

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДУШНЫХ СРЕД, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ОБИТАЕМЫХ ГЕРМООБЪЕКТОВ, НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА

А.О.Иванов<sup>1</sup>, Г.П.Мотасов<sup>1</sup>, А.Ю.Ерошенко<sup>2</sup>, Л.Г.Анистратенко<sup>2</sup>, С.М.Грошили<sup>2</sup>, С.Н. Линченко<sup>3</sup>, С.Э.Бугаян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИИ спасания и подводных технологий Военного учебного научного центра ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г.Кузнецова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Краснодар, Россия

**Резюме.** Цель исследования – сравнительная оценка влияния воздушных сред с различным содержанием кислорода и диоксида углерода, применяющихся для повышения пожаробезопасности обитаемых герметизируемых объектов, на функциональное состояние и работоспособность человека.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании участвовали 20 мужчин-добровольцев в возрасте 21–30 лет, находившихся ежедневно в течение 30 дней по 4 ч в нормобарических воздушных средах измененного состава.

**Результаты исследования и их анализ.** Основным итогом проведенного исследования, кроме подтверждения ранее выявленной возможности периодического пребывания человека и выполнения им работ в подобных пожаробезопасных средах, является определение существенного негативного влияния гиперкапнического фактора даже в допустимых для помещений гермообъектов концентрациях на физиологические резервы организма и физическую работоспособность человека. При сочетании гипоксии и гиперкапнии нежелательные эффекты этих факторов потенцируются, что должно обязательно учитываться при применении пожаробезопасных сред в обитаемых герметизируемых объектах, в которых необходимо усиливать контроль за составом газовой среды, техническими средствами обеспечения регенерации и очистки воздуха, а также за техническими средствами мониторинга газовой среды.

**Ключевые слова:** гиперкапния, гипоксия, обитаемые гермообъекты, пожаробезопасные воздушные среды, функциональное состояние человека

### Конфликт интересов / финансирование

Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов / финансовой поддержки, о которых необходимо сообщить.

**Для цитирования:** Влияние различных воздушных сред, применяемых для снижения пожароопасности обитаемых гермообъектов, на функциональное состояние человека / Иванов А.О., Мотасов Г.П., Ерошенко А.Ю., Анистратенко Л.Г., Грошили С.М., Линченко С.Н., Бугаян С.Э. // Медицина катастроф. 2019. №4. С. 24–28, <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2019-4-24-28>

### Original article

## INFLUENCE ON FUNCTIONAL STATE OF PEOPLE OF DIFFERENT AIR ENVIRONMENTS USED TO REDUCE FIRE HAZARD IN INHABITED HERMETIC OBJECTS

A.O.Ivanov<sup>1</sup>, G.P.Motasov<sup>1</sup>, A.Yu.Eroshenko<sup>2</sup>, L.G.Anistratenko<sup>2</sup>, S.M.Groshilin<sup>2</sup>, S.N.Linchenko<sup>3</sup>, S.Eh.Bugayan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Rescue and Underwater Technologies of the MTSC of the Navy "Naval Academy named after Admiral of the Fleet N.G. Kuznetsov" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> "Rostov State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>3</sup> "Kuban State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnodar, Russian Federation

**Abstract.** The aim of the study – a comparative assessment of the influence on the functional state and performance of people of air environments with different oxygen and carbon dioxide content, used to improve fire safety of inhabited sealed objects.

**Materials and methods of research.** The study involved 20 male volunteers aged 21–30 years, who spent 4 hours daily during 30 days in normobaric air environments of modified composition.

**Research results and their analysis.** The main result of the study, in addition to confirming the previously discovered possibility for man to periodically stay and perform work in fire-safe environments, is to define the significant negative impact of the hypercapnic factor, even in concentrations permissible for the premises of hermetic objects, on the physiological reserves of the body and physical performance of a person. When hypoxia and hypercapnia are combined, the undesirable effects of these factors are potentiated, which must necessarily be taken into account when using fire-safe environments in inhabited sealed objects, in which it is necessary to strengthen control over the composition of the gas environment, technical means of ensuring air regeneration and purification, as well as technical means of monitoring the gas environment.

