

## АДАПТАЦИОННЫЕ РЕАКЦИИ КИСЛОРОДТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРЕБЫВАНИИ В ПОЖАРОБЕЗОПАСНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АРГОНА

А.Ю.Ерошенко<sup>1</sup>, Т.Ю.Быковская<sup>1</sup>, А.О.Иванов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России

<sup>2</sup> АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга», Санкт-Петербург

Представлены результаты анализа адаптационных реакций кислородтранспортных систем человека при его длительном пребывании в пожаробезопасной газовой среде с повышенным содержанием аргона. Показано, что в этих условиях в системах кровообращения, внешнего дыхания и крови формируются адаптационные изменения, направленные на поддержание газового гомеостаза и позволяющие поддерживать жизнедеятельность и работоспособность человека. Сделан вывод о возможности формирования подобной среды на обитаемых гермообъектах для повышения их пожаробезопасности.

Ключевые слова: адаптационные реакции, гермообъекты, кислородтранспортные системы человека, пожаробезопасная газовая среда с повышенным содержанием аргона

### Конфликт интересов / финансирование

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

**Для цитирования:** Ерошенко А.Ю., Быковская Т.Ю., Иванов А.О. Адаптационные реакции кислородтранспортных систем человека при длительном пребывании в пожаробезопасной газовой среде с повышенным содержанием аргона. *Медицина катастроф*. 2019; 105(1): 33–37.

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2019-1-33-37>

## ADAPTIVE RESPONSE OF OXYGEN-TRANSPORT SYSTEMS OF HUMAN ORGANISM TO LENGTHY STAY IN FIRE-SAFE GAS ENVIRONMENT WITH HIGH ARGON CONTENT

A.Yu.Eroshenko<sup>1</sup>, T.Yu.Bykovskaya<sup>1</sup>, A.O.Ivanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Rostov State Medical University", Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>2</sup> Joint-Stock Company "Association of Developers and Producers of Monitoring Systems", St. Petersburg, Russian Federation

The results of the analysis of adaptive reactions of human oxygen transport systems during a long stay in a fire-safe gas environment with a high content of argon are presented. It is shown that in these conditions in the systems of blood circulation, external respiration and blood system adaptive changes are formed aimed at maintaining gas homeostasis that allow to maintain human activity and performance.

The conclusion is drawn on the possibility of formation of similar environments in manned pressure chambers to improve their fire safety.

Key words: adaptive response, fireproof gas environment with a high argon content, human oxygen-transport system, pressure chambers

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

**For citation:** Eroshenko A.Yu., Bykovskaya T.Yu., Ivanov A.O., (Adaptive Response of Oxygen-Transport Systems of Human Organism to Lengthy Stay in Fire-Safe Gas Environment with High Argon Content), *Medicina katastrof*, (Disaster Medicine), 2019; (1)105: 33–37 (In Rus.), <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2019-1-33-37>

### Контактная информация:

**Ерошенко Андрей Юрьевич** – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры Ростовского государственного медицинского университета

**Адрес:** Россия, 344022, г. Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., 29

**Тел.:** +7 (863) 242-30-96

**E-mail:** andre-zdrav@mail.ru

### Contact information:

**Andrey Y. Eroshenko** – Candidate of Medical Science, Assistant Professor of Rostov State Medical University

**Address:** Russia, 29, Nakhichevansky pereulok., Rostov-on-Don, 344022

**Phone:** +7 (863) 242-30-96

**E-mail:** andre-zdrav@mail.ru

К основным проблемам безопасности при эксплуатации герметичных обитаемых объектов (самолеты, космические и подводные аппараты, пункты управления и т.д.) относится обеспечение их взрывопожарозащищенности. Среди направлений и средств решения данной проблемы особое место занимает превентивное создание и поддержание в помещениях таких объектов гипоксических газовоздушных сред (ГГС), пригодных для дыхания и при этом существенно снижающих вероятность возникновения пожара [1, 2]. Механизм применения ГГС основан на

