

УДК 612.821:612.275

<http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2020-6-2-49-58>

© Иванов А.О., Беляев В.Ф., Ерошенко А.Ю., Танова А.А., Шатов Д.В., Скляров В.Н., Грошили С.М., 2020 г.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПРЕБЫВАНИЯ В НОРМОБАРИЧЕСКИХ ГИПОКСИЧЕСКИХ СРЕДАХ, СНИЖАЮЩИХ ПОЖАРООПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ВМФ

<sup>1</sup>А. О. Иванов, <sup>1</sup>В. Ф. Беляев, <sup>2</sup>А. Ю. Ерошенко, <sup>2</sup>А. А. Танова, <sup>2</sup>Д. В. Шатов, <sup>2</sup>В. Н. Скляров, <sup>2</sup>С. М. Грошили\*

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота  
Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени  
Н. Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

*Цель.* Повышение пожаробезопасности герметизируемых обитаемых объектов Военно-Морского Флота (ВМФ) путем создания нормобарических гипоксических газовых сред, пригодных для дыхания.

*Материалы и методы.* В исследованиях 1-й серии 6 мужчин (возраст 22–53 года) ежедневно по 4 часа в течение 60 сут находились в средах состава: [O<sub>2</sub>]=16–17%, [CO<sub>2</sub>]=0,3–0,8%, N<sub>2</sub> — остальное. В исследованиях 2-й серии 6 мужчин (возраст 25–53 года) непрерывно в течение 100 сут находились в среде состава: [O<sub>2</sub>]=19%, [CO<sub>2</sub>]=0,3–0,8%, N<sub>2</sub> — остальное. Ежедневно в течение 4 ч лица 2-й группы выполняли работы в среде с содержанием O<sub>2</sub>=16–17%.

*Результаты и их обсуждение.* Пребывание в гипоксических средах не привело к «срыву адаптации» ни у одного из обследованных. Наблюдалось постепенное повышение устойчивости к гипоксии за счет адаптационных изменений у лиц, непрерывно находившихся в гипоксических условиях.

*Заключение.* Результаты работы подтверждают перспективность применения гипоксических сред в испытанных режимах для повышения пожаробезопасности энергонасыщенных обитаемых объектов ВМФ.

**Ключевые слова:** морская медицина, физиологическая адаптация, пожаробезопасные газовые среды

© Ivanov A.O., Belyaev V.F., Eroshenko A.Yu., Tanova A.A., Shatov D.V., Sklyarov V.N., Groshilin S.M., 2020

## CHARACTERISTICS OF PHYSIOLOGICAL ADAPTATION OF HUMAN UNDER VARIOUS RESIDENCE MODES IN NORMOBARIC HYPOXIC ENVIRONMENT REDUCING THE FIRE HAZARD OF NAVY OBJECTS

<sup>1</sup>Andrey O. Ivanov, <sup>1</sup>Viktor F. Belyaev, <sup>2</sup>Andrey Yu. Eroshenko, <sup>2</sup>Anastasiya A. Tanova, <sup>2</sup>Dmitriy V. Shatov, <sup>2</sup>Vadim N. Sklyarov, <sup>2</sup>Sergey M. Groshilin\*

<sup>1</sup>Research Institute of Shipbuilding and Armed Forces of the Russian Navy Military Educational and Scientific Center N. G. Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

*Purpose* is an increasing the fire hazard of sealed inhabited Navy objects through the creation of normobaric hypoxic breathable gas environment.

*Materials and methods.* In the first series of studies, 6 men (22–53 years) daily, for four hours, for 60 days were in the environment of the following content: [O<sub>2</sub>]=16–17%, [CO<sub>2</sub>]=0,3–0,8%, N<sub>2</sub> — the rest. In the second series of studies, 6 men (25–53 years) continuously for 100 days were in the environment of the following content: [O<sub>2</sub>]=19%, [CO<sub>2</sub>]=0,3–0,8%, N<sub>2</sub> — the rest. Daily, for 4 hours, men of the second group performed works in the environment with the oxygen content of 16–17%.

*Results and discussion.* Stay in hypoxic environments did not lead to «failure of adaptation» in any of the examined. A gradual increase in resistance to hypoxia was observed due to adaptive changes, greater in individuals who were continuously in hypoxic conditions.

*Conclusion.* The results of the work confirm the perspectiveness of using hypoxic environments in the tested modes to increase the fire safety of the energy-rich inhabited objects of the Navy.

**Key words:** marine medicine, physiological adaptation, fireproof gas environments

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Иванов А.О., Беляев В.Ф., Ерошенко А.Ю., Танова А.А., Шатов Д.В., Скляр В.Н., Грошилин С.М. Характеристика физиологической адаптации человека при различных режимах пребывания в нормобарических гипоксических средах, снижающих пожароопасность объектов ВМФ // *Морская медицина*. 2020. Т. 6, № 2. С. 49–58. <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2020-6-2-49-58>.

Контакт: Грошилин Сергей Михайлович, [sgroshilin@rambler.ru](mailto:sgroshilin@rambler.ru)

**Conflict of interests:** the author declared no conflict of interest.

**For citation:** Ivanov A.O., Belyaev V.F., Eroshenko A.Yu., Tanova A.A., Shatov D.V., Sklyarov V.N., Groshilin S.M. Characteristics of physiological adaptation of human under various residence modes in normobaric hypoxic environment reducing the fire hazard of navy objects // *Marine medicine*. 2020. Vol. 6, No 2. P. 49–58. <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2020-6-2-49-58>.