**Key words:** fireproof air environments, functional state of a person, hypercapnia, hypoxia, inhabited hermetic objects

**Conflict of interest / Acknowledgments.** The authors declare no conflict of interest / The study has not sponsorship.

**For citation:** Ivanov A.O., Motasov G.P., Eroshenko A.Yu., Anistratenko L.G., Groshilin S.M., Linchenko S.N., Bugayan S.Eh. Influence on Functional State of People of Different Air Environments Used to Reduce Fire Hazard in Inhabited Hermetic Objects. *Medicina katastrof=Disaster Medicine*. 2019; 4: 24–28 (In Russ.), <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2019-4-24-28>

**Контактная информация:**

**Иванов Андрей Олегович** – докт. мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник НИИ спасания и подводных технологий Военно-морской академии им. адм. Н.Г.Кузнецова»

**Адрес:** Россия, 189412, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, 4

**Тел.:** +7 (812) 422-37-37

**E-mail:** ivanoff65@mail.ru

**Contact information:**

**Andrey O. Ivanov** – Dr. habil. in Medicine, Professor, Senior Research Scientist of Research Institute of Rescue and Underwater Technologies

**Address:** Russia, 4, Ulica Morskaya, Lomonosov Town, St. Petersburg, 189412

**Phone:** +7 (812) 422-37-37

**E-mail:** ivanoff65@mail.ru

В настоящее время развитие сложной военной техники, в частности, герметизируемых обитаемых объектов (ГОО), характеризуется противоречием между нарастающим техническим (энергетическим, боевым) потенциалом объектов и возможностями личного состава по их эффективной и безопасной эксплуатации [1, 2]. Крайне актуален постоянный поиск путей снижения рисков возникновения нештатных ситуаций и аварий на ГОО, в том числе связанных с возгораниями и пожарами, сопровождающимися наиболее тяжелыми последствиями (человеческие потери, материальный и финансовый ущерб) [3, 4].

Один из путей обеспечения пожарозащищенности ГОО – создание в их помещениях пригодных для дыхания гипоксических газовых сред (ГГС), т.е. сред с пониженным относительно нормального (20,9% об.) содержанием кислорода при нормальном или повышенном давлении [3–6]. Технологически освоенным и уже применяемым на современных ГОО способом создания ГГС является замещение части кислорода азотом при поддержании нормального барометрического давления. Оценка противопожарной эффективности таких «нормобарических» азотных ГГС (НГГС) показала, что при концентрации кислорода 16–17% об. (НГГС-16-17) самоподдерживающееся горение прекращается и очаг пожара локализуется, т.е. горение происходит только в области интенсивного подвода тепловой энергии и не распространяется за ее пределы [4]. Данный факт послужил основанием для проверки гипотезы допустимости пребывания персонала ГОО в подобных измененных условиях воздушной среды.

Исследования влияния НГГС-16-17 на функциональное состояние и работоспособность человека показали, что при 4–5-часовой ежедневной экспозиции подобных условий в течение 60 сут у неадаптированных к гипоксии добровольцев отсутствовали негативные, превышающие пределы «норм-реакций», отклонения субъективного статуса, физиологических, психофизиологических лабораторных, биохимических, иммунологических параметров [7, 8]. На основании этих и других данных были сформулированы предварительные выводы о допустимости создания подобных НГГС-16-17 в периодических посещаемых энергонасыщенных помещениях ГОО для повышения их пожарозащищенности.

В то же время остается открытым вопрос о влиянии циклического пребывания человека в НГГС-16-17 в случае допустимого для некоторых ГОО повышения концентрации в воздухе диоксида углерода до 0,8–1%. В условиях гипоксии-гиперкапнии воздействие негативных эффектов указанных факторов на организм может усиливаться, что повышает риск возникновения недопустимых изменений в функциональном состоянии и работоспособности персонала ГОО, работающего в таких условиях [9].