обратной зависимости между содержанием кислорода в окружающей среде и удельным тепловыделением при горении, количеством продуктов пиролиза, их температурой и другими характеристиками пожаров и возгораний [1–3]. При этом, с точки зрения предотвращения пожаров, оптимальным вариантом создаваемой в гермообъекте ГГС является снижение концентрации кислорода до величин, при которых невозможно возникновение и распространение пламени. Оценка противопожарной эффективности ГГС показала, что для применяемых в гермообъектах

неметаллических горючих материалов и жидкостей, составляющих основу горючей нагрузки, горение прекращается при содержании кислорода в ГГС – 14% об. при парциальном давлении 14 кПа [4]. Однако пребывание человека в данных условиях может приводить к недопустимым нарушениям функционального состояния и работоспособности персонала, что до настоящего времени ограничивало применение подобных пожаробезопасных ГГС в жилых помещениях гермообъектов [5].

В 90-х гг. XX в. научным коллективом под руководством профессора Б.Н.Павлова была доказана антигипоксическая активность инертного газа аргона (Ar), в незначительных количествах присутствующего в атмосфере [6, 7]. Основываясь на данном механизме, авторами было предложено при формировании пожаробезопасных ГГС заместить часть азота аргоном, что позволило бы человеку без ущерба для его здоровья и работоспособности находиться в них длительное время. По результатам предварительных исследований, в качестве оптимальной была рекомендована ГГС, состоящая из 14% об. кислорода, 53% об. азота и 33% об. аргона при нормальном давлении [7]. Логичным продолжением данных работ явились исследования, проведенные нами в 2014–2015 гг., в которых оценивалась допустимость длительной (до 60 сут) герметизации добровольцев в заданных аргонсодержащих ГГС – АрГГС. В результате этих испытаний была в целом подтверждена возможность пребывания человека в таких средах без значительных отклонений его функционального состояния и работоспособности [8, 9].

**Цель исследования** – анализ адаптационных реакций кислородтранспортных систем испытуемых в процессе длительной герметизации в заданных АрГГС.

**Материалы и методы исследования.** Исследование проведено на испытательном стенде «МОРЖ» – сконструировано в АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга» (Санкт-Петербург) – позволяющем создавать и поддерживать заданные нормобарические АрГГС в замкнутом объеме, а также обеспечивать возможность жизнедеятельности испытуемых добровольцев – рисунок [10].

В испытаниях участвовали 6 мужчин: 5 – в возрасте 25–30 лет; один – в возрасте 51 года. Отбор добровольцев для участия в исследовании был проведен с учетом «критериев включения»: отсутствие медицинских противопоказаний к работе в условиях длительной изоляции в течение 3 мес; высокая мотивация; добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

В течение 60-суточного эксперимента в помещениях стенда формировались следующие параметры АрГГС:  $O_2 = 13,5\text{--}14,5\%$  об.;  $Ar = 30\text{--}35\%$  об.;  $CO_2 = 0,03\text{--}0,8\%$  об.,

остальное – азот, а также поддерживался нормальный уровень атмосферного давления и других параметров микроклимата. В процессе герметизации испытуемым предписывалось ежедневно выполнять специальные программы физических и интеллектуальных (операторских) нагрузок. Общая продолжительность работ – около 8 ч/сут. Во время изоляции за испытуемыми велось постоянное медицинское наблюдение, в ночное время непрерывно дистанционно регистрировалась частота сердечных сокращений (ЧСС) с использованием аппаратно-программного комплекса «Polar Team®2» (Финляндия).

Кроме этого, проводились функциональные этапные обследования, включавшие физиологические, психофизиологические, клинично-лабораторно-инструментальные и иные методы диагностики. Первичное обследование выполнялось в течение нескольких дней перед началом герметизации. При пребывании испытуемых в АрГГС аналогичные обследования осуществлялись примерно через каждые 10 сут. Заключительный этап выполнялся в обычных условиях внешней среды в течение 3–5 сут после окончания герметизации. У испытуемых оценивались в динамике параметры кислородтранспортных систем – кровообращения, внешнего дыхания, газотранспортной функции крови.