Contact: Groshilin Sergey Mikhailovich, [sgroshilin@rambler.ru](mailto:sgroshilin@rambler.ru)

**Введение.** Опыт эксплуатации герметизируемых обитаемых объектов (ГОО) ВМФ, в частности подводных лодок (пл), показывает, что в общем значении частоты аварийности на таких объектах ведущее место занимают пожары и возгорания, доля которых достигает 50%, причем на современных пл их частота составляет до  $(0,8-3,1) \times 10^{-2}$  (то есть около 1 объекта в год) [1, с. 90; 2, с. 3–6]. За послевоенные годы на 14 отечественных пл произошли серьезные пожары. Всего в катастрофах и авариях за этот период страна потеряла свыше 800 подводников. В шести катастрофах экипажи погибли в полном составе вместе с кораблем, причем в большинстве случаев аварийная ситуация протекала на фоне объемного пожара<sup>1</sup>.

В настоящее время активно разрабатывается инновационная комплексная технология снижения риска пожаров и возгораний на пл и других ГОО [3, с. 38–39]<sup>2,3</sup>. Суть данной технологии состоит в том, что предотвращение возгораний и пожаров достигается путем создания в помещениях объекта нормобарической газовой среды с пониженным содержанием кислорода, допустимой для периодического пребывания личного состава. Исследования противопожарной эффективности нормобарических гипоксических газовых сред (НГГС) показали, что горение основных материалов, ис-

пользующихся при строительстве пл, прекращается при содержании кислорода в диапазоне 17–14% об. При содержании кислорода ниже 14% об. все конструкционные корабельные материалы не горят (за исключением компонентов ракетного топлива) [3, с. 37–38].

Однако применение НГГС на ГОО имеет существенные ограничения, связанные с негативным влиянием дефицита кислорода в газовой среде помещений объекта на функциональное состояние находящегося в этих помещениях личного состава. Для снижения повреждающего действия гипоксии на организм было предложено несколько вариантов. В частности, в ряде работ показано, что защита от кислородного голодания достигается путем использования гипоксических газовых сред при повышенном давлении [2, с. 3–6]<sup>4</sup>. Так, при снижении концентрации кислорода в ГГС до 16–17% и повышении барометрического давления в герметичных помещениях ГОО до 1,2 атм. (0,12 МПа) парциальное давление кислорода будет примерно соответствовать нормоксическому уровню (20–21 кПа)<sup>4</sup>. Это позволяет сохранить работоспособность человека в течение длительной (до 45 сут) герметизации, обеспечивая значительное повышение пожаробезопасности. Однако при таком («гипербарическом») варианте создания ГГС существуют ограничения по работе значительной

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <http://ria.ru/spravka/53605825>. Дата обращения 15.01.2019 г.

<sup>2</sup> Способ предупреждения пожаров внутри герметичных обитаемых объектов, преимущественно подводных лодок и устройство для его осуществления: Патент на изобретение № 2549055 RU / В.Ф.Беляев, В.А.Петров, А.О.Иванов и др. // Бюл. № 11 от 20.04. 2015.

<sup>3</sup> Способ обеспечения пожарозащищенности герметичных обитаемых объектов, преимущественно подводных лодок, в автономном режиме: Патент на изобретение № 2636558 RU / В.А.Петров, А.О.Иванов, В.А.Михеев // Бюл. № 33 от 23.11.2017.

<sup>4</sup> Способ создания условий для жизнедеятельности человека в специальном гермообъекте ВМФ: Патент № 2520906 RU / В.И.Советов, С.П.Андреев, Е.С.Андреева и др. // Бюл. № 18 от 27.06.2014.

части оборудования, которым оснащаются современные ГОО, в частности пл, поэтому данный способ пока не нашел применения в реальных условиях.

Другим возможным вариантом решения данной проблемы является создание в условно называемых «периодически посещаемых» помещениях ГОО указанных выше нормобарических ГТС. В таких помещениях допустимо применить вахтовый способ работы персонала, который, как правило, ограничивается суммарной продолжительностью до 4 ч в сутки. Это создает барьер развитию возгорания и пожара в наиболее энергонасыщенных зонах объекта. В работах с участием испытуемых-добровольцев проведены исследования допустимости периодического (4 ч/сут) пребывания и выполнения работ человеком в НГТС с содержанием кислорода 16–17% об. в течение до 60 суток [4, с. 11–12; 5, с. 25–26]. Востальное время суток добровольцы находились в обычных условиях воздушной среды. В результате этих исследований установлено, что у всех добровольцев необходимый уровень работоспособности сохранялся в течение всего периода испытаний, отдаленные негативные последствия для здоровья отсутствовали. Однако при данном способе создания НГТС повышение пожаробезопасности обеспечивается лишь в помещениях ГОО, где допустимо периодическое пребывание персонала.

Логичным продолжением указанных работ явились исследования, где предварительно показана возможность длительного (до 100 суток) непрерывного пребывания (герметизации) добровольцев в НГТС различного состава. В помещениях «постоянного пребывания» допустимо поддержание среды с концентрацией кислорода около 19% об.; в «периодически посещаемых» помещениях — 16–17% об., при продолжительности ежедневных работ в таких условиях до 4 часов [6, с. 23–24]. Естественно, что данный способ применения НГТС существенно превосходит по противопожарной эффективности режим, описанный выше. Однако с научной и практической точек зрения необходимым представлялось сравнение влияния испытанных режимов пребывания в НГТС на функциональное состояние, работоспособность, течение процесса адаптации испытателей-добровольцев в моделируемых измененных условиях обитаемости.