**Цель исследования** – оценка влияния нормобарических воздушных сред с различным содержанием кислорода и диоксида углерода на функциональное состояние и работоспособность человека.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проведены с участием 20 мужчин-добровольцев в возрасте 21–30 лет, не имевших медицинских противопоказаний

к тяжелым работам и работам с вредными и/или опасными условиями труда (приказ Минздравсоцразвития России от 12 апреля 2011 г. №302н) и подписавших добровольное информированное согласие на включение в группу добровольцев. Критерий исключения – невозможность выполнения добровольцем запланированных работ и обследований в полном объеме в связи с любой причиной. Лица, отобранные для участия в исследованиях, были разделены на 3 группы таким образом, чтобы не было значимых межгрупповых различий по анамнестическим данным и оцениваемым параметрам функционального состояния. Все добровольцы – студенты вузов Санкт-Петербурга или Ростова-на-Дону.

У добровольцев, включенных в 1-ю группу (6 чел.), оценивалось влияние на их функциональное состояние периодического (4 ч в день в течение 30 дней) пребывания в условно замкнутом помещении (стенде) с НГГС-16 при концентрации  $CO_2$ , не превышавшей 0,3–0,5%. У лиц 2-й группы (6 чел.) моделировалось влияние на организм НГГС-17 при содержании  $CO_2$  около 0,8–1%; график воздействий был такой же, как в 1-й группе. Члены 3-й группы (контрольная группа, 8 чел.) периодически (по этой же схеме) находились в условно замкнутом помещении, где создавалась нормоксическая нормобарическая среда с концентрацией  $CO_2$ , повышенной до 0,8–1,0%.

В течение всего периода циклической «герметизации» добровольцы выполняли умственную (операторскую) или физическую работу по специально разработанным программам, которые по уровню интенсивности примерно соответствовали работе персонала ГОО.

Все добровольцы ежедневно – перед началом каждого воздействия («герметизации») и после его окончания – проходили медицинские осмотры, где оценивался субъективный статус, наличие признаков респираторных инфекций и другой острой патологии, регистрировались показатели системного кровообращения. В течение всего периода пребывания в измененных условиях воздушной среды испытуемые находились под врачебным наблюдением. При «герметизации» с периодичностью примерно 1 раз в неделю проводились контрольные функциональные обследования. В обычных условиях аналогичные обследования выполнялись за 4–5 дней до начала цикла воздействий (исходное состояние) и через 2 дня после его окончания.

Изменение субъективного статуса добровольцев при циклическом пребывании в заданных условиях оценивали с использованием «шкалы самочувствия». Обследуемый оценивал свое самочувствие по 5-балльной шкале (от 0 – жалоб нет до 5 – максимальная выраженность негативных ощущений), предъявляемой в виде обратной стороны 5-сантиметровой линейки. В случае наличия соматических жалоб добровольцу предлагалось их описать.

Устойчивость организма к транзитной гипоксии как одну из характеристик объема физиологических резервов (ОФР) организма определяли при помощи проб с произвольной максимальной задержкой дыхания (с) на вдохе (Штанге) и выдохе (Генча) [10].

С использованием стандартизированного теста PWC<sub>170</sub> («Physical Working Capacity»), реализованного на велоэргометрических комплексах «Schiller» (Швейцария) или «Охусон Про» (Голландия), оценивали аэробную выносливость обследуемых, также напрямую характеризующую ОФР [10]. Для оценки особенностей метаболических изменений при физической работе сразу после прекращения проб PWC<sub>170</sub> в капиллярной крови определяли уровень лактата на автоматическом анализаторе «GEM Premier 3000» (США).

Умственная работоспособность добровольцев оценивалась с использованием методики «Маршрут» [11]. Во время тестирования на экране компьютера в течение 4 с демонстрировались координаты исходной точки в трехмерном пространстве, которые необходимо было запомнить. Затем предъявлялся «маршрут» движения – трёхшаговый, каждый «шаг» равен 1 – этой точки. В итоге выполнения каждого из 15 заданий нужно было указать конечные координаты точки. В связи с высокой сложностью теста все добровольцы сначала тренировались в его выполнении до получения стабильных результатов.