Из показателей системного кровообращения с использованием автоматизированного монитора MAPK «Микролюкс» (Россия) определяли ЧСС, систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление. В отличие от других критериев перечисленные параметры регистрировались 3 раза (утром, днем и вечером) в течение каждых суток герметизации, полученные результаты усредняли по 10-суточным периодам наблюдения. Ударный объем крови (УОК) регистрировали на эхокардиографической системе ACUSON Supress (Япония). Для детализации информации о состоянии системной гемодинамики анализировали также ряд расчетных показателей: сердечный индекс (СИ), общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС), вегетативный индекс Кердо (ВИК), индекс Робинсона (ИР) [11].

Параметры функции внешнего дыхания (ФВД) испытуемых регистрировали на спирометрическом комплексе «SCHILLER CARDIOVIT CS-200» (Швейцария). Определяли минутный объем дыхания (МОД) и потребление кислорода ( $VO_2$ ). Об эффективности внешнего дыхания судили по коэффициенту использования кислорода –  $KIO_2$  [11].

Газотранспортную функцию циркулирующей крови оценивали по показателям кислородной сатурации ( $SaO_2$ ) и содержанию гемоглобина (Hgb), определяемых в пробах капиллярной крови с использованием автоматического газоанализатора «GEM-Premier 3000» (США).



Рисунок. Общий вид жилых помещений стенда «МОРЖ»

Статистическую обработку полученных данных выполняли в программе "Statistica" v.10,0. Результаты представлялись в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (σ). Оценку значимости различий показателей на этапах наблюдения проводили при помощи критерия Вилкоксона для парных связанных выборок. Нулевая гипотеза об отсутствии различий отвергалась 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, Хельсинской декларации 1975 г. и ее пересмотра в 1983 и 2013 гг. Все добровольцы на период проведения испытаний были застрахованы на случай причинения вреда здоровью. Легитимность исследований подтверждена заключением независимого этического комитета.

**Результаты исследования и их анализ.** Все добровольцы решили основную задачу – непрерывное пребывание в заданных АргГС в течение 60 сут. Недопустимых отклонений здоровья, функционального состояния и работоспособности не было зафиксировано ни у одного из испытуемых.

По результатам динамических физиологических обследований были выявлены следующие факты. В исходном состоянии (нормоксические условия) у всех добровольцев исследуемые показатели кислородтранспортных систем организма или не выходили за рамки референтных значений, или отражали наличие умеренных гиперкинетических тенденций, обусловленных, по нашему мнению, необычностью обстановочной афферентации (обследования проводились в помещениях стенда при работающем оборудовании), естественным волнением перед началом основного этапа испытаний.

В табл. 1 представлена динамика показателей системного кровообращения у испытуемых на контрольных этапах наблюдения.

Выявленные в исходном состоянии у двух испытуемых умеренно повышенные значения ЧСС, СИ, ИР были связаны с указанными выше причинами и отражали избы-

точную эмоциональность данных лиц, что, на наш взгляд, не должно рассматриваться как противопоказание к участию в подобных испытаниях. Реакция системного кровообращения обследуемых на пребывание в АргГС на начальном этапе герметизации выражалась в статистически значимом ( $p=0,044-0,049$ ) приросте ЧСС, СИ, ВИК и ИР при реципрокном снижении ОПСС. Реактивность на гипоксию показателей артериального давления была существенно меньшей и незначимой. Степень имевших место сдвигов обратно зависела от текущей устойчивости организма испытуемых к гипоксии, характеризовалась значительной индивидуальной вариабельностью. При этом ни у одного из добровольцев не было зафиксировано стойкого выхода показателей гемодинамики за пределы норм реакции; выраженных субъективных отклонений и нарушений работоспособности также не наблюдалось, что позволило рассматривать указанные сдвиги как компенсаторные, допустимые и не препятствующие продолжению испытаний.

Следующий период герметизации – 11–30-е сутки – характеризовался относительной стабилизацией показателей системного кровообращения, свидетельствующей о формировании нового стационарного состояния, для которого характерно умеренное напряжение механизмов поддержания газового гомеостаза. В этом периоде наблюдения выявленные ранее статистически значимые различия параметров гемодинамики сохранялись.

