological treatment: Implications for reactions to stressors in different contexts. *J Soc Clin Psychol*, 2008, No 27 (4), pp. 317–335.
10. Kim P. Y., Britt T., W, Klocko R. P., et al. Stigma, negative attitudes about treatment, and utilization of mental health care among soldiers. *Mil Psychol*, 2011, No 23 (1), pp. 65–81.
11. Brewin C. R., Andrews B., Valentine J. D. Meta-analysis of risk factors for posttraumatic stress disorder in trauma-exposed adults. *J Consult Clin Psychol*, 2000, No. 68 (5), pp. 748–766.
12. Shapiro F. *Eye movement desensitization and reprocessing (EMDR) therapy: Basic principles, protocols, and procedures.* 3rd ed., New York: Guilford Press; 2018, p. 534.
13. Shapiro F. Efficacy of the eye movement desensitization procedure in the treatment of traumatic memories. *J Trauma Stress*, 1989, No. 2 (2), pp. 199–223.
14. Bisson J. I., Roberts N. P., Andrew M., et al. Psychological therapies for chronic post-traumatic stress disorder (PTSD) in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, No. 12, CD003388. doi:10.1002/14651858.CD003388.pub4.
15. Stickgold R. EMDR: A putative neurobiological mechanism of action. *J Clin Psychol*, 2002, No 58(1), pp. 61–75. doi:10.1002/jclp.1129.
16. Крюков Е. В., Овчинников Д. В., Юсупов В. В. [и др.] Использование тренингов биологической обратной связи в комплексной терапии невротических расстройств и коррекции негативных психологических последствий боевого стресса у комбатантов // *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2024. Т. 26, № 2. С. 185-196. [Kryukov, E. V., Ovchinnikov, D. V., Yusupov, V. V., et al. The use of biofeedback training in the complex therapy of neurotic disorders and the correction of negative psychological consequences of combat stress in combatants. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 26(2), pp. 185-196 (in Russ)].
17. Демкин А. Д., Дорофеев И. И., Кравченко Ю. В. Использование методики десенсибилизации и переработки движением глаз при медико-психологической реабилитации военнослужащих с боевой психической травмой в армиях зарубежных государств // *Известия Российской военно-медицинской академии.* 2019. Т. 38, № 3. С. 121-124. [Demkin, A. D., Dorofeev, I. I., & Kravchenko, Yu. V. (2019). The use of eye movement desensitization and reprocessing (EMDR) in medical and psychological rehabilitation of military personnel with combat mental trauma in foreign armies. *Proceedingsofthe Russian Military Medical Academy*, 38 (3), pp. 121-124 (in Russ)].
18. Rizzo A. S., Shilling R. Clinical virtual reality tools to advance the prevention, assessment, and treatment of PTSD. *Eur J Psychotraumatol*, 2017, No. 8 (sup5), pp. 414–560. doi:10.1080/20008198.2017.1414560.
19. McLay R. N., Wood D. P., Webb-Murphy J. A., et al. A randomized, controlled trial of virtual reality-graded exposure therapy for post-traumatic stress disorder in active duty service members with combat-related post-traumatic stress disorder. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 2011, No. 14 (4), pp. 223–229. doi:10.1089/cyber.2011.0003.
20. Botella C., Serrano B., Baños R. M., Garcia-Palacios A. Virtual reality exposure-based therapy for the treatment of post-traumatic stress disorder: a review of its efficacy, the adequacy of the treatment protocol, and its acceptability. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2015, No. 11, pp. 2533–2545. doi:10.2147/NDT.S89542.
21. Beck A. T., Steer R. A., Brown G. K. Manual for the Beck Depression Inventory-II. San Antonio. TX: Psychological Corporation; 1996. Русскоязычная адаптация: Тарабрина Н. В. Практикум по психологии посттравматического стресса. СПб.: Питер; 2001 [Beck A. T., Steer R. A., Brown G. K. Manual for the Beck Depression Inventory-II. San Antonio. TX: Psychological Corporation; 1996. Russian-language adaptation: Tarabrina N. V. Practicum on the psychology of post-traumatic stress. St. Petersburg: Piter Publ; 2001 (in Russ)].
22. Brewin C. R., Rose S., Andrews B., et al. Brief screening instrument for post-traumatic stress disorder. *Br J Psychiatry*, 2002, No. 181, pp. 158–162. doi: 10.1192/bjp.181.2.158.
23. Юсупов В. В., Корзунин В. А. *Психологическая диагностика в военно-профессиональной деятельности*. СПб.: ВМедА; 2004. 198 с. [Yusupov V. V., Korzunin V. A. *Psychological diagnostics in military professional activity*. St. Petersburg: Military Medical Academy; 2004, 198 p. (in Russ.)].
24. Morin C. M., Bastien C., Guay B., et al. Randomized clinical trial of supervised tapering and cognitive behavior therapy to facilitate benzodiazepine discontinuation in older adults with chronic insomnia. *Am J Psychiatry*, 2004, No 161 (2), pp. 332–342.

25. Полуэктов М. Г. *Расстройства сна и их лечение.* М.: МЕДпресс-информ; 2013. [Poluektov M. G. *Sleep disorders and their treatment*. Moscow: MEDpress-inform; 2013 (in Russ.)].
26. Баевский Р. М., Берсенева А. П. *Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний.* М.: Медицина; 1997. 236 с. [Baevsky R. M., Berseneva A. P. *Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of disease development*. Moscow: Medicine; 1997, 236 p. (in Russ.)].
27. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988, 567 p.
28. Лыткин В.М., Зун С.А., Колодин С.Н., Ятманов А.Н. Постбоевые изменения личности у ветеранов боевых действий // *Психология и психотехника.* 2024. № 4. С. 83-99. [Lytkin V.M., Zun S.A., Kolodin S.N., Yatmanov A.N. Post-combat personality changes in combat veterans. *Psychology and psychotechnics*, 2024, No. 4, pp. 83-99. (in Russ.)] doi: 10.7256/2454-0722.2024.4.69677

УДК 615.281.9: 615.46: 617-089

ДЕЙСТВИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ И ИХ КОМПОЗИЦИЙ НА АКТУАЛЬНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТ-АССОЦИИРОВАННЫХ ИНФЕКЦИЙ: ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

[1]Е. В. Владимирова, [1]М. С. Сухарева, [1]И. А. Кренев, [2]С. А. Божкова, [2]Е. М. Гордина, [1]А. С. Комлев, [1]Е. В. Егорова, [1]М. Н. Берлов, [1]Ю. О. Попова, [3,4]С. В. Искровский, [1]О. В. Шамова, [1,3]О. Н. Эргашев*

[1] Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия

[2] Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия

[3] Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени И. П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

[4] «Ортоинвест», Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Имплантат-ассоциированные инфекции являются одними из ключевых постоперационных осложнений ортопедических операций. Перспективный подход к их профилактике — покрытие поверхности имплантата антимикробными агентами, например пептидами.

ЦЕЛЬ. Оценить эффективность синтетических антимикробных пептидов и композиций на их основе в отношении актуальных возбудителей ортопедических инфекций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Штаммы бактерий *Acinetobacter baumannii, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus* (MRSA) и *S. epidermidis* (MRSE) были получены от пациентов с имплантат-ассоциированными инфекциями. Пептиды PR-39, RFR-ChBac3.4(1–14), протегрин-1, G-Ar-2[W2L, V8R] были получены с помощью твердофазного синтеза. Их антимикробную активность оценивали методом серийных разведений в жидкой питательной среде и на поверхности металлических пластинок из титанового сплава для производства медицинских изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Наиболее активными оказались пептиды протегрин-1 и G-Ar-2[W2L, V8R]. Их средние геометрические минимальных ингибирующих концентраций в жидкой среде составили 0,3 мкМ и 0,4 мкМ, а минимальные концентрации для подавления всех исследованных штаммов бактерий на пластинках — ~3 мкг/см^2 и ~15 мкг/см^2. Протегрин-1 и PR-39 показали синергетическое действие в жидкой среде, но эффект не сохранялся в тестах с использованием пластинок.

ОБСУЖДЕНИЕ. Исследованные пептиды продемонстрировали антибактериальную активность как в питательной среде, так и на поверхности титановых пластинок. Протокол сорбции пептидов на поверхности сплава в дальнейшем может быть оптимизирован, в частности, могут быть введены металлсвязывающие участки в их первичную структуру. PR-39 и PG-1 проявляли синергизм в жидкой питательной среде, но характеризовались независимым антимикробным действием в композициях, нанесенных на поверхность пластинок, что можно объяснить нарушением стехиометрии пептидов при их взаимодействии с бактериальными мишенями вблизи поверхности и при диффузии в жидкую фазу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Исследованные пептиды могут быть рекомендованы для дальнейшей разработки антибактериальных покрытий медицинских металлоконструкций для профилактики имплантат-ассоциированных инфекций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, антимикробные пептиды, внутрибольничные инфекции, имплантат-ассоциированные инфекции, эндопротезирование

***Для корреспонденции:** *Кренев Илья Анатольевич, e-mail: il.krenevv13@yandex.ru*
***For correspondence:** *Ilia A. Krenev, e-mail: il.krenevv13@yandex.ru*

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

Для цитирования: Владимирова Е. В., Сухарева М. С., Кренев И. А., Божкова С. А., Гордина Е. М., Комлев А. С., Егорова Е. В., Берлов М. Н., Попова Ю. О., Искровский С. В., Шамова О. В., Эргашев О. Н. Действие синтетических антимикробных пептидов и их композиций на актуальных возбудителей ортопедических имплантат-ассоциированных инфекций: оригинальная статья // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 125–134, EDN: https://elibrary.ru/DSWVJB

For citation: Vladimirova E. V., Sukhareva M. S., Krenev I. A., Bozhkova S. A., Gordina E. M., Komlev A. S., Egorova E. V., Berlov M. N., Popova Y. O., Iskrovskiy S. V., Shamova O. V., Ergashev O. N. Effect of synthetic antimicrobial peptides and their compositions on current pathogens of orthopedic implant-associated infections: original article // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 125–134, EDN: https://elibrary.ru/DSWVJB

EFFECT OF SYNTHETIC ANTIMICROBIAL PEPTIDES AND THEIR COMPOSITIONS ON CURRENT PATHOGENS OF ORTHOPEDIC IMPLANT-ASSOCIATED INFECTIONS: ORIGINAL ARTICLE

[1]Elizaveta V. Vladimirova, [1]Maria S. Sukhareva, [1]Ilia A. Krenev, [2]Svetlana A. Bozhkova, [2]Ekaterina M. Gordina, [1]Alexey S. Komlev, [1]Ekaterina V. Egorova, [1]Mikhail N. Berlov, [1]Yulia O. Popova, [3,4]Sergey V. Iskrovskiy, [1]Olga V. Shamova, [1,3]Oleg N. Ergashev

[1] Institute of Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia

[2] R. R. Vreden National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Saint Petersburg, Russia

[3] Acad. I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation

[4] Ortoinvest, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. Implant-associated infections are among the key postoperative complications of orthopedic surgery. A promising approach to their prevention is coating the implant surface with antimicrobial agents, such as peptides.