**Целью** данной работы явилась сравнительная оценка физиологической адаптации человека к измененным условиям газовой среды

при указанных выше вариантах и режимах длительного пребывания в НГТС.

**Материалы и методы.** Обе серии работ проводились на специально сконструированных испытательных гипоксических стендах (ИГС). Конструкция ИГС позволяла поддерживать заданные параметры НГТС в герметичных помещениях, выполнять в них работы, предписанные добровольцам, а также проводить комплексные исследования их функционального состояния и работоспособности.

В исследованиях 1-й серии добровольцы ежедневно по 4 часа находились и выполняли работы различного содержания в НГТС состава:  $[O_2]=16-17\%$  об. ( $p_{O_2} \sim 16,5$  кПа),  $[CO_2]=0,3-0,8\%$  об. ( $p_{CO_2} \sim 0,3-0,9$  кПа), азот — остальное, при нормальных величинах атмосферного давления и других параметров микроклимата. Длительность испытаний — 60 сут, без отрыва добровольцев от основной учебной или трудовой деятельности. Вторая серия исследований заключалась в непрерывном 100-суточном пребывании (герметизации) добровольцев в различных НГТС. В помещениях «постоянного пребывания» создавалась гипоксическая среда с содержанием кислорода около 19% об. ( $p_{O_2} \sim 18,5$  кПа), диоксида углерода 0,3–0,8% об. ( $p_{CO_2} \sim 0,25-0,9$  кПа), азот — остальное, при нормальных величинах других параметров микроклимата. Ежедневно в течение 4 часов испытуемые выполняли работы в условно «периодически посещаемом» помещении, в котором создавались НГТС с содержанием кислорода 16–17% об. ( $p_{O_2} \sim 16,5$  кПа).

Организация исследований и работ обеих серий подразумевала отбор и подготовку испытуемых-добровольцев (мужского пола, по 6 человек в каждой серии, возраст 22–53 года), клинические и функциональные обследования перед началом герметизации. Значимых межгрупповых различий по исходным анамнестическим характеристикам, антропометрическим и функциональным показателям не зафиксировано.

Все испытуемые были признаны годными по состоянию здоровья к работам в измененных условиях внешней среды, подписали добровольное информированное согласие на участие в исследованиях, были застрахованы на случай причинения вреда здоровью на весь период исследований.

В процессе испытаний, кроме запланированных контрольных обследований, добровольцы обеих групп выполняли рабочую программу,

заклучавшуюся в моделировании деятельности интеллектуального или операторского содержания, а также интенсивных физических нагрузок.

Выполнявшиеся на этапах герметизации контрольные обследования включали комплекс физиологических, психофизиологических, клинико-лабораторно-инструментальных и иных исследований. Учитывая цель данной конкретной работы, в ней будут детально проанализированы лишь результаты динамики показателей, характеризующих компенсаторно-приспособительные реакции добровольцев, уровень их физической и умственной работоспособности при пребывании в НГГС (при  $pO_2 \sim 16,5$  кПа). Оцениваемые критерии отражали степень напряжения и сохранности «адаптационного потенциала организма» [7, с. 7–9].

Оценка «степени гипоксического состояния» (ГС) в условиях оперативного покоя испытуемых при пребывании в НГГС проводилась с использованием разработанной ранее регрессионной модели [8, с. 92–93]:

$$ГС (y.e.) = 1,0 + 0,027 \times \Delta УСС + 0,013 \times \Delta SaO_2 - 0,005 \times \Delta ЧСС - 0,009 \times \Delta СДД - 0,007 \times \Delta ЧДД,$$

где: УСС — уровень самооценки состояния (баллы);  $SaO_2$  — сатурация капиллярной крови (%); ЧСС — частота сердечных сокращений (уд./мин); СДД — среднединамическое артериальное давление (мм рт.ст.); ЧДД — частота дыхательных движений (ед./мин.); « $\Delta$ » — абсолютные различия между величинами показателя в гипоксических и нормоксических условиях.

Значения показателя в диапазоне 0,80–0,95 усл. ед. рассматриваются как гипоксическое состояние легкой степени, 0,65–0,79 — умеренной степени, 0,5–0,64 — средней степени, менее 0,5 — тяжелой степени [8, с. 92–93].

Показатель УСС определяли путем выставления испытуемым отметки о своем общем самочувствии на отрезке бумаги, представляющей собой обратную сторону 10-сантиметровой линейки [8, с. 92–93]. После этого результат квантифицировался в балльную шкалу, соответствующую проекции поставленной метки на миллиметровую разметку линейки. Регистрацию  $SaO_2$  капиллярной крови, ЧСС, СДД,

ЧДД осуществляли с использованием монитора анестезиолога-реаниматолога «МАРГ-01» (РФ).

В динамике наблюдения проводили также исследование состояния «эритроцитарного звена» циркулирующей (венозной) крови, в частности, определяли содержание гемоглобина. Исследования проводили на автоматическом счетчике клеток крови «ABX MICROS 60 OT 18» (Франция).

