

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 612.014.4:546.293

Авторы не заявили о конфликте интересов

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-2-7-14>

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ МЕТАБОЛИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ В АРГОНОСОДЕРЖАЩЕЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

¹А. О. Иванов*, ¹В. А. Петров, ²Э. Н. Безкишкий, ³А. Ю. Ерошенко, ³Н. В. Кочубейчик, ⁴А. А. Иванов

¹Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга (АО «АСМ»), Санкт-Петербург, Россия

²Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

³Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

⁴Медицинская служба фрегата «Адмирал Флота Касатонов», г. Североморск, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

Целью исследования явилась углубленная оценка динамики основных показателей метаболизма человека при длительной (60 сут) герметизации в нормобарической аргоносодержащей гипоксической газовой среде (АрГГС), для подтверждения возможности формирования подобных сред, снижающих риск возникновения пожаров и возгораний, на обитаемых герметизируемых объектах, в частности подводных лодках (пл). Исследования проведены с участием 6 испытуемых-мужчин в возрасте 20–51 года, признанных годными к выходу в море на пл длительностью до 90 сут. Период герметизации составлял 60 сут, в течение которого испытуемые выполняли рабочую программу, заключающуюся в ежедневном моделировании деятельности физического и операторского профиля. Отбор проб венозной крови для биохимического анализа осуществляли перед началом герметизации, каждые 15 сут во время герметизации и через 5 дней после ее окончания. Показано, что длительное, в течение 60 сут, непрерывное пребывание участников испытаний в АрГГС (содержание аргона 30–35% об, кислорода 13,5–14,5% об, диоксида углерода до 0,8% об, азот — остальное) сопровождалось накоплением в крови недоокисленных продуктов обмена углеводов и белков, холестерина, повышением коэффициента атерогенности. По мере развития адаптированности к условиям дефицита кислорода во внешней среде выраженность данных реакций постепенно снижалась, свидетельствуя о переходе метаболизма на новый качественный уровень, способствующий повышению резистентности организма к гипоксии. В течение 5 сут после окончания герметизации исследуемые показатели обмена веществ практически восстановились до исходных значений. Полученные данные подтверждают допустимость формирования подобных сред на обитаемых гермообъектах, в частности пл, для повышения их пожаробезопасности.

Ключевые слова: морская медицина, пожаробезопасность гермообъектов, аргоносодержащая гипоксическая газовая среда, метаболизм.

METABOLIC CHANGES IN HUMANS UPON LONG-TERM CONTAINMENT IN AN ARGON-BASED HYPOXIC GAS MIXTURE

¹Andrey O. Ivanov, ¹Vasiliy A. Petrov, ²Eduard N. Bezkishkiy, ³Andrey Yu. Yeroshenko, ³Nikolay V. Kochubeychik, ⁴Anton A. Ivanov

¹Association of Developers and Manufacturers of Monitoring Systems, St. Petersburg, Russia

²S. O. Makarov State University of Marine and Riverine Fleet, St. Petersburg, Russia

³Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

⁴Medical service of the frigate «Admiral Kasatonov», Severomorsk, Russia

The objective of the present study was an in-depth assessment of the main human metabolic parameters upon long-term (60 days) containment in a normobaric argon-based hypoxic gas mixture (AHGM) for checking the possibility

to develop gas media able to reduce the risk of ignitions and fires in inhabited sealed objects, such as submarines. Study group included six male subjects aged 20 to 51 years and found to be fit for sea trips lasting for up to 90 days. Continuing containment in the test medium comprising 30–35% V/V argon, 13,3–14,5% V/V oxygen, and up to 0,8% V/V, the rest being nitrogen, lasted for 60 days. During this time the subject were engaged in typical physical activities and operator routines. Venous blood samples were taken before, every 15 days in the course of, and 5 days after containment. This regimen has been found to be associated with the gradual accumulation of under-oxidized products of carbohydrate, protein and cholesterol metabolism in the blood and with increasing atherogenicity index. Adaptation to this regimen was manifested as decreases in the magnitudes of the above changes suggesting that metabolism may be tuned to increase body tolerance to hypoxia. Within 5 days after containment, virtually complete normalization of parameters studied was observed. The data confirm that it is possible to make gas mixtures for improving fire safety of inhabited sealed objects, in particular submarines.

Key words: marine medicine, fire safety, sealed objects, argon-based hypoxic gas mixture, metabolism.