Результаты последующих исследований показали наличие явных тенденций к нивелированию гиперкинетических реакций со стороны системного кровообращения, о чем свидетельствовало достоверное снижение значений показателей, для которых характерна наибольшая реактивность на измененные условия обитания в начальном периоде герметизации (ЧСС, СИ, ВИК, ИР).

Выявленные тенденции сохранялись до окончания периода герметизации. Заключительное обследование показало, что у всех добровольцев показатели системного кровообращения находились в пределах референтных значений, причем на существенно лучшем уровне по сравнению с исходным состоянием. Полученные данные

Таблица 1

Показатели системного кровообращения у испытуемых (n=6) в динамике наблюдения, M (σ)

Этап наблюдения, сутки	Показатель							
	ЧСС, уд./мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	СДД, мм рт. ст.	СИ, л/(мин м <sup>2</sup> )	ОПСС,дин/(с <sup>5</sup> с)	ВИК, у.е.	ИР, у.е.
Исх. состояние	78,6 (4,3)	122,7 (4,1)	84,8 (3,5)	97,4 (2,9)	3,18 (0,17)	1422 (215)	-4,9 (4,5)	96,4 (5,4)
1–10-е	84,5 (4,5) p=0,047	124,5 (4,0)	85,2 (3,1)	98,3 (2,7)	3,61 (0,15) p=0,044	1265 (158) p=0,049	-0,8 (3,9) p=0,048	105,2 (5,9) p=0,039
11–20-е	82,8 (4,5) p=0,048	123,5 (4,2)	84,3 (3,7)	97,6 (2,5)	3,40 (0,14)	1328 (221) p=0,049	-1,0 (3,9) p=0,044	103,1 (6,4) p=0,049
21–30-е	82,2 (3,1) p=0,049	123,7 (3,5)	83,0 (2,9)	96,5 (3,1)	3,38 (0,14)	1319 (295) p=0,048	-0,97(3,8) p=0,044	101,7; (5,7)
31–40-е	80,7 (3,5) p1=0,05	122,9 (3,2)	82,5 (2,7)	95,9 (2,7) p1=0,049	3,29 (0,15)	1354 (196)	-2,23(4,6)	99,2 (5,7)
41–50-е	79,5 (2,7) p1=0,048	122,1 (2,9)	80,4 (3,9) p=0,049 p1=0,045	94,3 (2,7) p1=0,047	3,30 (0,14)	1328 (178)	-1,13 (3,5) p=0,042	97,1 (4,9) p1=0,049
51–60-е	78,0 (2,8) p1=0,044	120,4 (3,9)	80,9 (2,9) p=0,049 p1=0,045	94,1 (2,5) p=0,049 p1=0,043	3,26 (0,15)	1337 (274)	-3,4 (4,1)	93,9 (3,8) p1=0,038
51–60-е	78,8 (2,9) p1=0,044	121,1 (3,8)	81,2 (2,7) p=0,049 p1=0,045	94,5 (2,4) p=0,049 p1=0,044	3,29 (0,17)	1332 (208)	-3,1 (3,9)	95,4 (3,0) p1=0,041
1–5-е после герметизации	74,0 (2,4) p=0,047 p1=0,030	118,1 (2,8) p1=0,049	78,2 (2,7) p=0,045 p1=0,035	91,5 (2,4) p=0,039 p1=0,024	3,14 (0,13) p1=0,044	1354 (205)	-5,7 (3,4) p1=0,044	87,4 (3,4) p=0,045 p1=0,024

**Примечание.** Уровень значимости различий показателей: p – по сравнению с исходным состоянием; p1 – по сравнению с первым этапом герметизации (1–10-е сут); ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; СДД – среднединамическое давление; СИ – сердечный индекс; ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление; ВИК – вегетативный индекс Кердо; ИР – индекс Робинсона

в целом отражали этапность сердечно-сосудистых адаптационных реакций и сохранность гемодинамических механизмов поддержания газового гомеостаза у испытуемых при их пребывании в смоделированных в эксперименте измененных условиях обитаемости.