OBJECTIVE. To evaluate the efficacy of synthetic antimicrobial peptides and compositions based on them against current pathogens of orthopedic infections.

MATERIALS AND METHODS. Bacterial strains of *Acinetobacter baumannii, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus* (MRSA), and *S. epidermidis* (MRSE) were isolated from patients with implant-associated infections. Peptides PR-39, RFR-ChBac3.4(1–14), protegrin-1, and G-Ar-2[W2L, V8R] were synthesized using solid-phase synthesis. Their antimicrobial activity was assessed by serial dilutions in a liquid nutrient medium and on the surface of titanium alloy metal plates for medical device production.

RESULTS. The most active peptides were protegrin-1 and G-Ar-2[W2L, V8R]. Their geometric mean minimum inhibitory concentrations in liquid medium were 0.3 μM and 0.4 μM, and the minimum concentrations for suppression of all studied bacterial strains on plates were ~3 μg/cm^2 and ~15 μg/cm^2. Protegrin-1 and PR-39 showed synergistic action in liquid medium, but the effect was not maintained in tests using plates.

DISCUSSION. The studied peptides demonstrated antibacterial activity both in the nutrient medium and on the surface of titanium plates. The protocol for peptide adsorption on the alloy surface can be further optimized; in particular, metal-binding sites can be introduced into their primary structure. PR-39 and PG-1 exhibited synergism in the liquid nutrient medium but exhibited independent antimicrobial activity in the compositions applied to the surface of the plates. This can be explained by a disruption in the peptide stoichiometry during their interaction with bacterial targets near the surface and during diffusion into the liquid phase.

CONCLUSION. The studied peptides can be recommended for further development of antibacterial coatings for medical metal structures to prevent implant-associated infections.

KEYWRODS: marine medicine, maritime medicine, antimicrobial peptides, nosocomial infections, implant-associated infections, endoprosthetics

Введение. Имплантат-ассоциированные инфекции (ИАИ) являются одними из ключевых постоперационных осложнений и представляют серьезную проблему для здравоохранения [1]. Основные возбудители ИАИ – *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus faecalis*, *Candida* spp. Наиболее трудными для лечения являются ИАИ, вызванные метициллин-резистентными штаммами *S. aureus* (MRSA) и *S. epidermidis* (MRSE) [1, 2].

Инфекционный процесс может вызвать развитие постимплантационного остеомиелита и генерализации инфекции вплоть до сепсиса. Лечение предполагает удаление имплантата

и антибиотикотерапию [2, 3]. Наличие у патогенов адаптивных и приобретенных детерминант устойчивости к антибактериальным препаратам приводит к неэффективности проводимой терапии и обусловливает необходимость поиска альтернативных путей воздействия на антибиотикорезистентных возбудителей.

Критический период при развитии инфекции приходится на первые несколько часов и дней после установки имплантата, когда происходит «гонка за поверхность» между микробами и клетками иммунитета макроорганизма [4]. В этом свете перспективной задачей представляется разработка подходов не только к этиотропной терапии при ИАИ, но и профилактика этих инфекций за счет применения антимикробных агентов, действующих в интраоперационный и ранний постоперационный периоды.

Перспективный подход состоит в покрытии поверхности имплантата антимикробными агентами: антибиотиками, антимикробными пептидами, металлами, природными или синтетическими полимерами, эфирными маслами [5]. Антимикробные пептиды (АМП) — обширный класс природных антибиотических молекул всех крупных групп живых организмов и искусственных пептидных соединений [6]. Наиболее распространенный механизм действия АМП — лизис мембран. К достоинствам АМП как группы перспективных противоинфекционных агентов можно отнести низкий потенциал развития к ним резистентности со стороны патогенов, широкий спектр чувствительных видов и штаммов, значительный арсенал подходов к химической модификации и дизайну, направленных на повышение биологической активности и устойчивости к протеазам [6]. Кроме того, некоторые АМП обладают иммуномодулирующим действием. Исследование таких соединений актуально в свете того, что воздействие на иммунное микроокружение инфицированного имплантата рассматривается как перспективная стратегия при лечении ИАИ [7]. Наконец, ряд АМП демонстрируют способность к высокоэффективному сочетанному действию как с конвенциональными антибиотиками, так и с другими АМП. Так, АМП с различными механизмами действия могут оказывать совместное влияние по типу синергизма.

В данной работе использован ряд пептидов различной структуры. Протегрин 1 (PG-1) – АМП лейкоцитов свиньи – имеет конформацию β-шпильки, стабилизированной двумя дисульфидными связями [8]. Механизм антимикробного действия — лизис мембран [9]. Другими примерами АМП со структурой β-шпильки являются ареницины морского червя пескожила, также проявляющие высокую антимикробную активность в отношении широкого спектра микроорганизмов за счет мембранолитического эффекта [10, 11]. G-Ar-2[W2L, V8R] — аналог природных ареницинов, проявляющий высокую антибактериальную активность и, в отличие от ряда других β-шпилечных АМП, имеющий низкую гемолитическую активность в отношении эритроцитов человека и не ингибирующий альтернативный путь системы комплемента как основной гуморальный фактор, действующий в первые часы при проникновении инфекционного агента (заявка на патент 2025126915). В отличие от протегринов и ареницинов, пролин-богатый пептид PR-39 из кишечника свиньи инактивирует бактерии главным образом за счет ингибирования синтеза белка и ДНК [12], хотя нельзя исключать и роль нарушения целостности мембран [13]. Другой пролин-богатый пептид — бактенецин ChBac3.4 из лейкоцитов козы проявляет активность против широкого спектра микроорганизмов за счет мембранолитического действия [14]. RFR-ChBac3.4(1-14) — укороченный вариант этого пептида, но с добавленным триплетом RFR на N-конце. RFR-ChBac3.4(1-14) имеет высокую активность в отношении планктонных бактерий и биопленок, но низкую цитотоксичность [15]. Учитывая описанную в литературе ранозаживляющую активность PR-39 [16], представляет интерес исследование его совместного действия с другими АМП для получения комбинированного препарата, сочетающего высокую антимикробную активность и ранозаживляющее действие.

Цель. Оценить эффективность синтетических антимикробных пептидов и композиций на их основе в отношении актуальных возбудителей ортопедических инфекций.

Материалы и методы. Штаммы грамотрицательных бактерий *Acinetobacter baumannii* 5503, *Klebsiella pneumoniae* 5054, *Pseudomonas aeruginosa* 1948 и устойчивые к метициллину штаммы стафилококков *Staphylococcus aureus* (MRSA 7590) и *Staphylococcus epidermidis* (MRSE 2526) предоставлены Национальным

медицинским исследовательским центром травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена. Видовую идентификацию патогенов, выделенных от пациентов с ортопедической инфекцией, выполняли методом MALDI-TOF MS. Чувствительность изолятов к антибактериальным препаратам определяли, исходя из требований EUCAST v.15.0. Обозначение штамма соответствует его идентификационному номеру в системе ЛИС «Акросс-Инжири».

Пептиды PR-39, RFR-ChBac3.4(1-14), PG-1, G-Ar-2[W2L, V8R] получали методом твердофазного синтеза по Fmoc/*t*Bu (fluorenylmethyloxycarbonyl/*tert*-butyl)-стратегии с использованием стандартного протокола [17]. По результатам обращенно-фазовой жидкостной хроматографии чистота составила > 95 %. Соответствие молекулярных масс расчётным значениям подтверждали с помощью масс-спектрометрии MALDI-TOF.

Антимикробную активность образцов определяли методом серийных разведений в жидкой питательной среде, содержащей микроорганизмы [18]. В качестве жидкой питательной среды использовали 2,1 % бульон Мюллера–Хинтона (Научно-исследовательский центр фармакотерапии, Россия). Использовали культуру бактерии в логарифмической фазе роста. Концентрацию бактерий в суспензии рассчитывали, измеряя оптическую плотность при длине волны 620 нм, принимая, что значение, равное 1, соответствует $2{,}5 \cdot 10^8$ КОЕ/мл. Суспензию разводили стерильным бульоном Мюллера–Хинтона до концентрации 10^5 КОЕ/мл. В исследовании применяли 72-луночные микрокамеры Терасаки («Гисанс», Россия), лунки которых были предварительно обработаны 0,1 % бычьим сывороточным альбумином (Sigma, США) для снижения неспецифического связывания пептидов со стенками планшета. Готовили двукратные серийные разведения исследуемых веществ или их комбинаций в 0,01 М натрий-фосфатном буфере (pH 7,4). В лунки микрокамер вносили по 5 мкл приготовленных растворов и равные объемы суспензии бактерий в жидкой питательной среде. Для контроля роста в лунки вносили суспензии бактерий и буфер без пептидов; для контроля стерильности – буфер и среду. Планшеты инкубировали в течение ночи при 37 °С. За минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) принимали наименьшую концентрацию вещества, при которой не наблюдали видимого роста микроорганизмов. В каждом независимом эксперименте было по три параллели опытных и контрольных проб. Окончательные результаты рассчитывали как медианные значения МИК на основании данных 3–5 экспериментов. Для сопоставления антимикробной активности пептидов для каждого из них рассчитывали среднее геометрическое значений МИК (ГМИК) в отношении всех исследованных штаммов. При изучении совместного антимикробного действия в композиции на основе двух пептидов синергетическим считали такой эффект, при котором МИК каждого вещества уменьшается не менее чем в 4 раза.

Проводили оценку антимикробной активности пептидов и их комбинаций на поверхности материала для производства медицинских изделий (металлоконструкций). Использовали тонкие спилы титановой металлоконструкции в виде пластинок диаметром 0,6 см (площадь поверхности 0,28 $см^2$) (рис. 1).