Эффективность выполнения теста оценивалась по интегральному показателю успешности (ИПУ), вычисляемому по формуле:

$$\text{ИПУ (у. е.)} = 17 - (E_r + 0,01 T),$$

где 17 – эмпирический коэффициент; E<sub>r</sub> – количество (абс. ед.) ошибочных решений; T – время (с), затраченное на выполнение 15 задач

Статистическую обработку выполняли на п.п.п. «Statistica». Результаты представлялись в виде медиан (Me) и квартилей (Q<sub>25</sub>; Q<sub>75</sub>). Оценку значимости различий проводили по критериям Вилкоксона и Манна – Уитни. Нулевая гипотеза об отсутствии различий отвергалась при уровне значимости p < 0,05.

Исследования были организованы в соответствии с положениями и принципами действующих международных и российских законодательных актов, в частности Хельсинкской декларации.

**Результаты исследования и их анализ.** Анализ результатов первичного клинко-функционального обследования, проведенного в обычных условиях воздушной среды, выявил, что все добровольцы не имели отклонений со стороны исследуемых параметров и функций, не предъявляли стойких и выраженных жалоб на самочувствие. При этом у большинства из них выявлен средний уровень: устойчивости к транзиторной гипоксии – пробы с задержкой дыхания; аэробной выносливости – тест PWC<sub>170</sub>; умственной работоспособности – тест «Марш-

рут». Статистический анализ показал, что ни по одному из оцениваемых критериев значимых межгрупповых различий не определялось, что свидетельствовало о корректном распределении добровольцев по группам сравнения и возможности получения достоверной информации в ходе запланированных исследований.

Общим итогом их проведения явился тот факт, что все добровольцы смогли выполнить задачи по циклическому пребыванию и выполнению предписанных работ в заданных измененных условиях воздушной среды.

Врачебный контроль функционального состояния добровольцев в ходе проведения исследований показал отсутствие недопустимых стойких тенденций со стороны субъективного и объективного статуса несмотря на наличие специфических реакций организма на измененные условия воздушной среды. Имевшее место увеличение выраженности соматических жалоб при «герметизации» было, в основном, связано с субъективными проявлениями, описываемыми как «легкое головокружение», «ощущение тяжести в голове», «необычность состояния», «учащение дыхания», «желание глубоко вдохнуть», «легкая заторможенность», «сонливость» (табл. 1).

Характерно, что степень выраженности перечисленных жалоб на этапах «герметизации» была значимо большей (p < 0,05) во 2-й и 3-й группах по сравнению с 1-й, между 2-й и 3-й – достоверно не различалась. Следовательно, ухудшение субъективного статуса обследованных при пребывании в измененных средах было обусловлено: в большей степени – специфическим влиянием гиперкапнического стимула; в меньшей степени – гипоксией. Отмеченные тенденции к снижению выраженности субъективного дискомфорта по мере продолжения исследований у лиц 1-й (в большей степени) и 2-й групп, по всей видимости, связаны с формирующейся первичной адаптацией к гипоксии. При этом в контрольной группе подобной динамики показателя не наблюдалось, что, возможно, свидетельствует о большей сложности адаптации к гиперкапническим условиям по сравнению с гипоксическими. По нашему мнению, данные факты следует обязательно учитывать при контроле параметров обитаемости ГОО и, в особенности, в помещениях с гипоксической пожаробезопасной средой. Заключительное обследование показало отсутствие во всех группах негативных отклонений субъективного статуса по сравнению с исходным состоянием, что свидетельствует о нормальном течении процесса реадaptации к обычным условиям жизнедеятельности.

В табл. 2 представлена динамика показателей функциональных проб, выполненных участниками исследования на контрольных этапах наблюдения. Моделируемые