Физическую работоспособность (максимальную аэробную производительность) испытуемых оценивали с использованием теста PWC170<sup>1</sup>, реализованного посредством ступенчато возрастающей велоэргометрической пробы на эргоспирометрическом комплексе «Schiller» (Швейцария). По результатам пробы определяли соответствующий показатель (PWC170, Вт)<sup>1</sup>.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программы Statistica v. 12,0. Применяли стандартные методы вариационной статистики: для каждого показателя рассчитывали медианы (Me), верхний и нижний квартили (Q25, Q75). Учитывая малую численность выборок, проверку данных на нормальность распределения не проводили. Значимость различий показателей в динамике наблюдения определяли с использованием Т-критерия Вилкоксона для парных связанных выборок и U-критерия Манна–Уитни для несвязанных выборок. Нулевую гипотезу об отсутствии различий отвергали при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Исследования были организованы и проведены в соответствии с положениями и принципами действующих международных и российских законодательных актов, в частности Хельсинкской декларации 1975 года и ее пересмотра 2013 года. Легитимность исследований подтверждена заключением независимого этического комитета при Северном ГМУ.

**Результаты и их обсуждение.** В обеих сериях исследований все добровольцы смогли выполнить основную задачу по пребыванию в гипоксических средах в заданных режимах. Случаев соматических заболеваний, отказов от проведения запланированных исследований, снижения мотивации к их продолжению не отмечено. Наблюдалась полная компенсация гипоксических воздействий выбранной интенсивности, недопустимых острых и хронических гипоксических состояний не зарегистрировано.

<sup>1</sup> ACC/AHA 2002 Guideline update for exercise testing. The report of the American college of cardiology / American heart association. Task force on practice guidelines (Committee on exercise testing) / R. Gibbons, G. Balady, T. Bricker // Circulation. 2002. Vol. 106. P. 1883–1892.

В таблице представлена динамика критерия, характеризующего степень гипоксического состояния обследованных добровольцев, на этапах наблюдения.

поксическое состояние добровольцев соответствовало умеренной или легкой его степени, о чем свидетельствовали значения показателя СГС, находившиеся в пределах 0,70–0,85 у.е.

Таблица

**Динамика показателя степени гипоксического состояния (у.е.) добровольцев сравниваемых групп ( $n_1=6$ ,  $n_2=6$ ) при пребывании в НГГС (при  $pO_2 \sim 16,5$  кПа), Ме (Q25; Q75)**

Table

**The dynamics of the degree of hypoxic state (conv. un.) of volunteers of the compared groups ( $n_1=6$ ,  $n_2=6$ ) during their stay in the NHGM (at  $pO_2 \sim 16,5$  kPa), Me (Q25; Q75)**

Этап исследований (сутки пребывания в НГГС)	Группы	
	1-я	2-я
1	0,735 (0,716; 0,777)	0,728 (0,710; 0,768)
2	0,720 (0,705; 0,765)	0,727 (0,711; 0,772)
3	0,717 (0,708; 0,750) $p=0,049$	0,728 (0,724; 0,779)
4	0,714 (0,699; 0,747) $p=0,048$	0,732 (0,724; 0,775)
5	0,710 (0,682; 0,749) $p=0,045$	0,744 (0,721; 0,789) $p=0,047$ ; $p_{1-2}=0,045$
6	0,710 (0,684; 0,755) $p=0,045$	0,744 (0,730; 0,787) $p=0,047$ ; $p_{1-2}=0,045$
7–8	0,716 (0,698; 0,760) $p=0,049$	0,750 (0,730; 0,788) $p=0,047$ ; $p_{1-2}=0,046$
9	0,729 (0,715; 0,772)	0,757 (0,734; 0,784) $p=0,040$ ; $p_{1-2}=0,046$
10	0,736 (0,724; 0,774)	0,757 (0,738; 0,785) $p=0,040$ ; $p_{1-2}=0,049$
11–15	0,745 (0,728; 0,788) $p=0,049$	0,765 (0,740; 0,795) $p=0,039$
16–20	0,762 (0,745; 0,798) $p=0,047$	0,798 (0,766; 0,807) $p=0,034$ ; $p_{1-2}=0,049$
17–30	0,774 (0,758; 0,803) $p=0,040$	0,804 (0,784; 0,827) $p=0,029$ ; $p_{1-2}=0,044$
31–50	0,778 (0,764; 0,809) $p=0,040$	0,816 (0,788; 0,829) $p=0,029$ ; $p_{1-2}=0,044$
51–60	0,775 (0,767; 0,809) $p=0,040$	0,810 (0,793; 0,825) $p=0,029$ ; $p_{1-2}=0,044$
61–70		0,819 (0,791; 0,829) $p=0,029$
71–80		0,818 (0,790; 0,832) $p=0,029$
81–90		0,809 (0,793; 0,831) $p=0,032$
91–100		0,812 (0,792; 0,833) $p=0,031$

Примечание. Уровень значимости различий:  $p$  — по сравнению с 1-м этапом наблюдения;  $p_{1-2}$  — между группами.

Note. The significance level of the differences:  $p$  — in comparison with the 1<sup>st</sup> stage of observation;  $p_{1-2}$  — between groups.