Стерильные пластины помещали в 12-луночный стерильный планшет (Jet Bio-Filtration, Китай) – одна пластина на одну лунку. На каждую пластину наносили 12 мкл раствора пептида в этиловом спирте. Спирт был выбран как быстро испаряющаяся жидкость для ускорения нанесения пептидов (~15 мин). На пластины с контролем роста бактерий добавляли спирт без пептидов. После испарения спирта на поверхность пластин наносили по 8 мкл бактериальной суспензии в логарифмической фазе роста в концентрации $2{,}5 \cdot 10^6$ КОЕ/мл, за исключением пластины с контролем стерильности, куда вносили питательную среду и оставляли на 40 мин. После высыхания в лунки планшета добавляли 1,5 мл среды Мюллера–Хинтона и инкубировали в течение ночи при 37 °С. Антимикробную активность оценивали визуально, принимая за МИК наименьшую концентрацию вещества, при которой не наблюдали видимого роста микроорганизмов, а также с помощью резазуринового теста. В лунки планшетов добавляли 300 мкл 400 мкМ резазурина — маркера клеточного метаболизма, в присутствии жизнеспособных клеток меняющего цвет с синего на розовый вследствие образования окрашенного продукта – резоруфина [18]. МИК рассчитывали по результатам серии трех независимых экспериментов с двумя параллельными повторностями в каждом.

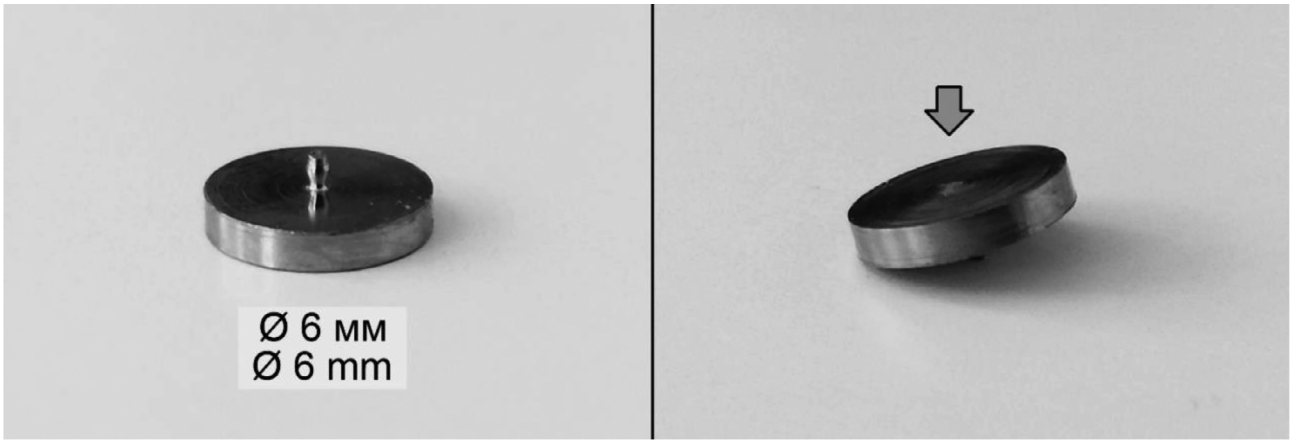


Рис. 1. Пластина из титанового сплава. Фото справа демонстрирует ориентацию пластины при ее инкубации в питательной среде, стрелка указывает на поверхность для нанесения раствора пептида.
Fig. 1. An example of a titanium alloy plate. The photo on the right demonstrates the plate orientation during its incubation within culture medium, the arrow shows the surface for inoculation of peptide solution

Таблица 1

Минимальные ингибирующие концентрации (МИК) пептидов в жидкой среде

Table 1

Minimum inhibitory concentrations (MIC) of the peptides in fluid medium

Бактерия / Bacterium	МИК, мкМ / MIC, μM			
	PR-39	RFR-ChBac3.4 (1–14)	PG-1	G-Ar-2[W2L, V8R]
A. baumannii 5503	0,031	2	0,125	0,125
K. pneumoniae 5054	0,125	> 64	0,25	0,5
P. aeruginosa 1948	16	64	0,5	0,5
MRSA 7590	> 64	16	1	2
MRSE 2526	4	0,25	0,125	0,25
Среднее геометрическое МИК / Geometric mean of MIC	> 1,7	> 8,0	0,3	0,4

Результаты. Методом серийных разведений в жидкой питательной среде удалось показать, что синтетические АМП обладают активностью в отношении исследованных штаммов бактерий. Исключения составили PR-39 и RFR-ChBac3.4 (1–14), не действовавшие в отношении MRSA 7590 и *K. pneumoniae* 5054 соответственно. Значения МИК различных пептидов в отношении клинических изолятов бактерий, а также значения ГМИК приведены в табл. 1 в виде выборочных медиан.

Наиболее активными пептидами оказались β-шпилечные пептиды PG-1 и G-Ar-2[W2L, V8R], имеющие значения ГМИК 0,3 мкМ и 0,4 мкМ соответственно.

Далее была проведена оценка активности композиции на основе наиболее активных пептидов с различными структурой и механизмами действия (β-шпилечный мембраноактивный пептид PG-1 и пролин-богатый пептид PR-39, для которого известен ранозаживляющий эффект). Выявлен синергизм действия PG-1 и PR-39 в отношении MRSA 7590, MRSE 2526, и *P. aeruginosa* 1948 (табл. 2).

Далее пептиды наносили на титановые пластины в концентрациях, указанных в табл. 1, далее концентрацию последовательно увеличивали в 2 раза до достижения антимикробного эффекта. Значения МИК в нанесенной капле (мкМ) и перерасчет в массу на единицу площади пластинки (мкг/см^2) приведены в табл. 3.

PG-1 проявляет наиболее выраженную антимикробную активность на поверхности пластинок (значение ГМИК составило 8 мкМ).

Таблица 2

Совместное антимикробное действие пептидов PG-1 и PR-39

Table 2

Combined antimicrobial action of the PG-1 and PR-39 peptides

Бактерия / Bacterium	Изменение значений МИК пептидов в составе композиции / Changes in MIC values in the composition	Характер совместного антимикробного действия / Type of combined action
A. baumannii 5503	Не изменились / No change	Независимое действие / Independent action
K. pneumoniae 5054	↑2	Независимое действие / Independent action
P. aeruginosa 1948	↓16	Синергизм / Synergism
MRSA 7590	↓8*	Синергизм / Synergism
MRSE 2526	↓4	Синергизм / Synergism

Примечание. Изменение минимальной ингибирующей концентрации (МИК) пептидов при их совместном действии по сравнению с индивидуальном действием в указанное число раз показано стрелками: ↓ – падение МИК, повышение активности; ↑ – повышение МИК, падение активности; * – поскольку для PR-39 не была определена МИК в отношении MRSA 7590, в комбинации использовали концентрацию 64 мкМ (принимая МИК за 128 мкМ)

Note. The changes in minimum inhibitory concentration (MIC) values in the specified number of times is shown as the arrows: ↓ – MIC decrease, activity augmentation; ↑ – MIC increase, activity reduction. * – Since PR-39 MIC against MRSA 7590 was not determined, the concentration of 64 μM was used in the combination (assuming 128 μM as MIC).

Таблица 3

Антимикробная активность пептидов на поверхности металлических пластинок

Table 3

Antimicrobial activity of the peptides on the metal plates surface

Бактерия / Bacterium	Минимальная ингибирующая концентрация (МИК), мкМ (мкг/см^2) / Minimum inhibitory concentration (MIC), μM (μg/cm^2)			
	PR-39	RFR-ChBac3.4(1-14)	PG-1	G-Ar-2[W2L, V8R]
A. baumannii 5503	16 (3,24)	16 (1,59)	8 (0,74)	32 (3,86)
K. pneumoniae 5054	8 (1,62)	128 (12,73)	32 (2,96)	32 (3,86)
P. aeruginosa 1948	32 (6,47)	> 128 (> 12,73)	32 (2,96)	64 (7,72)
MRSA 7590	> 128 (> 25,89)	128 (12,73)	16 (1,48)	128 (15,43)
MRSE 2526	8 (1,62)	64 (6,36)	0,25 (0,02)	8 (0,96)
Среднее геометрическое МИК / Geometric mean of MIC	> 21,1	> 73,5	8	36,8

Это находится в соответствии с результатами, полученными методом серийных разведений в жидкой питательной среде. Минимальные концентрации для подавления всех исследованных штаммов бактерий на титановых пластинках пептидами PG-1 и G-Ar-2[W2L, V8R] составили ~3 мкг/см^2 и ~15 мкг/см^2.

Полученные результаты подтверждали путем добавления в лунки маркера клеточного метаболизма – резазурина. Оценка роста бактерий подтвердилась (данные не приведены).

Антимикробную активность композиции оценивали на основе PR-39 и PG-1 на поверхности металлоконструкций. Значения МИК этих пептидов в композиции приведены в табл. 4. Согласно полученным результатам, пептиды проявляли независимое антимикробное действие в композициях, нанесенных на поверхность пластинок.

Обсуждение. Модификация поверхности имплантата антимикробными соединениями — перспективный подход для предотвращения

Таблица 4

Антимикробная активность композиции PG-1 и PR-39 на поверхности пластинок

Table 4

Antimicrobial activity of the PG-1 and PR-39 composition on the metal plates surface

Бактерия / Bacterium	Минимальная ингибирующая концентрация пептидов в составе композиции, мкМ / Minimum inhibitory concentration of peptides in the composition, μM	
	PR-39	PG-1
A. baumannii 5503	2	8
K. pneumoniae 5054	8	16
P. aeruginosa 1948	32	1
MRSA 7590	64	16
MRSE 2526	16	0,5

инфекций как одного из ведущих постоперационных осложнений. Пулом прототипов противоинфекционных агентов нового поколения служат антимикробные пептиды, поскольку обладают выраженной биологической активностью при низком потенциале вызывать резистентность со стороны патогенных микроорганизмов..

Ряд пептидов с различными структурой и механизмами действия проявили антибактериальную активность в отношении актуальных возбудителей имплантат-ассоциированных инфекций в условиях жидкой питательной среды (см. табл. 1). Это позволило предположить наличие антимикробного действия и на поверхности титановых пластин.