Таблица 1

**Динамика показателя общего самочувствия у добровольцев на этапах наблюдения, баллы: Me (Q25; Q75)**

Этап обследования, день	Группа, число обследованных, чел.		
	1-я, n=6	2-я, n=6	3-я, n=8
Исходное состояние	0,7 (0,3; 1,0)	0,6 (0; 0,8)	0,5 (0,3; 0,9)
«Герметизация»			
1-й	1,3 (0,7; 1,6) p=0,048	2,5 (1,5; 2,7) p=0,015; p2-1=0,037	1,9 (1,3; 2,3) p=0,030; p3-1=0,042
8-й	1,2 (0,6; 1,5) p=0,048	2,4 (1,5; 2,6) p=0,024; p2-1=0,035	1,9 (1,3; 2,2) p=0,037; p3-1=0,042
15-й	0,7 (0,5; 1,4)	2,4 (1,5; 2,6) p=0,024; p2-1=0,030	2,0 (1,4; 2,3) p=0,035; p3-1=0,042
22-й	0,8 (0,5; 1,3)	2,3 (1,4; 2,5) p=0,031; p2-1=0,030	2,0 (1,5; 2,3) p=0,035; p3-1=0,035
30-й	0,7 (0,3; 1,5)	2,3 (1,5; 2,6) p=0,031 p2-1=0,030	2,0 (1,5; 2,4) p=0,035; p3-1=0,035
Заключительное обследование	0,7 (0; 1,3)	0,6 (0; 0,8)	0,5 (0,3; 0,8)

Примечание. Уровень значимости различий: p – по сравнению с исходным состоянием; p1-2-3 – между соответствующими группами

измененные условия воздушной среды сопровождались умеренным снижением толерантности к транзиторной гипоксии и аэробной физической выносливости, что является закономерным итогом нахождения в гипоксических или гиперкапнических средах. При этом выраженность указанных изменений на всех этапах «герметизации» была, как правило, наибольшей – у лиц 2-й группы, наименьшей – у лиц 1-й группы.

Следовательно, в условиях действия гиперкапнического и гипоксического факторов имеет место значи-

тельно более выраженное напряжение компенсаторных приспособительных механизмов и снижение ОФР, чем это наблюдается при гипоксии (даже при меньшей концентрации кислорода) без повышенного содержания CO<sub>2</sub>. Характерно, что даже в нормоксических условиях гиперкапнический стимул оказывал негативное влияние как на устойчивость организма к аноксии (пробы Штанге, Генча), так и на физическую работоспособность.

Указанные закономерности были подтверждены при анализе уровня лактата в крови, определяемого после

Таблица 2

Динамика показателей функциональных проб в сравниваемых группах, n1=6, n2=6, n3=8, Me (Q25; Q75)