Анализ полученных данных выявил следующие факты. Прежде всего, обращало на себя внимание, что в обеих сериях исследования на всех этапах наблюдения развивающееся при периодическом пребывании в заданных НГГС ( $pO_2 \sim 16,5$  кПа) ги-

В качестве другой выявленной закономерности можно рассматривать наличие явных тенденций к снижению выраженности компенсаторных реакций организма в ответ на гипоксические воздействия по мере продолжения пре-

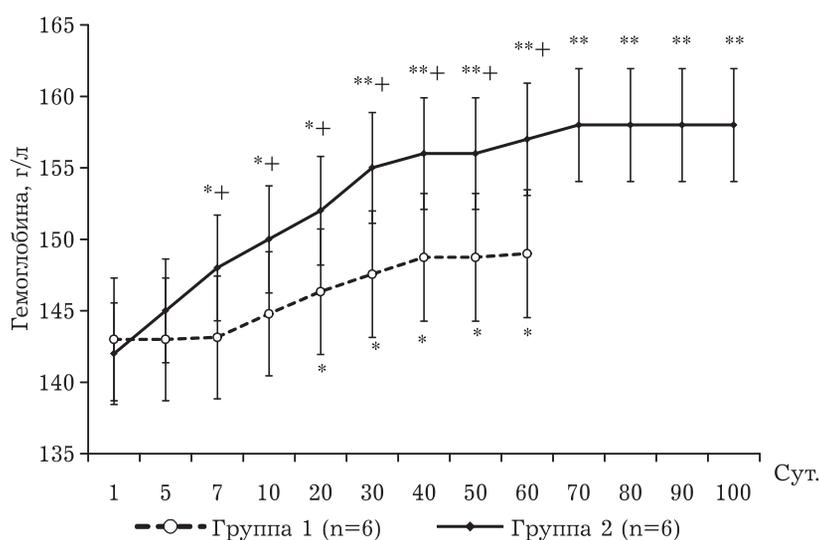
бывания в НГГС у лиц обеих групп. Данная тенденция была подтверждена статистически ( $p < 0,05$ ), сохранялась вплоть до окончания исследований и, по всей видимости, отражала формирование у испытуемых адаптационных изменений в организме, обеспечивающих повышение гипоксической резистентности и снижение повреждающих эффектов дефицита кислорода. К таким изменениям, согласно данным многих исследователей [9, с. 125–134; 10, с. 22–23; 11, с. 202–204 и др.], относятся: прирост кислородной емкости крови за счет интенсификации эритропоэза; оптимизация регуляции и функционирования систем кровообращения и внешнего дыхания; повышение устойчивости клеток жизненно важных органов к гипоксии за счет специфических структурно-функциональных изменений.

Сравнительный анализ полученных результатов в обследованных группах показал, что

по мере продолжения наблюдения, к 15-м суткам достигая уровня значимости ( $p < 0,05$ ) по сравнению с первым днем испытаний.

У испытуемых 2-й группы, которые, как указывалось выше, непрерывно находились в условиях НГГС (при  $pO_2 \sim 18,5$  кПа), при периодическом пребывании в НГГС с  $pO_2 \sim 16,5$  кПа, судя по показателю СГС, имело место плавное повышение устойчивости к гипоксии, без периода ее снижения в начальном периоде герметизации. При этом уже к 5-м суткам герметизации выявлены значимые ( $p < 0,05$ ) различия показателя как по сравнению с первым днем наблюдения, так и со 2-й группой. Указанные различия сохранялись и углублялись вплоть до окончания испытаний.

На рис. 1 показана динамика содержания гемоглобина в циркулирующей крови у испытуемых сравниваемых групп, которая может являться частичным объяснением описанных выше феноменов.



**Рис. 1.** Содержание гемоглобина в крови испытуемых сравниваемых групп в динамике наблюдения, Ме (Q25; Q75).

Примечание. Значимость различий по сравнению с 1-м этапом наблюдения: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; между группами: +  $p < 0,05$ .

**Fig. 1.** The hemoglobin content in the blood of the subjects of the compared groups in the dynamics of observation, Me (Q25; Q75).

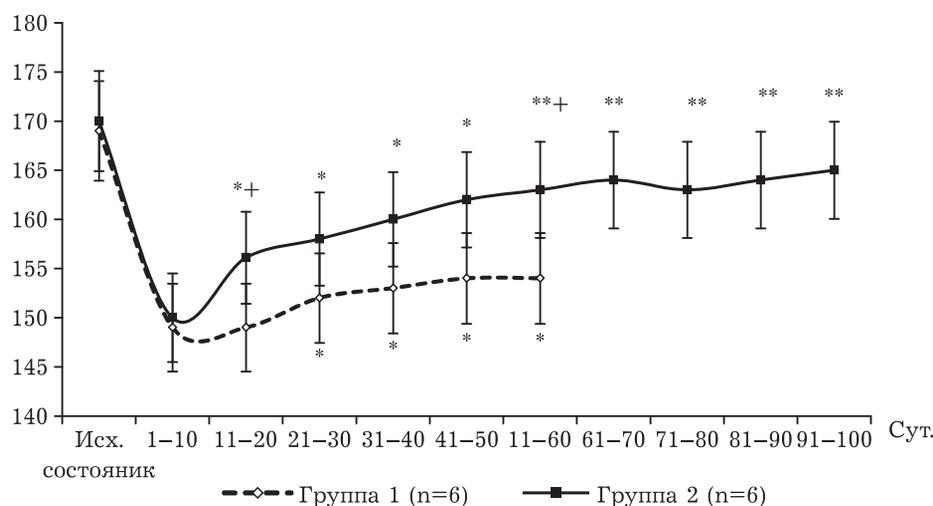
Note: Significance of differences compared with the 1<sup>st</sup> stage of observation: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; between groups: +  $p < 0,05$ .