В настоящей работе мы сорбировали пептиды на поверхности титановых пластин путем добавления и высушивания капли. Известны различные подходы, позволяющие эффективно фиксировать пептиды на поверхности имплантата [5]. В частности, предложены химерные пептидные конструкты, состоящие из титан-связывающих пептидов (TiBP1: RPRENRGRERGL; TiBP2: SRPNGYGGSESS), спейсерного участка (GGG) и самого АМП (LKLLKKLLKLLKKL) [19]. В литературе описаны и другие титан-связывающие пептиды. Важно отметить, что в цитируемой работе молекулы АМП, без добавления титан-связывающего и линкерного фрагментов, также показали значимую (но в 1,5–3 раза меньшую) сорбцию на поверхности титана, что можно объяснить взаимодействиями между некоторыми аминокислотными остатками пептида и поверхностью. Поскольку в настоящей работе мы сорбировали АМП не путем обработки пластинки раствором, а за счет высыхания капли, можно предположить более высокую степень сорбции АМП на поверхности. Десорбцию пептидов при добавлении суспензии бактерий не оценивали. Хотя протокол нанесения АМП в дальнейшем должен быть оптимизирован, но на первом этапе была поставлена задача оценить наличие антибактериального эффекта исследованных пептидов вблизи поверхности титанового сплава. В примененном дизайне обработки пластин удалось выявить наличие выраженного антибактериального действия среди исследованных пептидов (см. табл. 3), что указывает на перспективность их дальнейшего исследования как активных противоинфекционных агентов имплантатов.

Практическое значение имеет исследование совместного действия пептидов, обладающих различными механизмами влияния. Мы показали, что пептиды PR-39 и PG-1 проявляли синергизм в тестах с использованием серийных разведений в жидкой питательной среде (см. табл. 2), но характеризовались независимым антимикробным действием в композициях, нанесенных на поверхность пластинок (см. табл. 4). Наблюдаемое различие можно объяснить нарушением стехиометрии пептидов при их взаимодействии с бактериальными мишенями вблизи поверхности и при диффузии в жидкую фазу, но оно нуждается в дальнейшем исследовании.

Заключение. β-Шпилечные пептиды PG-1 и G-Ar-2[W2L, V8R] обладают выраженной активностью против актуальных возбудителей имплантат-ассоциированных инфекций *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*

(MRSA) и *Staphylococcus epidermidis* (MRSE). Композиция на основе PG-1 и пролин-богатого пептида PR-39 проявляет синергетическое действие против MRSA 7590, MRSE 2526 и *P. aeruginosa* 1948 в стандартных антимикробных тестах в жидкой среде, однако при нанесении на пластины этот эффект не сохраняется. Исследованные пептиды могут быть рекомендованы для дальнейшей разработки антибактериальных покрытий медицинских изделий (металлоконструкций) с целью профилактики имплантат-ассоциированных инфекций.

Сведения об авторах:

Елизавета Васильевна Владимирова – научный сотрудник лаборатории дизайна и синтеза биологически активных пептидов, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0000-0002-6576-9844; SPIN: 8068-4141; e-mail: vladymyrovaliza18@mail.ru

Мария Сергеевна Сухарева – научный сотрудник лаборатории дизайна и синтеза биологически активных пептидов, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0000-0002-5351-7199; SPIN: 5269-4578; e-mail: masha.suxareva@yandex.ru

Илья Анатольевич Кренев – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории общей патологии, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0000-0001-7970-3291; SPIN: 1411-0962; e-mail: il.krenevv13@yandex.ru

Светлана Анатольевна Божкова – доктор медицинских наук, профессор, заведующая научным отделением профилактики и лечения раневой инфекции и отделением клинической фармакологии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена; Россия, 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8; ORCID: 0000-0002-2083-2424; SPIN: 3086-3694; e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Екатерина Михайловна Гордина – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения профилактики и лечения раневой инфекции, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена; Россия, 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8; ORCID: 0000-0003-2326-7413; SPIN: 9647-8565; e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Алексей Сергеевич Комлев – научный сотрудник лаборатории дизайна и синтеза биологически активных пептидов, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0000-0001-9111-0755; SPIN: 5921-6703; e-mail: witcher-lex@yandex.ru.

Екатерина Васильевна Егорова – младший научный сотрудник лаборатории противоопухолевых пептидных препаратов, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0009-0004-7990-6143; SPIN: 1736-4448; e-mail: egorova.ekaterina@internet.ru

Михаил Николаевич Берлов – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей патологии, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0000-0001-5191-0467; SPIN: 9006-6127; e-mail: berlov.mn@iemspb.ru

Юлия Олеговна Попова – аспирант, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; e-mail: iem@iemspb.ru

Сергей Викторович Искровский – кандидат медицинских наук, генеральный директор ООО «Ортоинвест»; Россия, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 39, литера А, помещ. 33-Н; доцент кафедры травматологии и ортопедии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Минздрава России; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Толстого, 6–8, ORCID: 0000-0003-2858-1743; e-mail: sergeiiskr@gmail.com

Ольга Валерьевна Шамова – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом общей патологии и патофизиологии, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; ORCID: 0000-0002-5168-2801; SPIN: 2913-4726; e-mail: shamova@iemspb.ru

Олег Николаевич Эргашев – доктор медицинских наук, профессор, и. о. директора, Институт экспериментальной медицины; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12; профессор кафедры хирургии госпитальной № 2, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова Минздрава России; Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Толстого, 6–8, ORCID: 0009-0003-5188-8900; SPIN: 2970-2672; e-mail: iem@iemspb.ru

Information about the authors:

Elizaveta V. Vladimirova – Researcher at the Laboratory of Design and Synthesis of Biologically active Peptides, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; ORCID: 0000-0002-6576-9844; SPIN: 8068-4141; e-mail: vladymyrovaliza18@mail.ru

Maria S. Sukhareva – Researcher at the Laboratory of Design and Synthesis of Biologically active Peptides, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; ORCID: 0000-0002-5351-7199; SPIN: 5269-4578; e-mail: masha.suxareva@yandex.ru

Ilia A. Krenev – Cand. of Sci. (Biol.), Researcher at the Laboratory of General Pathology, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; ORCID: 0000-0001-7970-3291; SPIN: 1411-0962; e-mail: il.krenevv13@yandex.ru

Svetlana A. Bozhkova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Scientific Department of Prevention and Treatment of Wound Infection and the Department of Clinical Pharmacology, R.R. Vreden National Medical Research Centre for Traumatology and

Orthopedics; Russia, 195427, Saint Petersburg, Academician Baikov Str., 8; ORCID: 0000-0002-2083-2424; SPIN: 3086-3694; e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Ekaterina M. Gordina – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher at the Scientific Department of Prevention and Treatment of Wound Infection and the Department of Clinical Pharmacology, R. R. Vreden National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics; Russia, 195427, Saint Petersburg, Academician Baikov Str., 8; ORCID: 0000-0003-2326-7413; SPIN: 9647-8565; e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Alexey S. Komlev – Researcher at the Laboratory of Design and Synthesis of Biologically active Peptides, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; ORCID: 0000-0001-9111-0755; SPIN: 5921-6703; e-mail: witcher-lex@yandex.ru

Ekaterina V. Egorova – Junior Researcher at the Laboratory of Antitumor Peptide Preparations, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Acadrmician Pavlov Str., 12; ORCID: 0009-0004-7990-6143; SPIN: 1736-4448; e-mail: egorova.ekaterina@internet.ru

Mikhail N. Berlov – Cand. of Sci. (Biol.), Leading Researcher at the Laboratory of General Pathology, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; ORCID: 0000-0001-5191-0467; SPIN: 9006-6127; e-mail: berlov.mn@iemspb.ru

Yulia O. Popova – Graduate Student, Institute of Experimental Medicine, Russia, 197022, Saint Petersburg, Acad. Pavlov str., 12; e-mail: iem@iemspb.ru

Sergey V. Iskrovskiy – Cand. of Sci. (Med.), General Director of the Ortoinvest Limited Liability Company; Russia, 194100, Saint Petersburg, Kantemirovskaya Str., 39, A, room 33-H; Associate Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Acad. I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; Russia, 197022, Saint Petersburg, Tolstoy Str., 6–8; ORCID: 0000-0003-2858-1743; e-mail: sergeiiskr@gmail.com

Olga V. Shamova – Dr. of Sci. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of General Pathology and Pathophysiology, Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; ORCID: 0000-0002-5168-2801; SPIN: 2913-4726; e-mail: shamova@iemspb.ru

Oleg N. Ergashev – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Acting Director of Institute of Experimental Medicine; Russia, 197022, Saint Petersburg, Academician Pavlov Str., 12; Professor of the Department of Hospital Surgery № 2, Academician I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; Russia, 197022, Saint Petersburg, Tolstoy Str., 6–8; ORCID: 0009-0003-5188-8900; SPIN: 2970-2672; e-mail: iem@iemspb.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – *О. В. Шамова, О. Н. Эргашев*; получение штаммов бактерий – *С. А. Божкова, Е. М. Гордина*; синтез пептидов – *А. С. Комлев, Е. В. Егорова*; получение образцов титановых пластинок – *С. В. Искровский*; получение и обработка данных – *Е. В. Владимирова, М. С. Сухарева, И. А. Кренев, М. Н. Берлов, Ю. О. Попова*; подготовка первого черновика рукописи – *Е. В. Владимирова, И. А. Кренев.*

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: OVSh, ONE contribution to the concept and plan of the study. SAB, EMG contribution to the bacterial strains preparation. ASK, EVE contribution to the peptide synthesis. SVI contribution to the titanium plates preparation. EVV, MSS, IAK, MNB, YuOP contribution to data collection and processing. EVV, IAK contribution to the original draft of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: работа была поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание FGWG-2025-0005), а также договором № 424-01-22/25 от 04.08.2025 между ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» и ООО «Ортоинвест».

Funding: The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state assignment FGWG-2025-0005) as well as in the frame of the agreement No. 424-01-22/25 dated 08/04/2025 between the Institute of Experimental Medicine and Ortoinvest LLC.

Поступила/Received: *12.04.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Haq I. U., Khan T. A., Krukiewicz K. Etiology, pathology, and host-impaired immunity in medical implant-associated infections. *Journal of infection and public health*, 2024, Vol. 17, No. 2, pp. 189–203. doi 10.1016/j.jiph.2023.11.024.
2. Божкова С. А., Тихилов Р. М., Краснова М. В., Рукина А. Н. Ортопедическая имплантат-ассоциированная инфекция: ведущие возбудители, локальная резистентность и рекомендации по антибактериальной терапии // *Травматология и ортопедия России.* 2013. Т. 19, № 4. С. 5–15 [Bozhkova S. A., Tikhilov R. M., Krasnova M. V., Rukina A. N. Orthopedic implant-associated infection: the main etiological agents, local resistance and antimicrobial therapy recommendations. *Traumatology and orthopedics of Russia*, 2013, Vol. 19, No. 4, pp. 5–15 (In Russ.)]. doi 10.21823/2311-2905-2013--4-5-15.