Результаты исследований реактивности респираторных и гемических параметров кислородтранспортной функции организма представлены в табл. 2. Исследования функции внешнего дыхания, проведенные в исходном состоянии в условиях нормоксии, показали, что для всех испытуемых были характерны умеренно повышенные значения МОД и  $VO_2$  при нормальных величинах КИО<sub>2</sub>. Данный факт мы расценивали как неизбежную при массовом дыхании гипервентиляцию.

Контрольные обследования на этапах герметизации позволили выявить несколько закономерностей. Главная из них – гипервентиляция при параллельном снижении эффективности внешнего дыхания (уменьшение КИО<sub>2</sub>) за счет умеренного снижения  $VO_2$ .

В количественном выражении максимальная за весь период герметизации (по сравнению с нормоксией) относительная реактивность показателей ФВД наблюдалась на начальном этапе герметизации (первые 10 сут) и составляла: прирост МОД – 15–16%; снижение  $VO_2$  – 11–13; снижение КИО<sub>2</sub> – 19–20%;  $p=0,033 < 0,001$ .

Выявленные факты позволяют сделать вывод, что в заданных условиях нормоксический уровень кислородного обеспечения организма несмотря на интенсификацию механизмов кислородного транспорта – не достигается. Однако, учитывая отсутствие существенных отклонений физической и умственной работоспособности у испытуемых даже на ранних этапах герметизации, можно постулировать, что в этих условиях организм стремится «перейти» на новый, более экономный уровень энергопотребления тканей, позволяющий снизить кислородный запрос без существенного вреда для их функционирования [8, 9, 12].

Последующие контрольные исследования выявили постепенное снижение реактивности ФВД на гипоксию, так что к окончанию герметизации у участников испытаний уровень  $VO_2$  был всего на 4–5% ниже нормоксического. Значения остальных респираторных показателей также существенно «приблизились» к их исходным величинам. Заключительное обследование, выполненное в обыч-

ных условиях внешней среды, показало, что у всех добровольцев, по сравнению с исходным состоянием, имело место улучшение параметров ФВД, что, на наш взгляд, явилось подтверждением формирования в организме адаптационных изменений со стороны механизмов кислородного транспорта.

Пребывание добровольцев в АрГГС сопровождалось закономерным статистически значимым ( $p<0,001$ ) снижением  $SaO_2$ . Однако у всех испытуемых реактивность показателя не превышала 10% от нормоксического уровня, что можно расценивать как «компенсированное гипоксическое состояние» [5]. При этом в процессе испытаний наблюдалось постепенное уменьшение реактивности  $SaO_2$ , так что в заключительном периоде герметизации индивидуальные значения  $SaO_2$  достоверно – примерно на 2–3% – превышали величины показателя, зарегистрированные в начале эксперимента,  $p=0,021$ . По нашему мнению, данный факт может служить доказательством оптимизации кислородного бюджета организма, детерминированной завершённой адаптацией к гипоксическому фактору.

В процессе непрерывного пребывания испытуемых в условиях выраженного снижения содержания кислорода в окружающей среде ожидаемым фактом явился прогрессирующий прирост содержания гемоглобина циркулирующей крови, что явилось, по всей видимости, следствием стимулированного гипоксией эритропоэза. При этом критического уровня статистической значимости указанные тенденции достигали примерно к середине периода испытаний. Далее прирост содержания гемоглобина продолжался, и максимальные значения показателя были зафиксированы на заключительном этапе пребывания в АрГГС,  $p=0,025$ . Относительное увеличение уровня гемоглобина по сравнению с исходным (до начала герметизации) уровнем колебалось в диапазоне 7–15%. Являющийся следствием указанных сдвигов прирост кислородной емкости крови был направлен на сохранение кислородного гомеостаза организма и отражал сохранность адаптационных механизмов газотранспортной функции крови у всех участников испытаний.