Этап, день	Группа	Методика, ед. изм.				
		задержка дыхания		PWC <sub>170</sub>		маршрут
		Штанге, с	Генча, с	PWC <sub>170</sub> , Вт	лактат, ммоль/л	ИПУ, у.е.
Исходное состояние	1-я	89 (72; 99)	69 (55; 72)	170 (163; 180)	2,7 (2,5; 2,9)	11 (11; 12)
	2-я	85 (70; 97)	66 (53; 75)	169 (162; 175)	2,7 (2,4; 2,9)	11 (10; 12)
	3-я	82 (73; 88)	68 (59; 77)	164 (160; 179)	2,4 (1,6; 2,8)	12 (10; 13)
"Герметизация"						
1-й – 2-й	1-я	82 (71; 85) p=0,027	60 (50; 66) p=0,027	161 (154; 163) p=0,037	3,1 (2,8; 3,2) p=0,027	11 (10; 12) p=0,048
	2-я	64 (55; 74) p=0,011 p2-1=0,049	47 (41; 54) p=0,011 p2-1=0,043	152 (147; 157) p=0,011 p2-1=0,045	3,7 (3,3; 3,8) p=0,027	10 (10; 11) p=0,047
	3-я	70 (66; 83) p=0,011	49 (41; 63) p=0,037	157 (148; 164) p=0,037	3,4 (2,8; 4,0) p=0,037	10 (10; 12) p=0,047
8-й – 9-й	1-я	83 (74; 88) p=0,033	61 (50; 67) p=0,043	165 (163; 166) p=0,041	3,0 (2,7; 3,2) p=0,027	11 (10; 12)
	2-я	63 (54; 74) p=0,014 p2-1=0,041	48 (43; 57) p=0,014 p2-1=0,044	153 (149; 162) p=0,011 p2-1=0,045	3,6 (3,3; 3,8) p=0,027	10 (10; 12)
	3-я	70 (65; 82) p=0,016	49 (43; 64) p=0,026	159 (150; 164) p=0,046	3,5 (3,0; 3,9) p=0,027	11 (10; 12)
15-й – 16-й	1-я	85 (66; 90) p=0,037	62 (50; 68) p=0,039	166 (161; 170) p=0,047	2,9 (2,7; 3,1) p=0,042	11 (10; 12)
	2-я	65 (56; 78) p=0,022 p2-1=0,041	47 (43; 59) p=0,022 p2-1=0,042	153 (149; 162) p=0,011 p2-1=0,041	3,4 (3,2; 3,8) p=0,027 p2-1=0,041	11 (10; 11)
	3-я	70 (67; 80) p=0,025	49 (44; 64) p=0,025	159 (152; 162) p=0,049	3,5 (3,0; 3,8) p=0,027 p3-1=0,049	11 (10; 11)
22-й – 23-й	1-я	86 (70; 90) p=0,038	63 (52; 65) p=0,039	166 (160; 171) p=0,049	2,9 (2,7; 3,1) p=0,043	11 (11; 12)
	2-я	65 (56; 79) p=0,025 p2-1=0,041	47 (44; 60) p=0,025 p2-1=0,042	157 (152; 160) p=0,026 p2-1=0,038	3,4 (3,2; 3,8) p=0,026 p2-1=0,028	10 (10; 11)
	3-я	71 (67; 79) p=0,037	51 (47; 63) p=0,037	159 (155; 167) p=0,049	3,6 (3,1; 3,9) p=0,031	11 (9; 11)
29-й – 30-й	1-я	87 (71; 92) p=0,047	63 (52; 66) p=0,047	167 (162; 172) p=0,049	2,9 (2,7; 3,1) p=0,045	11 (11; 12)
	2-я	65 (56; 78) p=0,031 p2-1=0,027	49 (45; 61) p=0,039 p2-1=0,027	157 (152; 163) p=0,030 p2-1=0,032	3,3 (3,1; 3,8) p=0,027 p2-1=0,028	10 (10; 11)
	3-я	70 (67; 80) p=0,025	51 (47; 65) p=0,025	160 (157; 169) p3-1=0,049	3,5 (3,1; 3,8) p=0,017 p3-1=0,049	11 (9; 11)
Заключительное обследование	1-я	99 (88; 102) p=0,037	75 (68; 81) p=0,037	179 (171; 188) p=0,045	2,4 (2,2; 2,8)	11 (11; 12)
	2-я	89 (77; 99) p=0,045	74 (68; 82) p=0,035	176 (169; 180) p=0,047	2,5 (2,2; 2,6) p=0,049	12 (10; 12)
	3-я	79 (73; 87) p3-1=0,049	67 (60; 77) p3-1=0,049	166 (161; 180) p3-1=0,049	2,5 (1,7; 2,8)	12 (10; 13)

Примечание. Уровень значимости различий: p – по сравнению с исходным состоянием; p1-2-3 – между соответствующими группами

мышечной работы – тест PWC<sub>170</sub>. Так, наибольшая концентрация молочной кислоты на этапах «герметизации» отмечалась у лиц 2-й группы, при этом в 3-й группе уровень данного метаболита превышал таковой в 1-й группе. Полученные данные позволяют, в целом, сделать следующее заключение: даже умеренное повышение уровня CO<sub>2</sub> в окружающем воздухе сопровождается заметным негативным влиянием на ОФР организма, а в случае сочетания гипоксического и гиперкапнического стимулов это влияние потенцируется. При этом для организма углубление степени гипоксии имеет меньший неблагоприятный эффект, чем повышение содержания CO<sub>2</sub> в гипоксической среде.