3. Zimmerli W. Clinical presentation and treatment of orthopaedic implant-associated infection. *Journal of internal medicine*, 2014, Vol. 276, No. 2, pp. 111–119. doi 10.1111/joim.12233.
4. Shiels S. M., Mangum L. H., Wenke J. C. Revisiting the "race for the surface" in a pre-clinical model of implant infection. *European cells and materials*, 2020, Vol. 39, pp. 77–95. doi 10.22203/eCM.v039a05.
5. Wei H., Song X., Liu P., et al. Antimicrobial coating strategy to prevent orthopaedic device-related infections: recent advances and future perspectives. *Biomaterials Advances*, 2022, Vol. 135, 212739. doi: 10.1016/j.bioadv.2022.212739.
6. Huan Y., Kong Q., Mou H., Yi X. Antimicrobial peptides: classification, design, application and research progress in multiple fields. *Frontiers in microbiology*, 2020, Vol. 11, 582779. doi 10.3389/fmicb.2020.582779.
7. Zhang Y., Dai Z., Li X., et al. Emerging non-antibiotic strategies for implant-associated biofilm infections by reprogramming the dysregulated immune microenvironment. *NPJ Biofilms and microbiomes*, 2026, Vol. 12, No. 1, 42. doi 10.1038/s41522-025-00907-3.
8. Fahrner R. L., Dieckmann T., Harwig S. S., et al. Solution structure of protegrin-1, a broad-spectrum antimicrobial peptide from porcine leukocytes. *Chemistry & biology*, 1996, Vol. 3, No. 7, pp. 543–550. doi 10.1016/s1074-5521(96)90145-3.
9. Sokolov Y., Mirzabekov T., Martin D. W., et al. Membrane channel formation by antimicrobial protegrins. *Biochimica et biophysica acta*, 1999, Vol. 1420, No. 1-2, pp. 23–29. doi 10.1016/s0005-2736(99)00086-3.
10. Ovchinnikova T. V., Shenkarev Z. O., Balandin S. V., et al. Molecular insight into mechanism of antimicrobial action of the beta-hairpin peptide arenicin: specific oligomerization in detergent micelles. *Biopolymers*, 2008, Vol. 89, No. 5, pp. 455–464. doi 10.1002/bip.20865.
11. Shenkarev Z. O., Balandin S. V., Trunov K. I., et al. Molecular mechanism of action of β-hairpin antimicrobial peptide arenicin: oligomeric structure in dodecylphosphocholine micelles and pore formation in planar lipid bilayers, *Biochemistry*, 2011, Vol. 50, No. 28, pp. 6255–6265. doi: 10.1021/bi200746t.
12. Boman H. G., Agerberth B., Boman A. Mechanisms of action on *Escherichia coli* of cecropin P1 and PR-39, two antibacterial peptides from pig intestine. *Infection and immunity*. 1993. Vol. 61, No. 7, pp. 2978-2984. doi 10.1128/iai.61.7.2978-2984.1993.
13. Veldhuizen E. J., Schneider V. A., Agustiandari H., et al. Antimicrobial and immunomodulatory activities of PR-39 derived peptides // *PLoS One*. 2014. Vol. 9, No. 4, e95939. doi 10.1371/journal.pone.0095939.
14. Shamova O., Orlov D., Stegemann C., et al. ChBac3. 4: a novel proline-rich antimicrobial peptide from goat leukocytes. *International journal of peptide research and therapeutics*. 2009. Vol. 15, No. 1, pp. 31-42. doi 10.1007/s10989-008-9159-7.
15. Kopeikin P. M., Zharkova M. S., Kolobov A. A., et al. Caprine bactenecins as promising tools for developing new antimicrobial and antitumor drugs. *Frontiers in cellular and infection microbiology*. 2020. Vol. 10, pp. 552905. doi 10.3389/fcimb.2020.552905.
16. Chan Y. R., Gallo R. L. PR-39, a syndecan-inducing antimicrobial peptide, binds and affects p130(Cas). *Journal of Biological Chemistry*, 1998, Vol. 273, No. 44, pp. 28978–28985. doi: 10.1074/jbc.273.44.28978.
17. Fields G. B., Noble R. L. Solid phase peptide synthesis utilizing 9-fluorenylmethoxycarbonyl amino acids. *International journal of peptide and protein research*, 1990, Vol. 35, No. 3, pp. 161–214. doi: 10.1111/j.1399-3011.1990.tb00939.x.
18. Hossain T. J. Methods for screening and evaluation of antimicrobial activity: A review of protocols, advantages, and limitations. *European journal of microbiology and immunology*, 2024, Vol. 14, No. 2, pp. 97–115. doi 10.1556/1886.2024.00035.
19. Yazici H., O'Neill M. B., Kacar T., et al. Engineered chimeric peptides as antimicrobial surface coating agents toward infection-free implants. *ACS Applied materials and interfaces journal*, 2016, Vol. 8, No. 8, pp. 5070–5081. doi 10.1021/acsami.5b03697.

МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР
ВАШ ДОКТОР 1

г. Мурманск,
ул. Полярные Зори, 41/2

8(8152)44-02-05
+7(911)305-03-50

Ваш Доктор 1 — путь к здоровью и красоте!

Медицинский центр «Ваш Доктор №1» приглашает вас позаботиться о своем здоровье и внешности. Мы предлагаем широкий спектр услуг, направленных на поддержание здоровья зубов и эстетического совершенства кожи лица и тела.



Стоматология

Современное оборудование и передовые технологии позволяют нам решать любые проблемы полости рта, начиная профилактическим осмотром и заканчивая сложными реставрациями.

Косметология

Наши специалисты используют инновационные методы лечения лазером Fotona, а также проводят аппаратную и инъекционную косметологию, обеспечивая быстрый видимый эффект омоложения и улучшения качества кожи.



Посетите медицинский центр «Ваш Доктор №1», где мы вернем вашей улыбке сияние, а коже — молодость!

ООО "ВАШ ДОКТОР 1" ЛИЦЕНЗИЯ Л041-01163-51/00336603 ОТ 09.12.2019

ИМЕЮТСЯ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ. НЕОБХОДИМА КОНСУЛЬТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТА.

ВАШ ДОКТОР
МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР

г. Мурманск,
пер. Русанова, 1

8(8152)47-47-94
+7(921)041-62-90

Ваш Доктор - заботимся о вас и вашем здоровье!

Медицинский центр «Ваш Доктор» предлагает широкий спектр медицинских услуг для всей семьи. Здесь работают опытные врачи, которые используют современные методы диагностики и лечения.

Гинекология

Профессиональная консультация и лечение гинекологических проблем женщин любого возраста. Современные методики диагностики и терапии позволяют быстро выявить заболевания и подобрать оптимальное лечение.

УЗИ- диагностика

Высокоточные исследования всех внутренних органов и систем организма. Опытные специалисты проводят обследование с использованием новейшего оборудования, обеспечивая максимальную точность результатов.

Травматология

Лечение различных видов травм и заболеваний опорно-двигательной системы. Врачи-травматологи используют передовые технологии восстановления функций суставов и костей, помогая пациентам вернуться к активной жизни.

Неврология

Диагностика и эффективное лечение нарушений нервной системы и заболеваний позвоночника. Наши неврологи применяют инновационные подходы, облегчающие состояние пациентов и способствующие быстрому восстановлению здоровья.

Ботулинотерапия

Терапевтическое применение ботулотоксина для лечения головных болей, спастичности мышц и других неврологических симптомов.

Доверяйте своё здоровье профессионалам медицинского центра «Ваш Доктор»!

ООО "ВАШ ДОКТОР" ЛИЦЕНЗИЯ Л041-01163-51/00318218 ОТ 26.12.2017

ИМЕЮТСЯ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ. НЕОБХОДИМА КОНСУЛЬТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТА.

УДК 615.036.8

ОСОБЕННОСТИ ПРОТИВОВИРУСНОЙ ТЕРАПИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕПАТИТА С У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

[1]А. И. Золотилова, [2]И. В. Щепина*

[1]Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, Россия

[2]Центр инфекционных болезней «Архангельская областная клиническая больница», г. Архангельск, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Сочетанное течение хронического гепатита С (ХГС) и хронической болезни почек (ХБП) представляет собой актуальную клиническую проблему, характеризующуюся взаимным отягощением, высокой частотой коморбидных осложнений и сложностью подбора противовирусной терапии (ПВТ). Появление прямых противовирусных препаратов кардинально изменило прогноз для данной категории пациентов, однако в реальной клинической практике сохраняется необходимость оценки эффективности и безопасности различных режимов терапии у полиморбидных больных, включая находящихся на программном гемодиализе.

ЦЕЛЬ. Охарактеризовать особенности течения ХГС и оценить эффективность и безопасность безинтерфероновой ПВТ у пациентов с ХБП, включая получающих гемодиализ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведен ретроспективный анализ 21 истории болезни пациентов с сочетанной патологией. У 12 (57,1 %) пациентов была ХБП 5Д стадии на программном гемодиализе. Всем пациентам назначали режимы на основе прямых противовирусных препаратов. Эффективность оценивали по достижению устойчивого вирусологического ответа (УВО) через 12 нед после окончания терапии.

РЕЗУЛЬТАТЫ. У всех пациентов, завершивших полный курс ПВТ, был достигнут УВО. Наиболее часто применялись режимы глекапревир/пибрентасвир ($n = 8$) и гразопревир/элбасвир ($n = 5$). Переносимость терапии была хорошей или удовлетворительной у 76,2 % пациентов. У 5 (23,8 %) отмечались умеренные нежелательные явления (диспепсия, слабость), успешно купированные. Серьезных нежелательных явлений не зарегистрировано.