Полученные данные показали, что при пребывании в заданных измененных условиях обитаемости у лиц с исходно сохранным адаптационным потенциалом разви-

Таблица 2

Респираторные и гемические показатели у испытуемых (n=6) в динамике наблюдения, М (σ)

Этап наблюдения, сутки	Респираторные показатели			Гемические показатели	
	МОД, л/мин	$VO_2$ , л/мин	КИО <sub>2</sub> , мл/л	$SaO_2$ , %	Hgb, г/л
Исх. состояние	13,5 (1,1)	0,435 (0,038)	32,2 (2,4)	98,2 (0,9)	145 (4)
5-е	15,9 (1,7) $p=0,002$	0,383 (0,042) $p=0,031$	24,1 (2,8) $p=0,002$	91,7 (1,2) $p<0,001$	146 (4)
15-е	15,0 (1,6) $p=0,008$	0,385 (0,039) $p=0,038$	25,6 (3,1) $p=0,020$	91,8 (1,1) $p<0,001$	150 (4)
25-е	14,0 (1,5) $p=0,035$	0,391 (0,031) $p=0,041$	27,9 (2,9) $p=0,024$	91,9 (1,0) $p<0,001$	158 (5) $p=0,032$
35-е	13,9 (1,5)	0,410 (0,037) $p=0,040$	29,3 (3,0)	92,4 (1,2) $p<0,001$ $p1=0,041$	162 (5) $p=0,030$
45-е	13,8 (2,0)	0,408 (0,030) $p=0,040$	29,1 (3,1)	92,6 (1,2) $p<0,001$ $p1=0,037$	167 (6) $p=0,027$
55-е с	13,7 (1,8) $p1=0,042$	0,418 (0,029) $p=0,047$ $p1=0,047$	31,2 (2,2) $p1=0,020$	93,4 (1,4) $p<0,001$ $p1=0,021$	167 (5) $p=0,025$
5-е после герметизации	11,9 (1,0) $p=0,047$ $p1=0,001$	0,425 (0,035) $p1=0,043$	35,7 (2,9) $p=0,033$ $p1=0,001$	98,5 (0,9) $p1<0,001$	160 (4) $p=0,033$ $p1=0,031$

Примечание. Уровень значимости различий показателей: p – по сравнению с исходным состоянием; p1 – по сравнению с первым этапом герметизации (5-е сут)

ваются экстренные и долговременные приспособительные реакции кислородтранспортных систем организма, направленные на сохранение газового гомеостаза. Итогом этого процесса явилось достижение необходимого уровня кислородного обеспечения организма, позволяющего добровольцам выполнять предписанную деятельность физического и интеллектуального содержания. Причем совершенствование газотранспортных механизмов в организме испытуемых продолжалось вплоть до окончания 60-суточного периода герметизации, что позволяет утверждать о сохранности их физиологического адаптационного потенциала и отсутствии развития недопустимых декомпенсационных сдвигов в организме.

Следует также акцентировать, что у всех участников испытаний имело место формирование важнейшей фазы адаптационного процесса, которую можно обозначить как стадию «адаптированности» или «оптимальной работоспособности» [13, 14]. При этом ни у одного из испытуемых в течение заданного периода герметизации не было отмечено тенденций к переходу работоспособности в фазы «неустойчивой компенсации» и «прогрессирующего снижения работоспособности» (декомпенсации), как это отмечается в случае чрезмерной

интенсивности или длительности рабочего цикла. Данный факт, на наш взгляд, является крайне важным, поскольку, с одной стороны, доказывает, что в результате 60-суточного пребывания испытуемых в заданных измененных условиях внешней среды не произошло истощения адаптационного потенциала их организма; с другой стороны, выявленные факты позволяют прогнозировать возможность более длительной герметизации человека в подобных искусственных газовых средах без развития недопустимых отклонений со стороны здоровья, функционального состояния и надежности деятельности.

#### Выводы

1. При длительной герметизации человека в заданных АрГТС в организме формируются приспособительные изменения со стороны газотранспортных систем организма – кровообращения, внешнего дыхания, крови. В результате организм перестраивается на новый, более экономичный уровень кислородного обеспечения, который позволяет поддерживать не только жизнедеятельность, но и достаточную работоспособность человека.