Для цитирования: Иванов А.О., Петров В.А., Безкишкий Э.Н., Ерошенко А.Ю., Кочубейник Н.В., Иванов А.А. Особенности изменений метаболизма человека при длительной герметизации в аргоносодержащей гипоксической газовой среде // *Морская медицина*. 2018. № 2. С. 7–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-2-7-14>

Введение. Одним из перспективных направлений повышения пожаробезопасности герметичных обитаемых объектов, в частности подводных лодок (пл), является использование гипоксических газоздушных сред (ГГС), пригодных для дыхания и при этом существенно снижающих вероятность возникновения и развития пожаров и возгораний [1, с. 115; 2, с. 5]. Наиболее частым и простым способом создания таких сред является замещение части кислорода воздуха азотом. Оценка противопожарной эффективности азотсодержащих ГГС показала, что горение основных конструктивных материалов, используемых при строительстве пл, прекращается при содержании кислорода в ГГС менее 13–14% (парциальном давлении ниже 14 кПа) [3, с. 39]. Однако известно, что длительное пребывание человека в таких условиях затруднительно и может приводить к недопустимым нарушениям функционального состояния [4, с. 39]. Одним из вариантов решения проблемы безопасности подобных ГГС для человека явилось формирование их в условиях умеренного (до 0,15 мПа) повышения общего барометрического давления в пл. В этом случае при концентрации кислорода в среде на уровне 13–14% его парциальное давление соответствует «нормоксическим» значениям (около 21 кПа). Проведение испытаний по оценке возможности длительного (до 45 сут) пребывания человека в таких условиях показало отсутствие недопустимых отклонений функционального состояния и работоспособности [5, с. 1]. Однако такое повышение общего барометрического давления, в 1,5 раза

превышающего атмосферное, является недопустимым для большинства оборудования пл, в связи с чем применение данного способа формирования ГГС на пл пока затруднительно.

Авторским коллективом под руководством Б. Н. Павлова [6, с. 369; 7, с. 33] была обоснована концепция о физиологической активности «метаболически индифферентных газов» (гелия, аргона, ксенона) не только при повышенном, но и при нормальном барометрическом давлении. Суть концепции заключается в том, что индифферентные газы прямо влияют на обмен веществ в тканях организма, позволяя существенно повысить их устойчивость к гипоксии. Основываясь на данной концепции, авторы предложили при формировании пожаробезопасных ГГС заместить часть азота инертным газом. Однако единственно возможным для решения проблемы создания таких ГГС в гермообъемах оказалось использование в составе газовой среды избыточного содержания аргона, являющегося одним из компонентов атмосферного воздуха, где его концентрация составляет около 0,9% (примерно 1 кПа).

В экспериментальных исследованиях и работах с участием человека доказано наличие антигипоксического эффекта аргона при его добавлении в ГГС, что было подтверждено при непрерывном (до 10 сут) нахождении испытуемых в подобных средах [7, с. 37; 8, с. 20]. На основании полученных результатов, для повышения пожарной безопасности гермообъектов, в частности пл, авторами была рекомендована ГГС, состоящая из 14% об кислорода, 53% об азота и 33% об аргона. Данная ГГС, по предположению указанных

авторов, не окажет существенного негативного влияния на организм специалистов и при более длительной экспозиции, что, однако, нуждалось в обязательной дополнительной проверке.

Исходя из вышеизложенного, нами были проведены исследования по оценке влияния на человека длительного (в течение 60 сут) непрерывного пребывания в заданных аргоносодержащих ГГС (АрГГС). Общим итогом этих работ явилось заключение об отсутствии недопустимых нарушений со стороны функционального состояния и работоспособности всех участников испытаний [9, с. 7; 10, с. 13].

Цель: углубленная оценка динамики основных показателей метаболизма человека при длительной (60 сут) герметизации в нормобарической аргоносодержащей гипоксической газовой среде (АрГГС), снижающей пожароопасность гермообъектов, преимущественно подводных лодок.

Материалы и методы. Тип проведенного исследования — проспективное когортное. Исследования проводились в 2014–2015 гг. на базе испытательного стенда (ИС) АО «АСМ» (Санкт-Петербург). Конструкция ИС позволяла моделировать заданные нормобарические АрГГС в замкнутом объеме, а также обеспечивать возможность длительного непрерывного пребывания и выполнения работ в них испытателей-добровольцев. Исследования проведены с участием 6 мужчин в возрасте 25–30 лет (5 человек) и 51 года (1 человек). Отбор добровольцев для участия в исследованиях проводился с учетом ряда критериев: необходимый уровень состояния здоровья (годность к выходу в море на пл до 3 мес); достаточный уровень функциональных возможностей организма, позволяющий выполнять физические, умственные и другие нагрузки; высокая мотивация к участию в испытаниях; добровольное информированное согласие на участие в испытаниях.