ОБСУЖДЕНИЕ. Достигнутая в исследовании 100 % частота УВО согласуется с данными крупных международных исследований и метаанализов, подтверждающих высокую эффективность современных пангенотипных режимов у пациентов с терминальной почечной недостаточностью. Полученные результаты демонстрируют, что тщательно подобранная терапия на основе прямых противовирусных препаратов, особенно глекапревира/пибрентасвира и гразопревира/элбасвира, не только высокоэффективна, но и безопасна даже на фоне выраженной полипрагмазии и тяжелого коморбидного фона, что имеет важное значение для реальной клинической практики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Современная ПВТ на основе прямых противовирусных препаратов высокоэффективна и безопасна у пациентов с ХГС и сопутствующей ХБП, включая диализных больных, даже на фоне тяжелого коморбидного фона. Режимы глекапревир/пибрентасвир и гразопревир/элбасвир могут рассматриваться как препараты выбора в данной популяции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, хронический гепатит С, хроническая болезнь почек, гемодиализ, противовирусная терапия, прямые противовирусные препараты, устойчивый вирусологический ответ, коморбидность

***Для корреспонденции:** *Золотилова Анастасия Ивановна, e-mail: nastyazolotilova@gmail.com*

***For correspondence:** *Anastasia I. Zolotilova, e-mail: nastyazolotilova@gmail.com*

Для цитирования: Золотилова А. И., Щепина И. В. Особенности противовирусной терапии хронического гепатита С у пациентов с хронической болезнью почек: ретроспективное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 2. С. 135–142, EDN: https://elibrary.ru/GITENZ

For citation: Zolotilova A. I., Schepina I. V. Features of antiviral therapy for chronic hepatitis c in patients with chronic kidney disease: retrospective study // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 2. P. 135–142, EDN: https://elibrary.ru/GITENZ

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https:// creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

FEATURES OF ANTIVIRAL THERAPY FOR CHRONIC HEPATITIS C IN PATIENTS WITH CHRONIC KIDNEY DISEASE: RETROSPECTIVE STUDY

[1]*Anastasia I. Zolotilova*, [2]*Irina V. Schepina*
[1]Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia
[2]Center for Infectious Diseases of the Arkhangelsk Regional Clinical Hospital, Arkhangelsk, Russia

INTRODUCTION. The concurrent course of chronic hepatitis C (CHC) and chronic kidney disease (CKD) is a pressing clinical problem characterized by mutual aggravation, a high incidence of comorbid complications, and the difficulty of selecting antiviral therapy (AVT). The advent of direct antiviral drugs has dramatically changed the prognosis for this category of patients. However, in real-world clinical practice, there remains a need to evaluate the efficacy and safety of various treatment regimens in patients with multiple morbidities, including those on hemodialysis.
OBJECTIVE. To characterize the features of the CHC course and evaluate the efficacy and safety of interferon-free antiviral therapy in patients with CKD, including those receiving hemodialysis.
MATERIALS AND METHODS. A retrospective analysis of 21 medical records of patients with comorbidities was conducted. Twelve (57.1%) patients had stage 5D CKD on program hemodialysis. All patients were prescribed regimens based on direct acting antiviral agents. Efficacy was assessed by achieving a sustained virological response (SVR) 12 weeks after completion of therapy.
RESULTS. All patients who completed the full AVT course achieved SVR. The most commonly used regimens were glecaprevir/pibrentasvir ($n = 8$) and grazoprevir/elbasvir ($n = 5$). Therapy was well or satisfactorily tolerated in 76.2% of patients. Five (23.8%) patients experienced moderate adverse events (dyspepsia, weakness), which were successfully managed. No serious adverse events were reported.
DISCUSSION. The 100% SVR rate achieved in the study is consistent with data from large international studies and meta-analyses confirming the high efficacy of modern pangenotypic regimens in patients with end-stage renal disease. These results demonstrate that carefully selected therapy based on direct-acting antivirals, particularly glecaprevir/pibrentasvir and grazoprevir/elbasvir, is not only highly effective but also safe, even in the presence of severe polypharmacy and severe comorbidities, which has important implications for real-world clinical practice.
COCNLUSION. Modern AVT based on direct acting antiviral agents is highly effective and safe in patients with CHC and concomitant CKD, including dialysis patients, even in the presence of severe comorbidities. Glecaprevir/pibrentasvir and grazoprevir/elbasvir regimens can be considered the drugs of choice in this population.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, chronic hepatitis C, chronic kidney disease, hemodialysis, antiviral therapy, direct antiviral drugs, sustained virological response, comorbidity

Введение. В начале XXI в. медицинское сообщество столкнулось с двумя взаимосвязанными состояниями — хронической болезнью почек (ХБП) и хроническим вирусным гепатитом С (ХГС). Обе патологии характеризуются длительным бессимптомным течением и высокой частотой коморбидных осложнений [1, 2]. Сочетанное течение этих заболеваний ассоциировано с более быстрым прогрессированием фиброза печени, повышенным риском кардиоваскулярных осложнений и общей смертности [2, 3].

Хроническая болезнь почек перестала быть узкоспециальной нефрологической проблемой, ее распространенность в общей популяции достигает 10–15 %, причем основными причинами терминальной почечной недостаточности (ТПН) являются вторичные нефропатии — диабетическая и гипертоническая, а не первичные гломерулопатии[1]. Пациенты с ХБП, особенно на диализе, имеют в десятки раз более высокий риск сердечно-сосудистых катастроф, что и определяет основной прогноз[1]. Согласно данным Российского регистра заместительной почечной терапии, в России, несмотря на прогресс, обеспеченность заместительной почечной терапией (ЗПТ) остается в разы ниже, чем в странах Евросоюза и США, что делает приоритетными вопросы ранней диагностики и нефропротекции [4].

Параллельно ХГС, вызываемый РНК-содержащим вирусом (HCV), остается глобальной проблемой общественного здравоохранения. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 58 млн человек в мире имеют хроническую инфекцию HCV, и ежегодно от связанных с гепатитом С осложнений (цирроз, гепатоцеллюлярная карцинома) умирает приблизительно 290 тыс. человек[2]. Особую группу риска по инфицированию HCV

[1]Клинические рекомендации «Хроническая болезнь почек (ХБП)». М.: Национальная ассоциация нефрологов; 2024.
[2]Hepatitis C [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. 2024. URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-c (дата обращения: 19.03.2025)

составляют пациенты с ХБП на программном гемодиализе. Распространенность ХГС в диализных популяциях исторически многократно превышает таковую в общей популяции, достигая в некоторых регионах 20–70 %, что связано с длительным парентеральным анамнезом и внутрибольничной передачей вируса [1, 5]. Сочетанное течение ХГС и ХБП создает порочный круг взаимного отягощения. С одной стороны, HCV-инфекция ассоциирована с более высоким риском развития сахарного диабета, криоглобулинемического васкулита и кардиоваскулярных заболеваний, которые сами являются ведущими причинами ХБП [2, 3], с другой — уремическая иммуносупрессия и оксидативный стресс на фоне ХБП могут потенцировать репликацию вируса и ускорять прогрессирование фиброза печени [6].

Долгое время лечение ХГС у пациентов с нарушенной функцией почек, особенно на ПГД, было серьезной терапевтической задачей. Стандартная на тот момент терапия на основе интерферона-альфа и рибавирина отличалась низкой эффективностью (частота устойчивого вирусологического ответа (УВО) не превышала 40–60 %) и плохой переносимостью, усугубляя анемию, гриппоподобный синдром и депрессивные состояния у и без того полиморбидных больных [7]. Ситуация кардинально изменилась с появлением в клинической практике прямых противовирусных препаратов (ППВП), которые действуют непосредственно на ключевые белки вируса (NS3/4A, NS5A, NS5B). Эти препараты обеспечивают высочайшую (УВО > 95 %) эффективность, имеют короткий курс лечения (8–24 нед) и благоприятный профиль безопасности[3] [8]. Однако их применение у пациентов с ХБП потребовало пересмотра подходов к дозированию и выбора конкретных препаратов в связи с особенностями фармакокинетики: некоторые препараты (например, софосбувир и его метаболит GS-331007) выводятся почками, что теоретически требует осторожности при тяжелой почечной недостаточности [8, 9].

Тем не менее накопленные клинические данные, включая результаты масштабных исследований и метаанализов, подтвердили эффективность и безопасность пангенотипных режимов, таких как глекапревир/пибрентасвир и софосбувир/велпатасвир, у пациентов с любой степенью нарушения функции почек, включая диализных больных [8–13].

Несмотря на очевидный прогресс в терапии, в реальной клинической практике сохраняются вопросы, связанные с особенностями течения ХГС на фоне различных стадий ХБП, оптимальным выбором режима противовирусной терапии (ПВТ) с учетом коморбидного фона (артериальная гипертензия, анемия, сердечная недостаточность, вторичный гиперпаратиреоз) и оценкой долгосрочных исходов после эрадикации вируса [1–3]. Комплексный анализ клинических случаев, отражающих реальную практику, позволяет оценить эффективность и безопасность современных терапевтических подходов в этой сложной группе пациентов.

Цель. На основании анализа клинических случаев оценить эффективность и безопасность современной ПВТ у пациентов с ХБП, в том числе находящихся на лечении гемодиализом.

Материалы и методы. Дизайн исследования – одноцентровое ретроспективное исследование серии клинических случаев.

Критерии включения: верифицированный диагноз ХГС (наличие РНК HCV в сыворотке крови) и ХБП любой стадии согласно действующим клиническим рекомендациям.

Сбор данных. На основании медицинской документации был проведен сбор данных, сгруппированных по следующим блокам:

1. Социодемографические и клинические данные: возраст, пол, длительность диализного лечения, нозологическая форма ХБП;

2. Данные, характеризующие HCV-инфекцию: генотип вируса, вирусная нагрузка, степень фиброза печени (оцениваемая по шкале METAVIR или индексу APRI), предполагаемый путь инфицирования;

3. Параметры функции почек: скорость клубочковой фильтрации (СКФ), рассчитанная по формуле CKD-EPI, либо факт проведения заместительной почечной терапии (гемодиализ);

4. Данные о ПВТ ХГС: применяемая схема на основе ППВП, длительность лечения, переносимость, развитие нежелательных явлений;

5. Оценка эффективности противовирусной терапии: основным критерием эффективности служил устойчивый вирусологический ответ (УВО), определяемый как отсутствие РНК HCV

[3]Клинические рекомендации «Хронический вирусный гепатит С». М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации; 2021

в сыворотке крови через 12 нед после завершения курса терапии.

В связи с ретроспективным дизайном и небольшим объемом выборки проведен описательный анализ представленных клинических случаев. Количественные данные, не подчиняющиеся закону нормального распределения, описаны с помощью медианы (Me) и интерквартильного размаха [Q1; Q3]. Качественные признаки представлены в виде абсолютных и относительных частот (*n*, %). Обработка данных проводилась с использованием лицензионного программного обеспечения.

Результаты. В проведенное нами исследование был включен 21 пациент (10 мужчин, 11 женщин) с сочетанной патологией ХГС и ХБП. Общая характеристика пациентов: возраст пациентов составил Me = 57 [46,5; 69] лет (диапазон от 34 лет до 71 года). Из них 12 (57,1 %) пациентов находились на ПГД по поводу ХБП 5Д стадии. Средняя продолжительность диализного лечения в этой группе составила 16,2 ± 9,1 года (от 1 до 33 лет). У 9 (42,9 %) пациентов отмечались более ранние стадии ХБП (со 2-й по 4-ю), при этом средний уровень СКФ в этой подгруппе составил 49,8 ± 14,2 мл/мин/1,73м².