при общей, в целом, схожести выявленных тенденций имел место и ряд существенных различий. Так, у лиц 1-й группы в начальном периоде испытаний (2–6-е сутки) имели место признаки умеренного ухудшения переносимости дефицита кислорода по сравнению с первым воздействием. Начиная с 7–8-х суток указанные явления постепенно нивелировались, и сформировалась противоположно направленная тенденция, постепенно углублявшаяся

Из представленных графиков следует, что при приросте содержания гемоглобина в крови у лиц обеих групп, связанном с периодическим или непрерывным воздействием гипоксического фактора, скорость и амплитуда данных изменений были существенно большими во 2-й группе. Так, в данной группе значимое (по сравнению с исходным состоянием) увеличение концентрации гемоглобина наблюдалось уже к 7-м суткам пребывания в НГГС, находясь на достоверно более

высоком уровне, чем в 1-й группе. В дальнейшем, несмотря на поступательное увеличение гемоглобинемии у лиц обеих групп, межгрупповые различия сохранялись (вплоть до окончания испытаний для добровольцев 1-й группы). В итоге к 60-м суткам наблюдения среднегрупповой прирост содержания гемоглобина в 1-й группе составил около 5% по сравнению с исходным уровнем, во 2-й группе — около 10%.

Дальнейшее наблюдение показало, что у лиц 2-й группы тенденции к увеличению содержания гемоглобина сохранялись примерно до 70-х суток герметизации, после чего значения показателя стабилизировались на достигнутом высоком уровне вплоть до окончания периода исследований.



**Рис. 2.** Динамика показателя PWC170 (Вт) испытуемых сравниваемых групп на этапах наблюдения, Me (Q25; Q75)

Примечание. Значимость различий по сравнению с 1-м днем герметизации: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; между группами: +  $p < 0,05$ .

**Fig. 2.** The dynamics of the indicator PWC170 (W) of the tested compared groups at the stages of observation, Me (Q25; Q75)

Note. The significance of the differences compared with the 1<sup>st</sup> day of sealing: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; between groups: +  $p < 0,05$ .

Закономерным следствием гемоглобинемии является прирост кислородной емкости циркулирующей крови, что при прочих равных условиях обеспечивает повышение объема переносимого кровью кислорода и, следовательно, лучшую переносимость дефицита кислорода в воздухе, причем не только в покое, но и при повышенных метаболических потребностях организма (физической, умственной работе, других

внешних воздействиях) [9, с. 125–134; 10, с. 22–23; 12, с. 267–270 и др.].

Подтверждением данного положения явились результаты исследований работоспособности испытуемых при пребывании в НГГС.

Так, при исходно среднем уровне максимальной аэробной производительности у обследованных лиц (показатель PWC170 находился в диапазоне 160–184 Вт), при пребывании в заданных НГГС выявлено значимое снижение данного показателя у добровольцев обеих групп (рис. 2). Это свидетельствовало о закономерном дефиците функциональных возможностей организма в связи с естественной невозможностью достижения «нормоксического» уровня энергообеспечения субмаксимальной и максимальной мы-

шечной работы. Характерно, что наиболее выраженным отклонением показателя от нормоксического уровня (примерно на 11–12%) у испытуемых обеих групп оказалось на 1-м этапе пребывания в НГГС. Считается общепринятым, что такая степень относительного снижения максимальной работоспособности является допустимой при осуществлении деятельности в период длительных «рабочих циклов»<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup> Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты / под ред. В.С.Кощеева, З.С.Четвериковой. М., 1981. 15 с.

<sup>2</sup> Сохранение и повышение военно-профессиональной работоспособности специалистов флота в процессе учебно-боевой деятельности и в экстремальных ситуациях: методические рекомендации / под ред. Ю.М.Боброва, В.И.Кулешова, А.А.Мясникова. М., 2013. 104 с.

Уже к следующему этапу регистрации в обеих группах зафиксирована тенденция к повышению физической работоспособности. Более выраженными указанные сдвиги оказались во 2-й группе, где значения показателя PWC170 на этапе 11–20 сут герметизации были значимо ( $p < 0,05$ ) выше как по сравнению с предыдущим обследованием, так и по отношению к 1-й группе.

Последующие тестирования физической работоспособности добровольцев показали, что тенденции к повышению аэробной выносливости сохранялись на протяжении всего периода исследований в обеих группах. Однако во 2-й группе показатель PWC170 находился на достоверно более высоком уровне, чем в 1-й группе, на всех этапах диагностики вплоть до окончания 60-суточного периода наблюдения. Так, на данном этапе значения данного показателя во 2-й группе уступали исходным его величинам в среднем на 5%, в 1-й группе — более чем на 8%. При этом продолжение 100-суточной герметизации у испытуемых 2-й группы негативными тенденциями в динамике показателя PWC170 не сопровождалось, что свидетельствовало о сохранности функционального потенциала организма обследованных добровольцев и, следовательно, не отрицало допустимости создания таких условий на перспективных герметизируемых обитаемых объектах.