Косвенным подтверждением данного положения явились результаты динамического наблюдения, которые показали, что у добровольцев, находившихся при периодической «герметизации» в НГГС (1-я и 2-я группы), имело место постепенное улучшение показателей функциональных проб. Данный факт, на наш взгляд, свидетельствует о развитии в организме адаптационных (приспособительных) изменений, инициированных повторяющимся воздействием измененной воздушной среды. Подобные явления лежат в основе применения НГГС в качестве тренирующего и лечебного факторов [12]. По всей видимости, этим также объясняется значимое повышение, по сравнению с исходным состоянием, устойчивости к транзитной гипоксии и физической выносливости, зафиксированное у лиц 1-й и 2-й групп при заключительном тестировании в условиях нормоксии. Учитывая, что в 3-й группе подобных явлений отмечено не было, выявленные факты следует считать следствием адаптогенного воздействия, прежде всего, гипоксического стимула. Полагаем, что выявленные факты также подтверждают положение о более сложных и инерционных механизмах адаптации человека к гиперкапническому фактору [9].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билый А.М., Васильков А.М. Психофизиологические предикторы интеграции человека и системы на современных кораблях ВМФ // Морская медицина. 2018. Т.4, №3. С. 64–74.
2. Профессиональная надежность военного летчика: медицинские и социально-психологические аспекты / Жданько И.М., Исаенков В.Е., Ворона А.А. и др. // Военно-медицинский журнал. 2016. Т.337, №6. С. 30–36.
3. Обеспечение пожаробезопасности на подводных лодках / Архипов А.В., Карпов А.В., Смуров А.В., Чумаков В.В. // Морской сборник. 2013. №3. С. 2–7.
4. Петров В.А., Иванов А.О. Перспективные пути повышения пожарной безопасности энергонасыщенных обитаемых герметичных объектов // Безопасность жизнедеятельности. 2017. №10. С. 37–39.
5. Способ создания условий для жизнедеятельности человека в специальном гермообъекте ВМФ: пат. 2520906 RU от 27.06.2014 / Советов В.И., Андреев С.П., Андреева Е.С. и др. // Бюл. №18. 2014. С. 24–29.
6. Чумаков В.В. Альтернативные подходы к решению проблемы предотвращения пожаров в герметично замкнутых объемах // Обитаемость кораблей. Обеспечение радиационной и токсикологической безопасности: Матер. Межотрасл. науч.-практ. конф. «Кораблестроение в XXI веке: проблемы и перспективы» (ВОКОР-2014). СПб., 2014. С. 115–118.
7. Работоспособность человека при периодическом пребывании в гипоксических воздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов / Безкишский Э.Н., Иванов А.О., Петров В.А., Ерошенко А.Ю., Грошилин В.С. и др. // Экология человека. 2018. №9. С. 4–11.
8. Комплексная оценка допустимости циклического пребывания человека в гипоксических средах, обеспечивающих пожаробезопасность герметичных обитаемых объектов / Иванов А.О., Ерошенко А.Ю., Костылев А.Н. и др. // Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием «Человек и общество: современные проблемы безопасности». Курск, 2018. С. 65–69.
9. Гипербарическая ререспираторная терапия как средство оптимизации комплексной терапии военнослужащих, страдающих абактериальным хроническим простатитом / Борачевский Ю.Е., Голендухин К.Г., Грошилин В.С. и др. // Экология человека. 2016. №8. С. 33–39.
10. Дубровский В.И. Функциональные пробы в спорте. М.: ФиС, 2006. 224 с.
11. Влияние гипоксии на умственную работоспособность операторов с различными стратегиями переработки информации в оперативной памяти / Петрукович В.М., Иванов А.О., Зотов М.В., Федоров С.И. // Вестник СПбГУ. Сер. 12. 2015. Вып. 3. С. 27–37.
12. Коррекция отклонений психофизиологического статуса лиц опасных профессий путём использования гипоксических газозооных сред / Шатов Д.В., Грошилин В.С., Иванов А.О. и др. // Экология человека. 2014. №9. С. 3–7.

Характерно, что пребывание в моделируемых измененных условиях воздушной среды оказывало значительно меньший эффект на уровень умственной работоспособности во всех сравниваемых группах. Так, умеренное (не превышавшее 8–10% по сравнению с исходным состоянием) снижение ИПУ методики «Маршрут» было выявлено только на начальном этапе «герметизации». При всех последующих тестированиях значимых отклонений показателя не отмечалось. На наш взгляд, полученные данные позволяют рассматривать моделируемые измененные условия воздушной среды как допускающие сохранение возможностей человека к выполнению даже высокоинтенсивной интеллектуальной деятельности. Аналогичные факты были зафиксированы и в других подобных исследованиях [8, 11].