У пациентов с ХГС можно охарактеризовать следующим образом. У всех пациентов был подтвержден хронический вирусный гепатит С (РНК HCV+). Наиболее часто встречался 1-й генотип HCV — у 13 (61,9 %) пациентов, далее следовали 3-й генотип — у 6 (28,6 %) пациентов, и 2-й генотип — у 1 (4,8 %) пациента. У большинства (*n* = 16; 76,2 %) больных активность заболевания была оценена как низкая или минимальная. Степень фиброза печени варьировала: у 5 (23,8 %) пациентов диагностирован продвинутый фиброз печени (F3–4), у 7 (33,3 %) — фиброз F1–F2, у 9 (42,9 %) — отсутствие фиброза. Преобладающим (у 15 пациентов) был парентеральный путь инфицирования; в анамнезе часто фигурировали донорство крови и татуировки, выполненные кустарным способом.

Далее был проанализирован характер проводимой ПВТ и ее эффективность. Все пациенты получали современные режимы ПППД. Наиболее часто назначались схемы на основе глекапревира/пибрентасвира (*n* = 8; 38,1 %) и гразопревира/элбасвира (5 пациентов; 23,8 %). Также применялись софосбувир/велпатасвир, софосбувир/даклатасвир и режим 3D-терапии (препарат омбитасвир/дасабувир/паритапревир). Продолжительность терапии составляла 8, 12 или 24 нед в зависимости от клинической ситуации.

Таким образом, во всех случаях, когда терапия была завершена, был достигнут УВО, что свидетельствует о 100 % эффективности примененных схем в данной когорте.

Переносимость терапии в целом была хорошей. У 16 (76,2 %) пациентов побочные эффекты отсутствовали либо были минимальными и не требовали коррекции (легкая слабость, эпизодический дискомфорт в эпигастрии). У 5 (23,8 %) пациентов отмечались умеренные нежелательные явления (тошнота, рвота, диспепсия, головокружение, тахикардия), потребовавшие симптоматической терапии (домперидон, коррекция схемы сопутствующего лечения). Серьезных нежелательных явлений, приведших к досрочному прекращению ПВТ, не зарегистрировано.

Таблица 1

Нозологическая характеристика хронической болезни почек у пациентов с хроническим гепатитом С

Table 1

Nosological characteristics of chronic kidney disease in patients with chronic hepatitis C

Нозология	Число пациентов (*n* = 21)	Доля, %
Хронический гломерулонефрит	7	33,3
Нефропатия сочетанного генеза	5	23,8
Хронический пиелонефрит	2	9,5
Аутосомно-доминантная поликистозная болезнь почек	2	9,5
Гипоплазия почек	2	9,5
Прочие	3	14,3

Таблица 2

Эффективность различных режимов противовирусной терапии (ПВТ)

Table 2

Efficacy of various antiviral therapy regimens

Режим ПВТ	Число пациентов	Достигнут УВО / Курс завершен с улучшением	Эффективность, %
Глекапревир/Пибрентасвир	8	8	100
Гразопревир/Элбасвир	5	5	100
Софосбувир/Велпатасвир ± Рибавирин	2	1*	100*
Софосбувир/Даклатасвир	1	1	100
Прочие режимы	5	5	100
ИТОГО...	21	20	100

Примечание. * — У одного пациента курс был прерван в связи с переводом в другое учреждение. На момент отмены терапии РНК HCV не детектировалась

Note: * — One patient's treatment was interrupted due to transfer to another facility. HCV RNA was undetectable at the time of treatment discontinuation

Все пациенты имели отягощенный полиморбидный фон, структура которого представлена в табл. 3.

Важно отметить, что, несмотря на высокую частоту коморбидности и прием множества препаратов (антигипертензивные, статины, антиагреганты, препараты железа, фосфат-биндеры, эритропоэтин-стимулирующие агенты), не было зафиксировано ни одного случая клинически значимого лекарственного взаимодействия, потребовавшего отмены ПВТ. У нескольких пациентов при ПВТ была предусмотрительно осуществлена временная отмена потенциально интерактивных препаратов (например, аторвастатина). У одного пациента на фоне приема рибавирина развилась анемия, потребовавшая снижения его дозы. Случаев лекарственных взаимодействий, повлиявших на эффективность терапии, не отмечено, что свидетельствует о тщательном предварительном подборе схем.

Обсуждение. Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность и безопасность современных режимов ПППД у пациентов с сочетанной патологией ХГС и ХБП. Полученные нами данные о 100 % достижении УВО согласуются с результатами крупных международных и российских исследований [8–11, 13]. В частности, метаанализ A. De и соавт. [8] показал, что режим софосбувир/велпатасвир у пациентов с терминальной ХБП на диализе обеспечивает УВО в 97,7 % случаев. В нашем исследовании схема глекапревир/пибрентасвир, являющаяся пангенотипной и рекомендованная для пациентов с нарушением функции почек любой степени тяжести [10][3], так же, как и другие примененные режимы, продемонстрировала 100% эффективность и отличную переносимость, что подтверждает высокую надежность современных ПППД у данной популяции.

Важным аспектом является ведение пациентов с циррозом печени на фоне ХБП. В нашей когорте у 5 пациентов был диагностирован цирроз (F4), и все они успешно завершили терапию, включая пациента, получавшего интенсивную схему с рибавирином.

Это подтверждает возможность и необходимость проведения ПВТ у данной сложной категории больных, хотя и требует более тщательного мониторинга, особенно за гемоглобином при использовании рибавирина [9, 12].

Высокий процент коморбидной патологии, особенно сердечно-сосудистой, подчеркивает выводы работы P. Y. Hsu и соавт. [3] о том, что пациенты на гемодиализе с HCV несут более тяжелое бремя сопутствующих заболеваний. Успешная эрадикация HCV у таких пациентов не только снижает риск прогрессирования заболевания печени, но и потенциально улучшает кардиоваскулярный прогноз и выживаемость в целом [2, 5].

Отсутствие серьезных лекарственных взаимодействий в нашем исследовании свидетель-

Таблица 3

Структура основных коморбидных состояний у пациентов с хроническим гепатитом С и хронической болезнью почек ($n = 21$)

Table 3

Structure of major comorbid conditions in patients with chronic hepatitis C and chronic kidney disease ($n = 21$)

Класс коморбидной патологии	Число пациентов	Доля, %	Наиболее частые диагнозы / Примечания
Сердечно-сосудистые заболевания	15	71,4	Артериальная гипертензия III стадии, риск 4 ($n = 10$), ишемическая болезнь сердца, фибрилляция предсердий, хроническая сердечная недостаточность
Анемия	9	42,9	Анемия легкой степени (преимущественно железо- или эритропоэтин-дефицитного генеза)
Заболевания желудочно-кишечного тракта	8	38,1	Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь, хронический гастрит, холецистит
Костно-минеральные нарушения	7	33,3	Остеопороз, остеодистрофия, состояние после паратиреоидэктомии
Эндокринные и метаболические нарушения	5	23,8	Сахарный диабет 2-го типа, вторичный гиперпаратиреоз

ствует о корректном выборе режимов ПВТ с учетом постоянной терапии пациентов. Так, пангенотипные режимы, такие как глекапревир/пибрентасвир, имеют низкий потенциал взаимодействий, что делает их особенно удобными для полиморбидных больных [10][3].

Таким образом, результаты нашего исследования, с одной стороны, подтверждают высокую эффективность и безопасность современных пангенотипных режимов ПППД у пациентов с ХГС и ХБП, включая диализных больных[3], что согласуется с данными литературы [8,10]; с другой — наше наблюдение за конкретной когортой позволило детально охарактеризовать крайне высокую частоту полиморбидности у таких пациентов и, что наиболее важно, эмпирически продемонстрировать отсутствие клинически значимых взаимодействий между ПППД и постоянной терапией, несмотря на обширную полипрагмазию. Это подтверждает, что тщательно подобранная ПВТ является не только высокоэффективной, но и практически выполнимой и безопасной задачей в реальной клинической практике ведения сложных полиморбидных пациентов с сочетанной патологией ХГС и ХБП.

Ограничением нашего исследования является его ретроспективный характер и небольшой размер выборки. Однако полученные результаты убедительно свидетельствуют в пользу активной тактики ведения пациентов с ХГС и ХБП.

Заключение. Современная ПВТ на основе ПППД демонстрирует высокую эффективность (100 % УВО в исследованной когорте) и удовлетворительный профиль безопасности у пациентов с ХГС и сопутствующей ХБП, включая больных на программном гемодиализе. Несмотря на высокую частоту полиморбидности (преобладание сердечно-сосудистой патологии, анемии, заболеваний ЖКТ) и полипрагмазии, терапия ПППД не сопровождалась клинически значимыми лекарственными взаимодействиями, что подтверждает возможность ее безопасного проведения в данной сложной группе. Наличие тяжелого коморбидного фона не является препятствием для проведения ПВТ, но требует тщательного междисциплинарного мониторинга для своевременной коррекции возможных нежелательных явлений, таких как рибавирин-ассоциированная анемия. Режимы на основе глекапревира/пибрентасвира и гразопревира/элбасвира показали отличные результаты и могут рассматриваться как препараты выбора у данной категории пациентов, что согласуется с действующими клиническими рекомендациями. Преимуществом этих препаратов является

высокая эффективность, пангенотипность, преимущественно печеночный метаболизм (минимальная почечная экскреция), что обеспечивает их безопасность и предсказуемую фармакокинетику у пациентов с ХБП. Эрадикация вируса гепатита С у пациентов с ХБП является достижимой целью, способствующей улучшению общего прогноза и качества жизни, и должна быть неотъемлемой частью комплексной медицинской помощи.

Сведения об авторах:

Золотилова Анастасия Ивановна – студентка 5-го курса лечебного факультета, Северный государственный медицинский университет; Россия, 163069, г. Архангельск, пр-т Троицкий, д. 51; ORCID: 0009-0004-3837-307X; e-mail: nastyazolotilova@gmail.com

Щепина Ирина Валентиновна – кандидат медицинских наук, заведующая Центром инфекционных болезней «Архангельская областная клиническая больница» кафедры инфекционных болезней, Северный государственный медицинский университет; Россия, 163069, г. Архангельск, пр-т Троицкий, д. 51; ORCID: 0009-0009-2939-7316; e-mail: SchepinaIV@aokb.ru

Information about the authors:

Anastasia I. Zolotilova – 5th-year student of the Northern State Medical University; Russia, 163069, Arkhangelsk, Troitsky Ave., 51; ORCID: 0009-0004-3837-307X. E-mail: nastyazolotilova@gmail.com

Irina V. Schepina – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Infectious Diseases Center, Arkhangelsk Regional Clinical Hospital. Department of Infectious Diseases, Northern State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Russia, 163069, Arkhangelsk, Troitsky Ave., 51; ORCID: 0009-0009-2939-7316; e-mail: SchepinaIV@aokb.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и дизайн исследования, формирование эмпирической базы и научное руководство — И. В. Щепина; поиск и систематизация источников, анализ полученных данных, подготовка, редактирование и оформление текста рукописи — А. И. Золотилова.