**Заключение.** Таким образом, результаты проведенных исследований позволили выявить следующие особенности физиологической адаптации человека при моделировании длительного пребывания в заданных различных НГГС, предназначенных для повышения пожаробезопасности ГОО. Прежде всего, испытываемые режимы и алгоритмы НГГС не привели к «срыву адаптации» ни у одного из обследованных добровольцев. У всех добровольцев имело место поступательное формирование в организме структурно-функциональных изменений,

направленных на повышение устойчивости к дефициту кислорода и другим измененным факторам обитаемости. При этом наиболее сложным периодом адаптации оказался начальный этап (первые 7–10 суток), однако и на данном этапе недопустимых отклонений физиологических параметров, в том числе максимальной физической работоспособности (аэробной выносливости) как интегрального критерия функциональных возможностей организма, не наблюдалось. В дальнейшем развивающиеся адаптационные изменения в организме приводили к улучшению функционального состояния испытуемых и снижению негативного влияния гипоксии на их работоспособность. Указанные физиологические изменения позволили всем добровольцам выполнить задачу по длительному пребыванию в заданных НГГС, а также все запланированные работы при сохранении необходимого уровня надежности деятельности.

Сравнительный анализ особенностей процесса физиологической адаптации к НГГС в выделенных группах показал, что более адекватное и эффективное ее течение имело место у лиц, непрерывно находившихся в условиях, «пограничных» между нормоксией и гипоксией ( $pO_2 \sim 18,5$  кПа). По всей видимости, такие условия, обеспечивая непрерывную стимуляцию механизмов адаптации к гипоксии, в отличие от периодической стимуляции, приводят к ускорению формирования нового, более надежного уровня функционирования организма (или адаптированности), позволяющего более значительно, быстро и безопасно повысить гипоксическую и неспецифическую резистентность организма.

Полученные результаты в целом подтверждают заключение о том, что применение НГГС в испытанных нами режимах является перспективным способом повышения пожаробезопасности энергонасыщенных ГОО, в частности, подводных лодок.

### Литература/References

- Ищенко А.Д., Роечко В.В., Малыгин И.Г. Пожарная опасность и особенности тушения пожаров энергетических установок и помещений судов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2018. Т. 1, № 39 (1). С. 89–94 [Ishchenko A.D., Roenko V.V., Malygin I.G. Fire danger and features of extinguishing fires of power plants and ship premises. *Marine intelligent technologies*, 2018, No. 1 (39), pp. 89–94 (In Russ.)].
- Архипов А.В., Карпов А.В., Смунов А.В., Чумаков В.В. Обеспечение пожаробезопасности на подводных лодках // *Морской сборник*. 2013. № 3. С. 2–7 [Arkhipov A.V., Karpov A.V., Smurov A. V., Chumakov V.V. Ensuring fire safety on the submarines. *Naval collection*, 2013, No. 3, pp. 2–7 (In Russ.)].

3. Петров В.А., Иванов А.О. Перспективные пути повышения пожарной безопасности энергонасыщенных обитаемых герметичных объектов // *Безопасность жизнедеятельности*. 2017. № 10. С. 37–39 [Petrov V.A., Ivanov A.O. Promising Ways to Increase the Fire Safety of Energy-Saturated Inhabited Sealed Objects. *Life Safety*, 2017, No. 10, pp. 37–39 (In Russ.)].
4. Безкицкий Э.Н., Иванов А.О., Петров В.А., Ерошенко А.Ю., Грошилилин В.С., Анистратенко Л. Г., Линченко С. Н. Работоспособность человека при периодическом пребывании в гипоксических воздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов // *Экология человека*. 2018. № 9. С. 4–12 [Bezkishkii E.N., Ivanov A.O., Petrov V.A., Eroshenko A.Yu., Groshilin V.S., Anistratenko L.G., Linchenko S.N. Human Working Capacity in Periodic Stay in Hypoxic Air Environments, Reducing the Fire Hazard of Sealed Objects. *Human Ecology*, 2018, No. 9, pp. 4–12 (In Russ.)].
5. Иванов А.О., Мотасов Г.П., Ерошенко А.Ю., Грошилилин С.М., Линченко С.Н., Бугаян С.Э. Влияние различных воздушных сред, применяемых для снижения пожароопасности обитаемых гермообъектов, на функциональное состояние человека // *Медицина катастроф*. 2019. № 4. С. 24–28. [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. *Disaster Medicine*, 2019, No. 4, pp. 24–28 (In Russ.)]. DOI 10.33266/2070-1004-2019-4-24-28.
6. Иванов А.О., Петров В.А., Безкицкий Э.Н., Ерошенко А.Ю. Субъективный статус человека при длительной герметизации в гипоксических газовых средах, снижающих пожароопасность герметизируемых обитаемых объектов // *Вестник МАНЭБ*. 2018. Т. 23, № 3. С. 23–28 [Ivanov A.O., Petrov V.A., Bezkishkii E.N., Eroshenko A.Yu. The subjective status of a person with long-term sealing in hypoxic atmospheres, which reduces the fire hazard sealed manned objects // *Herald of the International Academy of Ecology and Life Safety Sciences*, 2018, Vol. 23, No. 3, pp. 23–28 (In Russ.)].
7. Ушаков И.Б., Сорокин О.Г. Адаптационный потенциал человека // *Вестник государственной академии медицинских наук*. 2004. № 3. С. 8–13. [Ushakov I.B., Sorokin O.G. Human adaptive potential. *Bulletin of the State Academy of Medical Sciences*. 2004, No. 3, pp. 8–13 (In Russ.)].
8. Иванов А.О., Ерошенко А.Ю., Барачевский Ю.Е., Шатов Д.В., Багдасарян А.С. Скрининговая оценка гипоксического состояния человека при работе в гермообъектах с пожаробезопасными газозвоздушными средами // *Безопасность-2017: Материалы I Межрегиональной научно-практ. конф.* Волгоград, 2017. С. 91–93. [Ivanov A.O., Eroshenko A.Yu., Barachevskij Yu.E., Shatov D.V., Bagdasaryan A.S. Screening assessment of the hypoxic state of a person when working in hermetic facilities with fire-safe gas-air environments. *Safety-2017: Materials of the I Inter-regional scientific and practical conference*, Volgograd, 2017, pp. 91–93. (In Russ.)].
9. Ward M. Mountain medicine. London: Crosby Lochwood Staples, 1975. 376 p.
10. Machado V.H. Mechanisms involved in autonomic and respiratory changes in rats submitted to short-term sustained hypoxia // *Materials of VI Chronic Hypoxia Symposium*, La Paz (Bolivia). 2016. P. 20–25.
11. Virues-Ortega J., Buela-Casal G., Garrido E., Alcazar B. Neuropsychological functioning associated with high-altitude exposure // *Neuropsychol Rev*. 2004. No. 14. P. 197–224.
12. Kirova Yu.I., Germanova E.L., Lukyanova L.D. The role of oxidative stress in the induction of transcription factors at different stages of adaptation to hypoxia // *Adaptation Biology and Medicine. New Challenges. New Delhi, India, Narosa Publishing House*. 2014. Vol. 7. P. 261–277.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 31.03.2020 г.