#### Выводы

1. Кроме подтверждения установленной ранее возможности периодического пребывания человека и выполнения им работ в подобных пожаробезопасных НГГС, основным итогом проведенного исследования является выявление существенного негативного влияния гиперкапнического фактора даже в допустимых для помещений ГОО концентрациях на физиологические резервы организма и физическую работоспособность человека [7]. Влияние данного фактора на умственную работоспособность оказалось менее выраженным.

2. При сочетании НГГС и повышенного содержания CO<sub>2</sub> нежелательные эффекты гипоксии и гиперкапнии потенцируются, что, по нашему мнению, должно обязательно учитываться при применении пожаробезопасных НГГС в обитаемых герметизируемых объектах, где необходимо усиливать контроль за составом газовой среды, техническими средствами обеспечения регенерации и очистки воздуха, а также за техническими средствами мониторинга газовой среды.

#### REFERENCES

1. Bilyi A.M., Vasil'kov A.M. Psychophysiological predictors of human and system integration on modern Navy ships. *Morskaya medicina*. 2018; 4; 3: 64–74 (In Russ.).
2. Zhdan'ko I.M., Isaenkov V.E., Vorona A.A. et al. Professional reliability of a military pilot: medical and socio-psychological aspects. *Voenno-meditsinskij zhurnal = Military Medical Journal*. 2016; 337; 6: 30–36 (In Russ.).
3. Arhipov A.V., Karpov A.V., Smurov A.V., Chumakov V.V. Providing fire safety on submarines. *Morskoj sbornik*. 2013; 3: 2–7 (In Russ.).
4. Petrov V.A., Ivanov A.O. Promising ways to improve fire safety of energy-saturated inhabited airtight objects. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2017; 10: 37–39 (In Russ.).
5. Sovetov V.I., Andreev S.P., Andreeva E.S. A way to create conditions for human life in a special seal object of the Navy: Patent No. 2520906 RU dated June 27, 2014. *Byulleten'*. 2014; 18: 24–29 (In Russ.).
6. Chumakov V.V. Alternative approaches to tackling the problem of sealed fire prevention. The habitability of ships. Radiation and Toxicological Safety. *Korablestroenie v XXI veke: problemy i perspektivy = Shipbuilding in the 21st Century: Problems and Perspectives*. Materials from the Inter-industry Scientific and Practical Conference. St. Petersburg Publ., 2014. Pp. 115–118 (In Russ.).
7. Bezkiškij E.N., Ivanov A.O., Petrov V.A., Eroshenko A.Yu., Groshilin V.S. et al. Human health during periodic stay in hypoxic air environments that reduce the fire danger of germoobjects. *Ekologiya cheloveka*. 2018; 9: 4–11 (In Russ.).
8. Ivanov A.O., Eroshenko A.YU., Kostylev A.N. et al. Comprehensive assessment of the permissibility of cyclical human stay in hypoxic environments that provide fire safety to airtight inhabited objects. *Chelovek i obshchestvo: sovremennye problemy bezopasnosti = Man and Society: Modern Security Problems*. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Kursk Publ., 2018. Pp. 65–69 (In Russ.).
9. Barachevskij Yu.E., Golenduhin K.G., Groshilin V.S. et al. Hyperbaric rerespiration as a means of optimizing the complex therapy of military personnel suffering from bacterial chronic prostate. *Ekologiya cheloveka*. 2016; 8: 33–39 (In Russ.).
10. Dubrovskij V.I. *Funkcional'nye proby v sporte = Functional tests in sports*. Moscow, FiS Publ., 2006. 224 p. (In Russ.).
11. Petrukovich V.M., Ivanov A.O., Zotov M.V., Fedorov S.I. The effect of hypoxia on the mental health of operators with different strategies for processing information in RAM. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seria 12. 2015; 3: 27–37 (In Russ.).
12. Shatov D.V., Groshilin V.S., Ivanov A.O. et al. Correction of deviations of psychophysiological status of persons of dangerous professions by using hypoxic gas air mediums. *Ekologiya cheloveka*. 2014; 9: 3–7 (In Russ.).

Материал поступил в редакцию 09.07.19; статья принята к публикации 27.11.19