Authors' contributions. All authors confirm the conformity of their authorship, according to the international criteria of the ICMJE (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study and preparation ofthe article, read and approved the final version before publication).

Special contribution: IVSch developed the research concept and design, formed the empirical framework, and provided scientific supervision. AIZ performed literature search and systematization, data analysis, and manuscript preparation, editing, and formatting.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Financing. The study was not sponsored.

Поступила/Received: *27.03.2026*
Принята к печати/Accepted: *15.06.2026*
Опубликована/Published: *30.06.2026*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Рысулы М. Р., Садвакас А. С., Рахметов Н. Р. и др. Необходимость совершенствования диагностики вирусного гепатита С у больных с хронической болезнью почек, получающих гемодиализ // *Наука и здравоохранение*. 2020. Т. 22, № 6. С. 54–62 [Rysuly M. R., Sadvakas A. S., Rakhmetov N. R., et al. The need to improve the diagnosis of viral hepatitis C in patients with chronic kidney disease receiving hemodialysis. *Science and healthcare*, 2020, Vol. 22, No. 6, pp. 54–62 (In Russ.)].
2. Эсауленко Е. В., Новак К. Е., Басина В. В. и др. Распространенность коморбидности при хроническом вирусном гепатите С // *Медицинский алфавит*. 2021. № 1. С. 66–70 [Esaulenko E. V., Novak K. E., Basina V. V., et al. Prevalence of comorbidity in chronic viral hepatitis C. *Medical alphabet*, 2021, No. 1, pp. 66–70 (In Russ.)].
3. Hsu P. Y., Lee J. J., Lin C. C., et al. Comorbidities in patients with chronic hepatitis C and hepatitis B on hemodialysis. *J Gastroenterol Hepatol*, 2021, Vol. 36, No. 8, pp. 2261–2269. doi: 10.1111/jgh.15485.
4. Андрусев А. М., Перегудова Н. Г., Шинкарев М. Б. и др. Заместительная почечная терапия хронической болезни почек 5 стадии в Российской Федерации 2016–2020 гг. // *Нефрология и диализ*. 2022. Т. 24, № 4. С. 354–456. doi: 10.28996/1680-6105-2022-24-4-354-456 [Andrusev A. M., Peregudova N. G., Shinkarev M. B., et al. Kidney replacement therapy for chronic kidney disease stage 5 in the Russian Federation 2016–2020. *Nephrology and Dialysis*, 2022, Vol. 24, No. 4, pp. 354–456 (In Russ.)]. doi: 10.28996/1680-6105-2022-24-4-354-456.
5. Winston A., Kumar D., Liakopoulos V., et al. Viral hepatitis in patients on hemodialysis. *Semin Dial*, 2020, Vol. 33, No. 3, pp. 254–262. doi: 10.1111/sdi.12885.

6. Айтиева Ж. Т., Тобокалова С. Клинико-лабораторная характеристика вирусных гепатитов В и С, ассоциированных с болезнями почек // *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. 2024. № 10. С. 78–83 [Aytieva Zh. T., Tobokalova S. Clinical and laboratory characteristics of viral hepatitis B and C associated with kidney disease. *Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan,* 2024, No. 10, pp. 78–83 (In Russ.)].
7. Prabhu A.R., Liu J., Chan K., et al. Interventions for dialysis patients with hepatitis C virus (HCV) infection. *Cochrane Database Syst Rev,* 2023, Vol. 4, No. 4, CD007003. doi: 10.1002/14651858.CD007003.pub3.
8. De A., Kumar M., Sharma S., et al. Sofosbuvir plus velpatasvir combination for the treatment of chronic hepatitis C in patients with end stage renal disease on renal replacement therapy: A systematic review and meta-analysis. *Nephrology (Carlton),* 2022, Vol. 27, No. 1, pp. 82–89 doi: 10.1111/nep.13956.
9. Afredj N., Messaoudi N., Rached L., et al. Hepatitis C Treatment With Generic Sofosbuvir-Based Regimens in Patients Undergoing Hemodialysis. *Hemodial Int,* 2025, Vol. 29, No. 2, pp. 164–171. doi: 10.1111/hdi.13115.
10. Стребкова Е. А., Агафонова О. В., Киндалова Е. С. и др. Эффективность и безопасность противовирусной терапии глекапревир+пибрентасвир для больных с хроническим гепатитом С и хронической болезнью почек // *Клиническая нефрология*. 2018. № 4. С. 55–61 [Strebkova E. A., Agafonova O. V., Kindalova E. S., et al. Efficacy and safety of antiviral therapy glecaprevir + pibrentasvir for patients with chronic hepatitis C and chronic kidney disease. *Clinical Nephrology*, 2018, No. 4, pp. 55–61 (In Russ.)].
11. Акалаев Р. Н., Арипходжаева Ф. А., Рашидова С. А. и др. Эффективность применения противовирусных препаратов прямого действия у HCV-позитивных больных на программном гемодиализе, находящихся в листе ожидания трансплантата // *Вестник экстренной медицины*. 2020. Т. 13, № 1–2. С. 5–13 [Akałaev R. N., Aripkhodzhaeva F. A., Rashidova S. A., et al. Efficacy of direct-acting antiviral drugs in HCV-positive patients on program hemodialysis on the transplant waiting list. *Bulletin of Emergency Medicine*, 2020, Vol. 13, No. 1–2, pp. 5–13 (In Russ.)].
12. Liu C. H., Yang H. C., Kao J. H., et al. Hepatitis C virus reinfection in patients on haemodialysis after achieving sustained virologic response with antiviral treatment. *Aliment Pharmacol Ther*, 2022, Vol. 55, No. 4, pp. 434–445. doi: 10.1111/apt.16761.
13. Sahay M., Saxena V., Anand A., et al. Efficacy and Safety of Directly Acting Antivirals in Patients with Hepatitis C Infection on Hemodialysis. *J Assoc Physicians India,* 2023, Vol. 71, No. 8, pp. 11–12.

Альберт Шагивалеев

Моб: +7 800 201 48 48, доб. 6317
E-mail: a.shagivaleev@icl.kazan.ru

icl-techno.ru

СИСТЕМА ПРЕДРЕЙСОВОГО ОСМОТРА

Система предрейсового осмотра - аппаратно-программный комплекс, позволяющий проводить предрейсовый (предсменный осмотр), с дистанционной передачей информации о состоянии здоровья работников и дистанционным контролем состояния их здоровья.

Документы

- Соответствие требованиям Приказа Министерства здравоохранения РФ от 30 мая 2023 г. N 266н
- Соответствие требованиям Постановления Правительства РФ от 30.05.2023 N 866 "Об особенностях проведения медицинских осмотров с использованием медицинских изделий, обеспечивающих автоматизированную дистанционную передачу информации о состоянии здоровья работников и дистанционный контроль состояния их здоровья"

Измеряемые параметры на терминале

- Сбор жалоб
- Визуальный осмотр
- Общая термометрия
- Измерение артериального давления
- Измерение этанола
- Неврологическое тестирование
- Диагностика речевых отклонений

Состав решения

- Личный кабинет врача
- Личный кабинет администратора
- Личный кабинет работника
- Терминал предрейсового осмотра

РЗН 2025/25404 от 14.05.2025



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ (РОСЗДРАВНАДЗОР)

РЕГИСТРАЦИОННОЕ УДОСТОВЕРЕНИЕ НА МЕДИЦИНСКОЕ ИЗДЕЛИЕ

от 14 мая 2025 года № РЗН 2025/25404

На медицинское изделие
Комплекс аппаратно-программный предсменных, предрейсовых, послесменных и послерейсовых медицинских осмотров с программным обеспечением ICLWorkshift по БСПА.468153.002ТУ

Настоящее регистрационное удостоверение выдано
Обществу с ограниченной ответственностью "АйСиЭл Техно" (ООО "АйСиЭл Техно"), Россия, 422624, Республика Татарстан, муниципальный район Лаишевский, с.п. Столбищенское, с. Столбище, ул. Советская, зд. 278, офис 18 (1005)

Производитель
Общество с ограниченной ответственностью "АйСиЭл Техно" (ООО "АйСиЭл Техно"), Россия, 422624, Республика Татарстан, муниципальный район Лаишевский, с.п. Столбищенское, с. Столбище, ул. Советская, зд. 278, офис 18 (1005)

Место производства медицинского изделия
ООО "АйСиЭл Техно", Россия, 422624, Республика Татарстан, Лаишевский муниципальный р-н, Столбищенское с.п., с. Столбище, ул. Советская, д. 278

Номер регистрационного досье № РД-68795/15765 от 15.04.2025

Класс потенциального риска применения медицинского изделия 2а

Код Общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности 26.60.12.129

Настоящее регистрационное удостоверение имеет приложение на 4 листах

Приказом Росздравнадзора от 14 мая 2025 года № 2981 допущено к обращению на территории Российской Федерации.

Руководитель Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения А.В. Самойл



На правах рекламы

ИМПУЛЬС-К

ПОРТАТИВНАЯ БЕСПРОВОДНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА

Импульс-К — портативный беспроводной аппарат ультразвуковой диагностики производства АО «Концерн «Калашников» (дивизион медицинских разработок).



НАЗНАЧЕНИЕ:
Предназначен для быстрой оценки состояния и сортировки раненых и пострадавших, обеспечения в/в доступа, выполнения регионарных блокад.

ПОЗВОЛЯЕТ ВЫПОЛНЯТЬ:
Fast – протокол
Blue – протокол
Rush – протокол

1. Комбинированный линейно-конвексный датчик с функцией фазированного сканирования
2. Пыле-влагозащищённый и противоударный корпус, IP 67
3. Выполняет требования по климатике: от -30 до +50 °C
4. До 9 часов непрерывной работы от аккумулятора

КАЛАШНИКОВ ИМПУЛЬС-К

med@kalashnikovconcern.ru
+7 (495) 644-16-80 доб. 21095