2. Полученные результаты подтверждают возможность применения подобных гипоксических сред на обитаемых гермообъектах для повышения их пожаробезопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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., Чернин С.Я., Селезнёв Д.Г., Торшин Г.С., Бардышева О.Ф. // Бюл. №18. 2014. С. 24–29.
3. Петров В.А., Иванов А.О. Перспективные пути повышения пожарной безопасности энергонасыщенных обитаемых герметичных объектов // Безопасность жизнедеятельности. 2017. №10. С. 37–39.
4. Применение воздушных сред с пониженным содержанием кислорода для обеспечения пожарной безопасности герметичных обитаемых объектов / Петров В.А., Иванов А.О., Каширин М.А., Михеев В.А. // Безопасность жизнедеятельности. 2018. №2. С. 47–50.
5. Ван Лир Э.Дж., Стикней Дж.С. Гипоксия / Пер. с англ. М.: Медицина, 1967. 368 с.
6. Павлов Б.Н., Солдатов П.Э., Дьяченко А.И. Выживаемость лабораторных животных в аргонсодержащих гипоксических средах // Авиацион. и экологич. медицина. 1998. Т.32, №4. С. 33–37.
7. Кислородно-азотно-аргоновая газовая среда при длительном пребывании человека в барокамере при избыточном давлении / Павлов Б.Н., Буравкова Л.Б., Смолин В.В., Соколов Г.М. // Морской медицинск. журнал. 1999. №2. С. 18–21.
8. Исследование возможности длительного пребывания человека в аргонсодержащих газовых средах, снижающих пожароопасность гермообъектов / Иванов А.О., Петров В.А., Бочарников М.С., Безкишкий Э.Н. // Экология человека. 2017. №1. С. 3–8.
9. Оценка отдаленных последствий длительного непрерывного пребывания человека в аргонсодержащей гипоксической газовой среде / Иванов А.О., Петров В.А., Безкишкий Э.Н., Гудков А.Б., Ерошенко А.Ю., Грошилин С.М. // Экология человека. 2017. №6. С. 9–14.
10. Стенд-модель судовых помещений для моделирования обитаемости и режимов жизнедеятельности «МОРЖ» и его инженерное обеспечение / Петров В.А., Майоров И.В., Иванов А.О., Яциневич П.В. // Вопросы оборонной техники. 2016. Вып. 7–8 (97–98). С. 104–110.
11. Загрядский В.П., Сулимо-Самуйлло З.К. Методы исследования в физиологии военного труда. Л., 1991. 112 с.
12. Функциональное состояние человека при длительной герметизации в гипоксических аргонсодержащих средах, повышающих пожаробезопасность обитаемых гермообъектов / Петров В.А., Иванов А.О., Безкишкий Э.Н., Ерошенко А.Ю., Грошилин С.М. // Матер. XXIII съезда физиолог. общества им. И.П.Павлова. Воронеж: Истоки, 2017. С. 1481–1483.
13. Сохранение и повышение военно-профессиональной работоспособности специалистов флота в процессе учебно-боевой деятельности и в экстремальных ситуациях: Методические рекомендации / Под ред. Боброва Ю.М., Кулешова В.И., Мясникова А.А. М., 2013. 104 с.
14. Работоспособность человека при периодическом пребывании в гипоксических воздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов / Безкишкий Э.Н., Иванов А.О., Петров В.А., Ерошенко А.Ю., Грошилин С.М., Анистратенко Л.Г., Линченко С.Н. // Экология человека. 2018. №9. С. 4–11.