В течение всего периода герметизации в помещениях ИС формировались следующие заданные параметры АрГГС: содержание кислорода 13–14% об, аргона 30–35% об, диоксида углерода 0,03–0,8% об, азот — остальное, при нормальных величинах атмосферного давления и других параметров микроклимата. Длительность периода герметизации составляла 60 сут, в течение которого испытатели выполняли рабочую программу, заключающуюся в ежедневном моделировании деятельности интеллектуального или операторского содержания (работа

на тренажерах), а также интенсивных разно-модальных физических нагрузок (силовая подготовка, велотренажер, индивидуальные специальные программы физических упражнений и т.д.). Общая продолжительность ежедневных работ и занятий составляла около 4 ч в сутки. Как правило, еще около 3–4 ч в сутки занимали функциональные обследования. Кроме этого, были организованы посменные круглосуточные дежурства. Таким образом, повседневная деятельность участников испытаний была приближена к реальной деятельности персонала гермообъектов.

В течение периода наблюдения у всех испытуемых проводились этапные комплексные исследования функционального состояния и работоспособности. Одним из направлений этих исследований явилась оценка динамики показателей метаболизма белков, жиров и углеводов, определяемых в сыворотке крови. Результаты этих исследований будут представлены в данной работе.

Отбор проб венозной крови испытуемых проводили натоцкак с использованием всех правил асептики и антисептики. Гематологические исследования выполнялись в Северо-Западном центре доказательной медицины (Санкт-Петербург) с использованием стандартных методик на автоматизированных биохимических анализаторах.

Первичное (фоновое) гематологическое исследование проводилось в течение нескольких дней, перед началом испытаний. Контрольные исследования на этапе герметизации осуществлялись примерно через каждые 14–15 дней пребывания испытателей в АрГГС. Заключительное обследование выполнено на 5-е сутки после окончания герметизации.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась согласно существующим требованиям. Сравнение данных в динамике наблюдения проводилось с использованием Т-критерия Вилкоксона. Результаты в таблицах представлялись в виде медиан (Me), 1-го и 3-го квартилей (Q25, Q75). Как статистически значимые принимались различия при уровне значимости $p < 0,05$. Анализ и обработку материала производили с использованием пакетов прикладных программ «STATISTICA», v. 10.0 для «Windows-8», «Microsoft Excel».

Исследования были организованы и проведены в соответствии с положениями и принципами действующих международных и рос-

сийских законодательных актов, в частности, с Хельсинской декларацией 1964 г. с учетом ее пересмотров 1983 и 2013 гг. Легитимность исследований подтверждена заключением независимого этического комитета при Северном государственном медицинском университете.

Результаты и их обсуждение. Основным итогом проведенных исследований явилось выполнение всеми испытуемыми запланированных заданий и работ. В процессе герметизации отсутствовали случаи соматических заболеваний (в том числе гнойничковых, простудных,

ное пребывание в заданных АрГТС приводило не только к определенным изменениям, характерным для формирующегося гипоксического состояния, но и о формировании и включении механизмов компенсации этого гипоксического состояния.

Как следует из результатов, представленных в табл. 1, при первичном обследовании участников экспериментальных исследований основные показатели, характеризующие метаболизм углеводов и белков, находились в пределах референтных значений, за исключением

Таблица 1

Показатели углеводного и белкового обмена сыворотки крови испытуемых (n=6) на этапах контрольных исследований, Me (Q25; Q75)

Table 1

Indicators of carbohydrate and proteinaceous exchange of serum of blood of testers (n=6) at stages of control researches, Me (Q25; Q75)

