

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

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

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

²40-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 неограниченными 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 обратного 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 обратного 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>

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

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

¹Institute of Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences, St Petersburg, Russia

²40 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 обе-

спечивающего 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 медицины¹.

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 водолажных 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.

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

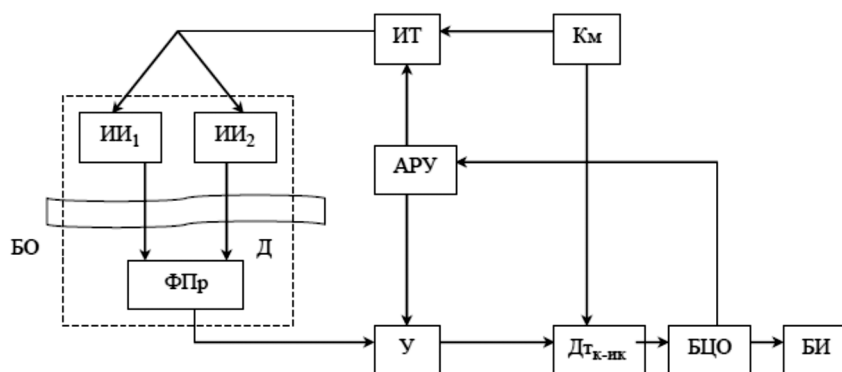


Рис. 1. Блок-схема аппаратно-программного комплекса «ВОДА-4»
Fig. 1. Block diagram of the hardware and software complex “VODA-4”



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 по-

вреждений. 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

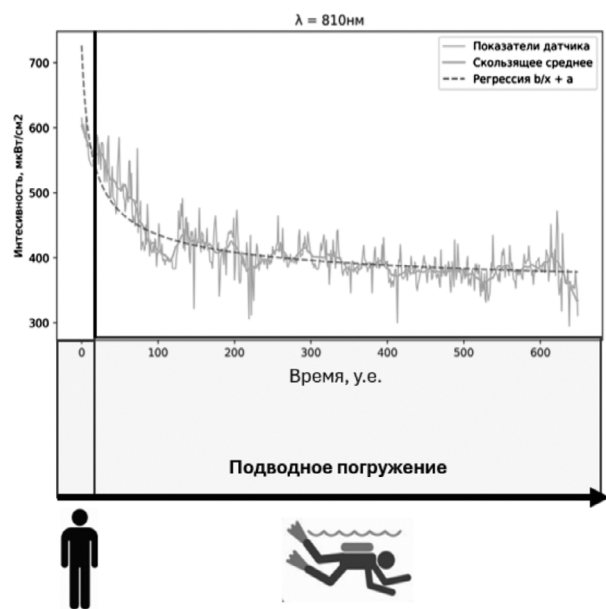


Рис. 5. Изменения уровня кровенаполнения во времени для биологических тканей водолаза при проведении спуска на глубину до 6 м (регистрация произведена на длине волны 810 нм на этапах экспериментального исследования в покое и подводного погружения)

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)

были получены значения параметров обратно-рассеянного 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-про-

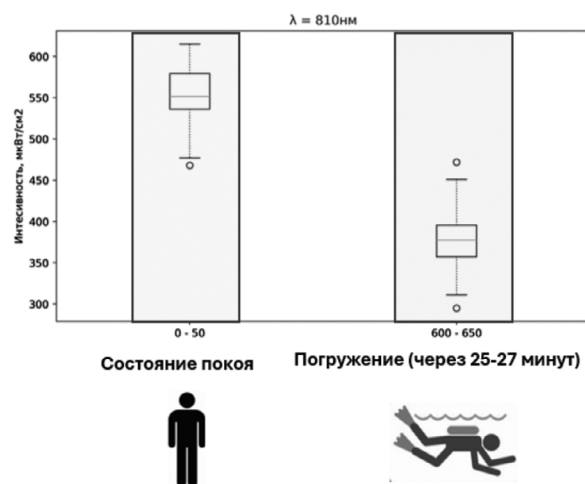


Рис. 6. Средний уровень кровенаполнения относительно состояния покоя для биологических тканей водолаза при проведении спуска на глубину до 6 м (регистрация произведена на длине волны 810 нм на этапах экспериментального исследования в покое и через 25–27 мин подводного погружения)

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)

граммного 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., Klenkov 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., Starovoi A. V. *Selected issues of diving medicine*. St. Petersburg: RIC PSPb-SMU, 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.