#### REFERENCES

1. Chumakov V.V., (Alternative approaches to the problem of fire prevention in the hermetical confined spaces), (Habitability of ships. Ensuring of the radiation and toxicological safety), *Korablestroenie v XXI veke: problema i perspektivy*, (Shipbuilding in the XXI century: problems and prospects), Materials of the Interdisciplinary scientific and practical conference, St. Petersburg Publ., 2014, pp. 115–118 (In Rus.).
2. Sovetov V.I., Andreev S.P., Andreeva E.S., Chernin S.Ya., Seleznev D.G., Torshin G.S., Bardysheva O.F., *Sposob sozdaniya usloviy dlya zhiznedeyatel'nosti cheloveka v special'nom germoob'ekte VMF*, (The method of creating the environment for human life in the special hermetic object of Navy), Patent RF, No. 2520906, 2014, Bul. No. 18, 2014, pp. 24–29 (In Rus.).
3. Petrov V.A., Ivanov A.O., (Promising Ways to Increase the Fire Safety of Energy-Saturated Inhabited Sealed Objects), *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, (Life safety), 2017; 10: 37–39 (In Rus.).
4. Petrov V.A., Ivanov A.O., Kashirin M.A., Miheev V.A., (Application of air environments with reduced oxygen content to ensure fire safety of sealed inhabited objects), *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, (Life safety), 2018; 2: 47–50 (In Rus.).
5. Van Liere E.J., Stickney J.C., *Gipoksiya*, (Hypoxia), Moscow, Medicine Publ., 1967, 368 p. (In Rus.).
6. Pavlov B.N., Soldatov P.E., Diyachenko A.I., (The survival of experimental animals in hypoxic environments with argon), *Aviatsionnaya i ekologicheskaya meditsina*, (Aviation and ecological medicine), 1998; 32 (4): 33–37 (In Rus.).
7. Pavlov B.N., Buravkova L.B., Smolin V.V., Sokolov G.M., (The prolonged human staying in the altitude chamber under overpressure with oxygen-nitrogen-argon gaseous environment), *Morskoi meditsinskii zhurnal*, (Journal of marine medicine), 1999; 2: 18–21 (In Rus.).
8. Ivanov A.O., Petrov V.A., Bocharnikov M.S., Bezkiiskii E.N., (Study of possibility for human of long stay in argon containing gaseous environment reducing fire risk in hermetically sealed facilities), *Ekologiya cheloveka*, (Human Ecology), 2017; 1: 1–7 (In Rus.).
9. Ivanov A.O., Petrov V.A., Bezkiiskii E.N., Gudkov A.B., Eroshenko A.Yu., Groshilin S.M., (Evaluation of long-term effects of human's continuous stay in argon containing hypoxic gaseous environment), *Ekologiya cheloveka*, (Human Ecology), 2017; 6: 9–13 (In Rus.).
10. Petrov V.A., Mayorov I.V., Ivanov A.O., Yatsinevich P.V., (Stand-model of ship premises for modeling of habitability and regimens of life "MHR" and its engineering support), *Voprosy oboronnoy tekhniki*, (Issues of defensive technique), 2016; 7–8 (97–98): 104–110 (In Rus.).
11. Zagryadskiy V.P., Sulimo-Samujillo Z.K., *Metody issledovaniya v fiziologii voennogo truda*, (Research methods in physiology of military work), Leningrad Publ., 1991, 112 p. (In Rus.).
12. Petrov V.A., Ivanov A.O., Bezkiiskii E.N., Eroshenko A.Yu., Groshilin S.M., *Funkcional'noe sostoyanie cheloveka pri dlitel'noj germetizatsii v gipoksicheskikh argonosoderzhashchikh sredah, povyshayushchih pozharobezopasnost' obitaemykh germoob'ektov*, (Human functional state for long sealing in hypoxic argon-containing environment increased the fire safety of inhabited hermetically sealed facilities), XXIII s'ezd fiziologicheskogo obshchestva im. I.P.Pavlova, Materials of XXIII Congress of the physiological society named after acad. I.P.Pavlov, Voronezh Publ., 2017. pp. 1481–1483 (In Rus.).
13. *Sokhranenie i povyshenie voenno-professional'noj rabotosposobnosti spetsialistov flota v processe uchebno-boevoy deyatel'nosti i v ehkstremaal'nykh situatsiyah*, (Maintaining and improving of military professional working capacity of fleet specialists during training and combat activities and in extreme situations: Guidelines, Ed. by Yu.M.Bobrov, V.I.Kuleshov, A.A.Myasnikov, Moscow Publ., 2013, 104 p. (In Rus.).
14. Bezkiiskii 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), *Ekologiya cheloveka*, (Human Ecology), 2018; 9: 4–11 (In Rus.).