Этап обследования	Показатель, ед. изм. (референтные значения)					
	глюкоза, ммоль/л (4,1–5,9)	лактат, ммоль/л (0,5–2,22)	общий белок, г/л (66–82)	мочевина, ммоль/л (2,81–7,21)	мочевая кислота, мкмоль/л (208–429)	креатинин, мкмоль/л (74–109)
1-й этап (первичное обследование)	4,88 (4,27; 5,27)	2,35 (1,88; 2,68)	72,0 (71,1; 72,9)	4,08 (3,90; 4,26)	360 (332; 415)	87,3 (81,8; 92,2)
2-й этап (16-е сутки герметизации)	5,14 (4,65; 5,23)	3,45 (2,92; 4,22) p=0,029	70,9 (69,3; 74,5)	3,55 (3,46; 3,99)	398 (372; 441)	94,7 (84,9; 103,9)
3-й этап (30-е сутки герметизации)	5,11 (5,05; 5,34)	4,68 (3,95; 5,16) p=0,014	71,0 (67,4; 75,0)	4,41 (3,93; 5,28)	459 (440; 501) p=0,034	102,0 (98,1; 105,2) p=0,025
4-й этап (45-е сутки герметизации)	4,77 (4,49; 5,03)	3,46 (3,04; 3,86) p=0,027	73,3 (72,1; 73,5)	4,89 (3,93; 5,45)	432 (406; 490) p=0,044	96,9 (89,9; 101,4) p=0,049
5-й этап (59-е сутки герметизации)	4,64 (4,58; 4,78)	2,90 (2,83; 3,04)	73,9 (70,3; 75,4)	5,15 (4,25; 5,35)	432 (338; 443) p=0,047	97,1 (89,6; 108,0) p=0,045
6-й этап (5-е сутки после герметизации)	5,04 (4,37; 5,29)	2,29 (1,97; 2,58)	71,0 (68,7; 72,7)	4,82 (4,45; 5,08)	409 (404; 426)	87,9 (84,4; 103,7)

Примечание. Здесь и в табл. 2: p — уровень значимости различий показателей по сравнению с 1-м этапом.

стоматологических, гастроэнтерологических, т.е. наиболее часто имеющих место в условиях автономных плаваний), психоэмоциональных отклонений, снижения мотивации к продолжению программы испытаний. Также важнейшим итогом выполненной работы явилось отсутствие недопустимого снижения физической и умственной работоспособности в течение всего периода испытаний. Указанные результаты подробно описаны нами в предыдущих публикациях и доложены на научно-практических конференциях [9, с. 3; 10, с. 9; 11, с. 1481; 12, с. 217].

Исследования состояния основных обменных процессов у испытуемых показали, что длитель-

содержания лактата, несколько превышавшего верхнюю границу нормы у 2 испытуемых. По всей видимости, данный факт был обусловлен особенностями режима физической активности и питания и не был расценен нами как противопоказание к участию в испытаниях.

Контрольные обследования, проведенные во время герметизации, показали, что у всех добровольцев имело место увеличение содержания лактата в крови без существенной динамики со стороны концентрации глюкозы. Пиковые значения уровня молочной кислоты зафиксированы примерно к середине испытаний (30-е сутки), когда величины данного параметра пре-

вышали исходные примерно в 2–2,5 раза ($p=0,014$). Однако на последующих этапах испытаний содержание лактата у всех обследованных лиц постепенно снижалось, так что на заключительном (5-м) этапе герметизации значимых различий по сравнению с первичным обследованием не регистрировалось.

Примерно аналогичная динамика оказалась характерной и для показателей белкового обмена. В частности, достоверные колебания уровня общего белка и мочевины в сыворотке крови отсутствовали, находясь в течение всего периода испытаний в рамках референтных значений.

В то же время имело место прогрессирующее нарастание таких продуктов катаболизма белка, как креатинин и мочева кислота, концентрации которых (так же, как и лактата) достигали пика примерно к середине испытаний. При этом, если концентрация креатинина даже при максимальном приросте у всех испытуемых не выходила за верхние границы нормы, то уровень мочевины на данном этапе наблюдения (30-е сутки) превышал таковой у всех обследованных. При этом на поздних сроках герметизации (примерно с 45-х суток) отмечалось постепенное снижение уровня мочевины в крови, что привело к нормализации показателя у 3 из 6 обследованных к окончанию испытаний.

Перечисленные факты в целом корреспондируют с результатами других подобных исследований [11, с. 174; 12, с. 262] и, на наш взгляд, обусловлены компенсаторным увеличением активности анаэробных механизмов энергообеспечения клеток, связанным с хронической кислородной недостаточностью, что привело к повышению содержания в циркулирующей крови недоокисленных продуктов обмена веществ. При этом недопустимых явлений метаболического ацидоза, судя по параллельно оцениваемым показателям кислотно-основного состояния крови (не представлено в таблице), в течение всего периода исследования ни у одного из испытуемых не выявлено. Данный факт мы рассматривали как свидетельство эффективности и сохранности работы буферных систем организма, позволивших нейтрализовать избыточную кислотность поступающих в кровь клеточных катаболитов.