#### Авторство:

Вклад в концепцию и план исследования — А.О.Иванов, В.Ф.Беляев, А.Ю.Ерошенко, С.М.Грошилилин. Вклад в сбор данных — А.А.Танова, В.Н.Скляров, Д.В.Шатов. Вклад в анализ данных и выводы — А.О.Иванов, В.Ф.Беляев, А.Ю.Ерошенко, С.М.Грошилилин, А.А.Танова, В.Н.Скляров, Д.В.Шатов. Вклад в подготовку рукописи — А.О.Иванов, В.Ф.Беляев, А.Ю.Ерошенко, С.М.Грошилилин, А.А.Танова, В.Н.Скляров, Д.В.Шатов.

#### Сведения об авторах:

**Иванов Андрей Олегович** — доктор медицинских наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (обитаемости кораблей и медицинского обеспечения личного состава Военно-Морского Флота) научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Н.Г.Кузнецова»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; e-mail: ivanoff65@mail.ru;  
**Беляев Виктор Федорович** — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (обитаемости кораблей и медицинского обеспечения личного состава Военно-Морского Флота) научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Н.Г.Кузнецова»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; e-mail: viktme@mail.ru;  
**Ерошенко Андрей Юрьевич** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 344022, Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, д. 29; e-mail: andre-zdrav@mail.ru;

*Танова Анастасия Андреевна* — ординатор кафедры нервных болезней и нейрохирургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 344022, Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, д. 29; e-mail: eroshenkona@rambler.ru;

*Шатов Дмитрий Викторович* — кандидат медицинских наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 344022, Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., д. 29; e-mail: shatovdv@mail.ru;

*Скляр Вадим Николаевич* — полковник медицинской службы, кандидат медицинских наук, доцент, заместитель начальника военного учебного центра при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 344022, Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., д. 29; e-mail: dokru1@rambler.ru;

*Грошилин Сергей Михайлович* — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 344022, Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., д. 29; e-mail: sgroshilin@rambler.ru.

### **Уважаемые коллеги!**

Научно-практическая конференция с международным участием «ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. Вопросы эпидемиологии, фармакоэкономики и клиники хронических вирусных инфекций» пройдет 19–20 ноября 2020 года. Актуальная информация на сайте [www.anobnnc.ru](http://www.anobnnc.ru).

#### **Основные вопросы для обсуждения на конференции:**

- Всесторонняя оценка эпидемии глобальных инфекционных заболеваний — ВИЧ-инфекция, вирусные гепатиты, COVID-19;
- Успехи и неудачи современной диспансеризации и АРВТ: достижения и текущие проблемы, принципы организации и объем помощи, эффективное финансирование, возможности и пути персонализации;
- Преодоление проблемы коинфекции: ВИЧ и туберкулез на современном этапе эпидемического процесса, подходы к ведению пациента с ВИЧ, вирусными гепатитами и туберкулезом, современные стратегии и проблемные вопросы элиминации вирусных гепатитов, COVID-19 и социально-значимые инфекции;
- Коморбидные состояния: значение сопутствующих заболеваний, проблемы оказания помощи в условиях пандемии COVID-19, подходы к скринингу, профилактике, диагностике, прогнозированию течения, риска развития тяжелых форм заболеваний, лечение онкологических пациентов с инфекционными заболеваниями, поражение ЦНС при вирусных инфекциях;
- Современная лабораторная диагностика глобальных и социально-значимых инфекций: роль в верификации основных звеньев патогенеза заболеваний, экономическое обоснование инновационной диагностики коморбидных состояний; решение проблем выявления и преодоления резистентности вирусов к проводимой терапии;
- Социально-экономические аспекты комплексной помощи: экономические проблемы здравоохранения, оценка эффективности лекарственного обеспечения противовирусной терапии пациентов, возможности регионов в достижении целевых показателей, роль фармакоэкономических исследований;
- Реализация основных задач службы материнства и детства в условиях текущих пандемий: перинатальная передача, сочетанные инфекции и сопутствующие заболевания, организация помощи женщинам и детям, социальные и психологические вопросы, возможности персонализированного подхода;
- Научная работа и преподавание в области социально-значимых и глобальных инфекционных заболеваний: последние тенденции, научные разработки, подготовка специалистов.