Важно отметить, что уже через 5 дней после окончания испытаний изменения содержания в крови продуктов белкового и углеводного обмена, выявленные во время пребывания

в условиях АрГГС, стали уменьшаться, т.е. выявилась явная тенденция к нормализации обмена веществ. Данный факт, по нашему мнению, является свидетельством сохранности реадaptационных механизмов организма испытуемых и обратимости имевших место сдвигов метаболизма углеводов и белков реакций и, следовательно, допустимости длительного непрерывного пребывания человека в условиях АрГГС с заданными параметрами.

Ряд схожих закономерностей зафиксирован также и со стороны динамики показателей жирового обмена (табл. 2). Так, у всех испытуемых примерно к середине периода герметизации выявлены однонаправленные сдвиги, заключавшиеся в умеренном (на 5–20% от исходного уровня) повышении содержания общего холестерина, триглицеридов, изменениях соотношений фракций липопротеидов, приводящих к повышению коэффициента атерогенности липидов, содержащихся в крови. Данный факт мы рассматривали как один из характерных сдвигов метаболизма, являющихся следствием пребывания неадаптированного к гипоксии человека в условиях дефицита кислорода.

Известно, что повышение общего холестерина, триглицеридов, изменение соотношения фракций липопротеидов является неспецифическим ответом организма на длительно действующий возмущающий фактор и обусловлено участием данных веществ в синтезе так называемых гормонов «стресса и адаптации», формировании клеточных мембран [15, с. 215].

Происходящее по мере развития срочных адаптационных структурно-функциональных сдвигов в организме испытуемых постепенное снижение стрессогенности воздействия сопровождалось уменьшением концентрации холестерина и триглицеридов, редукцией коэффициента атерогенности. При этом у 4 из 6 обследованных лиц к моменту окончания испытаний перечисленные показатели уже находились в рамках референтных значений. У остальных 2 человек, у которых исходные (до начала испытаний) показатели коэффициента атерогенности превышали нормативные величины, также отмечено снижение данных параметров (по сравнению с начальным этапом испытаний), приведшее практически к достижению фонового их уровня.

Заключение. Таким образом, выявленные в исследовании факты, на наш взгляд, отражают закономерности адаптационно-приспосо-

Таблица 2

Показатели липидного обмена испытателей (n=6) в динамике наблюдения [Ме (Q25; Q75)]

Table 2

Indicators of lipidic exchange of testers (n=6) in dynamics of observation [Ме (Q25; Q75)]

Этап обследования	Показатель, ед. изм. (референтные значения)					
	холестерин общий, ммоль/л (до 5,2)	триглицериды, ммоль/дл (до 1,7)	липиды низкой плотности, ммоль/л (до 3,3)	липиды высокой плотности, ммоль/л (от 1,03)	липиды очень низкой плотности, ммоль/л (до 0,7)	коэффициент атерогенности, отн. ед. (до 3,5)
1-й этап (первичное обследование)	4,95 (4,29; 6,29)	1,55 (1,07; 2,29)	3,24 (2,49; 4,24)	1,33 (1,08; 1,42)	0,51 (0,39; 0,82)	3,21 (1,98; 4,82)
2-й этап (16-е сутки герметизации)	5,00 (4,13; 6,86)	1,19 (0,99; 1,25)	3,36 (2,59; 5,15)	1,23 (1,09; 1,36)	0,37 (0,32; 0,62)	2,96 (2,63; 4,95)
3-й этап (30-е сутки герметизации)	5,35 (4,17; 7,65) p=0,042	1,50 (1,25; 2,06)	3,70 (2,61; 4,22) p=0,045	1,09 (1,06; 1,19)	0,44 (0,35; 0,72)	3,75 (2,87; 4,13)
4-й этап (44-е сутки герметизации)	4,98 (4,07; 5,92)	1,46 (1,34; 1,88)	3,59 (2,96; 5,60)	1,27 (1,15; 1,33)	0,48 (0,43; 0,84)	3,22 (2,73; 5,32)
5-й этап (59-е сутки герметизации)	4,99 (4,11; 6,49)	1,43 (1,14; 2,45)	3,42 (2,78; 4,90)	1,29 (1,15; 1,37)	0,46 (0,36; 0,55)	3,20 (2,96; 4,13)
6-й этап (5-е сутки после герметизации)	4,81 (4,43; 6,64)	0,90 (0,80; 1,29) p=0,046	3,36 (2,62; 4,87)	1,37 (1,14; 1,46)	0,35 (0,24; 0,53) p=0,025	3,11 (2,35; 4,49)

бительных реакций человека при относительно длительном, непрерывном пребывании в условиях выраженного недостатка кислорода. Общая структура изменений метаболизма в начальном периоде пребывания в ГГС заключается в накоплении недоокисленных продуктов обмена углеводов и белков, гиперхолестеринемии, повышении коэффициента атерогенности. Однако по мере развития адаптированности к особым условиям обитаемости выраженность данных реакций постепенно

снижается, свидетельствуя о «переходе» метаболизма на новый качественный уровень. В целом, проведенные исследования подтвердили сформулированное нами [9, с. 8; 10, с. 14] и другими авторами [6, с. 378; 8, с. 21] заключение о допустимости пребывания человека в подобных АрГГС, использование которых в герметизируемых обитаемых объектах, в частности подводных лодках, поможет существенно снизить риск пожаров и возгораний «без существенного снижения боеготовности экипажа».

Литература

1. Чумаков В.В. Альтернативные подходы к решению проблемы предотвращения пожаров в герметично замкнутых объемах // *Обитаемость кораблей. Обеспечение радиационной и токсикологической безопасности. Материалы Межотраслевой науч.-практ. конф. «Кораблестроение в XXI веке: проблемы и перспективы» (ВОКОР-2014)*. СПб., 2014. С. 115–118.
2. Архипов А.В., Карпов А.В., Смуров А.В., Чумаков В.В. Обеспечение пожаробезопасности на подводных лодках // *Морской сборник*. 2013. № 3. С. 2–7.
3. Петров В.А., Иванов А.О. Перспективные пути повышения пожарной безопасности энергонасыщенных обитаемых герметичных объектов // *Безопасность жизнедеятельности*. 2017. № 10. С. 37–39.
4. Ван Лир Э., Стикней К. *Гипоксия*: пер. с англ. М.: Медицина, 1967. 368 с.
5. *Способ создания условий для жизнедеятельности человека в гермообъекте*: пат. № 2138421 Рос. Федерация МПК В63С11/00, В63С11/36 от 14.12.95 // Шараевский Г.Ю., Сухоруков В.С., Чумаков В.В., Гребеник М.А., Семко В.В., Илюхин В.Н., Ласточкин Г.И., Бардышева О.Ф.; заявитель и патентобладатель войсковая часть 27177. № 95121059/28; заявл. 14.12.1995, опубл. 27.09.1999.
6. Павлов Б.Н., Смолин В.В., Баранов В.М., Соколов Г.М., Куссмауль А.Р., Павлов Н.Б., Шереметова Н.Н., Тугушева М.П., Жданов В.Н., Логунов А.Т., Потапов В.Н. *Основы барофизиологии, водолазной медицины, баротерапии и лечения инертными газами* / под ред. А. И. Григорьева. М.: Грант Полиграф, 2008. 494 с.

7. Павлов Б.Н., Солдатов П.Э., Дьяченко А.И. Выживаемость лабораторных животных в аргонсодержащих гипоксических средах // *Авиационная и экологическая медицина*. 1998. Т. 32, № 4. С. 33–37.
8. Павлов Б.Н., Буравкова Л.Б., Смолин В.В., Соколов Г.М. Кислородно-азотно-аргоновая газовая среда при длительном пребывании человека в барокамере при избыточном давлении // *Морской медицинский журнал*. 1999. № 2. С. 18–21.
9. Иванов А.О., Петров В.А., Бочарников М.С., Безкишкий Э.Н. Исследование возможности длительного пребывания человека в аргонсодержащих газовых средах, снижающих пожароопасность гермообъектов // *Экология человека*. 2017. № 1. С. 3–8.
10. Иванов А.О., Петров В.А., Безкишкий Э.Н., Гудков А.Б., Ерошенко А.Ю., Грошилин С.М. Оценка отдаленных последствий длительного непрерывного пребывания человека в аргонсодержащей гипоксической газовой среде // *Экология человека*. 2017. № 6. С. 9–14.
11. Петров В.А., Иванов А.О., Безкишкий Э.Н., Ерошенко А.Ю., Грошилин С.М. Функциональное состояние человека при длительной герметизации в гипоксических аргонсодержащих средах, повышающих пожаробезопасность обитаемых гермообъектов // *Материалы XXIII съезда физиологического общества им. И. П. Павлова*. Воронеж: Истоки, 2017. С. 1481–1483.
12. Петров В.А., Иванов А.О., Безкишкий Э.Н., Яцук А.Е. Результаты исследований возможности длительного непрерывного пребывания человека в искусственных газоздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов // *Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы медико-санитарного обеспечения деятельности объектов морской техники, предприятий с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также экологического благополучия территорий, обслуживаемых федеральным медико-биологическим агентством, посв. 50-летию ФГУП «НИИ ПММ ФМБА»*. СПб., 2017. С. 217–225.
13. Алекперов И.М., Плахов Н.Н. Роль неспецифической физической тренировки в повышении функциональных резервов организма моряков при адаптации их в условиях плавания к низким широтам // *Актуальные вопросы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2015. № 3. С. 170–174.
14. Плахов Н.Н., Буйнов Л.Г., Макарова Л.П. Функциональное состояние организма моряков-операторов в плавании // *Гигиена и санитария*. 2017. Т. 96, № 3. С. 261–264.
15. *Биохимия* / под ред. Е.С. Северина. М.: Медицина, 2003. 782 с.

References

1. Chumakov V.V. Al'ternativnye podhody k resheniyu problemy predotvrashcheniya pozharov v germetichno zamknutykh ob'edah. *Obitaemost' korablej. Obespechenie radiacionnoj i toksikologicheskoy bezopasnosti. Materialy Mezhotraslevoj nauch.-prakt. konf. «Korablestroenie v XXI veke: problemy i perspektivy» (VOKOR-2014)*. Saint-Petersburg, 2014, pp. 115–118.
2. Arhipov A.V., Karpov A.V., Smurov A.V., Chumakov V.V. Obespechenie pozharobezopasnosti na podvodnykh lodkah. *Morskoy sbornik*, 2013, No. 3, pp. 2–7.
3. Petrov V.A., Ivanov A.O. Perspektivnye puti povysheniya pozharnej bezopasnosti ehnergonasyschennykh obitaemykh germetichnykh ob'ektov. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2017, No. 10, pp. 37–39.
4. Van Lir Eh., Stiknej K. Gipoksiya: per. s angl. Moscow: Izdtel'stvo Medicina, 1967, 368 p.
5. *Sposob sozdaniya uslovij dlya zhiznedeyatel'nosti cheloveka v germoob'ekte*: pat. № 2138421 Ros. Federaciya MPK B63C11/00, B63C11/36 ot 14.12.95 // Sharaevskij G.Yu., Suhorukov V.S., Chumakov V.V., Grebenik M.A., Semko V.V., Ilyuhin V.N., Lastochkin G.I., Bardysheva O.F.; zayavitel' i patentobladatel' vojskovaya chast' 27177. № 95121059/28; zayavl. 14.12. 1995, opubl. 27.09.1999.
6. Pavlov B.N., Smolin V.V., Baranov V.M., Sokolov G.M., Kussmaul' A.R., Pavlov N.B., SHERemetova N.N., Tugusheva M.P., Zhdanov V.N., Logunov A.T., Potapov V.N. *Osnovy barofiziologii, vodolaznoj mediciny, baroterapii i lecheniya inertnyimi gazami* / pod red. A.I. Grigor'eva. Moscow: Izdtel'stvo Grant Poligraf, 2008, 494 p.
7. Pavlov B.N., Soldatov P.Eh., D'yachenko A.I. Vyzhivaemost' laboratornykh zhivotnykh v argonsoderzhashchih gipoksicheskikh sredah. *Aviacionnaya i ehkologicheskaya medicina*, 1998, Vol. 32, No. 4, pp. 33–37.
8. Pavlov B.N., Buravkova L.B., Smolin V.V., Sokolov G.M. Kislородно-азотно-аргоновая газовая среда при длител'nom prebyvanii cheloveka v barokamere pri izbytochnom davlenii. *Morskoy medicinskij zhurnal*, 1999, No. 2, pp. 18–21.
9. Ivanov A.O., Petrov V.A., Bocharnikov M.S., Bezkishkij Eh.N. Issledovanie vozmozhnosti dlitel'nogo prebyvaniya cheloveka v argonosoderzhashchih gazovykh sredah, snizhayushchih pozharoopasnost' germoob'ektov. *Ehkologiya cheloveka*, 2017, No. 1, pp. 3–8.

10. Ivanov A.O., Petrov V.A., Bezkishkij Eh.N., Gudkov A.B., Eroshenko A.Yu., Groshilin S.M. Ocenka otdalennykh posledstvij dlitel'nogo nepreryvnogo prebyvaniya cheloveka v argonosoderzhashchej gipoksicheskoj gazovoj srede. *Ehkologiya cheloveka*, 2017, No. 6, pp. 9–14.
11. Petrov V.A., Ivanov A.O., Bezkishkij Eh.N., Eroshenko A.Yu., Groshilin S.M. Funkcional'noe sostoyanie cheloveka pri dlitel'noj germetizatsii v gipoksicheskikh argonosoderzhashchih sredah, povyshayushchih pozharobezопасnost' obitaemykh germoob'ektov. *Materialy XXIII s'ezda fiziologicheskogo obshchestva im. I. P. Pavlova*. Voronezh: Izdatel'stvo Istoki, 2017, pp. 1481–1483.
12. Petrov V.A., Ivanov A.O., Bezkishkij Eh.N., Yacuk A.E. Rezul'taty issledovaniy vozmozhnosti dlitel'nogo nepreryvnogo prebyvaniya cheloveka v iskusstvennykh gazovozdushnykh sredah, snizhayushchih pozharoopasnost' germoob'ektov. *Materialy IV Vseros. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy mediko-sanitarnogo obespecheniya deyatel'nosti ob'ektov morskoy tekhniki, predpriyatij s vrednymi i (ili) opasnymi proizvodstvennymi faktorami, a takzhe ehkologicheskogo blagopoluchiya territorij, obsluzhivaemykh federal'nyim mediko-biologicheskim agentstvom, posv. 50-letiyu FGUP „NII PMM FMBA»*. Saint-Petersburg, 2017, pp. 217–225.
13. Alekperov I.M., Plahov N.N. Rol' nespecificheskoj fizicheskoy trenirovki v povyshenii funkcional'nykh rezervov organizma moryakov pri adaptatsii ih v usloviyakh plavaniya k nizkim shirotam. *Aktual'nye voprosy fizicheskoy i special'noj podgotovki silovykh struktur*, 2015, No. 3, pp. 170–174.
14. Plahov N.N., Bujnov L.G., Makarova L.P. Funkcional'noe sostoyanie organizma moryakov-operatorov v plavanii. *Gigiya i sanitariya*, 2017, Vol. 96, No. 3, pp. 261–264.
15. *Biohimiya* / pod red. E. S. Severina. Moscow: Izdatel'stvo Medicina, 2003, 782 p.

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 04.04.2018 г.

Контакт: Иванов Андрей Олегович, ivanoff65@mail.ru

Сведения об авторах:

Иванов Андрей Олегович — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга»; 199034, г. Санкт-Петербург, 17-линия Васильевского острова, д. 4–6; e-mail: ivanoff65@mail.ru;

Петров Василий Александрович — кандидат технических наук, исполнительный директор АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга»; 199034, Санкт-Петербург, 17-я линия Васильевского острова, д. 4–6; e-mail: 79219959911@ya.ru;

Безкишский Эдуард Николаевич — кандидат медицинских наук, начальник медицинской службы ФГБОУ «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»; 198035, Санкт-Петербург, Двинская ул., д. 5/7; e-mail: bez1970@mail.ru;

Ерошенко Андрей Юрьевич — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры организации здравоохранения и общественного здоровья с курсом информационных технологий в здравоохранении и медицине ФГБОУ «Ростовский государственный медицинский университет»; 344022, Российская Федерация, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, д. 29; e-mail: andre-zdrav@mail.ru;

Кочубейник Николай Владимирович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии ФГБОУ «Ростовский государственный медицинский университет»; 344022, Российская Федерация, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, д. 29; e-mail: knv_2010@bk.ru;

Иванов Антон Андреевич — начальник медицинской службы фрегата «Адмирал Флота Касатонов» бригады разнородных сил Северного Флота, старший лейтенант медицинской службы, г. Североморск; Начальник медицинской службы фрегата «Адмирал Флота Касатонов» бригады противолодочных кораблей Кольской флотилии разнородных сил Северного Флота»; 184604, Мурманская обл., г. Североморск, Приморская площадь, д. 1; e-mail: ivanoff91@mail.ru.