

УДК 612.014.481:546.293

## ВОЗМОЖНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРЕБЫВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В АРГОНОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ, СНИЖАЮЩИХ ПОЖАРООПАСНОСТЬ ГЕРМООБЪЕКТОВ

© 2017 г. А. О. Иванов, В. А. Петров, \*М. С. Бочарников, Э. Н. Безкишкий

Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга, г. Санкт-Петербург

\*Специальное конструкторско-технологическое бюро по электрохимии с опытным заводом, г. Москва

Целью исследования явилось обоснование допустимости длительного непрерывного пребывания человека и выполнения задач деятельности в гермообъекте с искусственной нормобарической аргоносодержащей гипоксической газовой средой (АрГГС), снижающей риск возникновения пожаров и возгораний. Исследования проведены с участием шести испытуемых-мужчин в возрасте 20–51 года, признанных годными к работе в условиях длительной изоляции. Длительность периода герметизации составляла 60 сут, в течение которого испытуемые выполняли рабочую программу, заключающуюся в ежедневном моделировании профессиональной деятельности. Показано, что длительное, в течение 60 сут, непрерывное пребывание участников испытаний в АрГГС с содержанием аргона 30–35 % об, кислорода 13,5–14,5 % об, диоксида углерода до 0,8 % об, азот – остальное, не привело к недопустимым отклонениям соматического здоровья, функционального состояния и работоспособности. Из негативных признаков отмечались лишь незначительные субъективные реакции, умеренное компенсаторное напряжение кислородотранспортной функции, снижение максимальной аэробной производительности (до 17 % от фонового уровня), что в целом позволило испытуемым выполнять задачи деятельности без существенного ущерба их эффективности и надежности. Полученные данные обосновывают допустимость формирования подобных сред на обитаемых гермообъектах для повышения их пожаробезопасности.

**Ключевые слова:** пожаробезопасность гермообъектов, аргоносодержащая гипоксическая газовая среда, функциональное состояние, работоспособность

## POSSIBILITIES OF HUMAN'S LONG STAY IN ARGON CONTAINING GASEOUS ENVIRONMENT REDUCING FIRE RISK IN HERMETICALLY SEALED FACILITIES

A. O. Ivanov, V. A. Petrov, \*M. S. Bocharnikov, E. N. Bezkishkii

Association of developers and producers of monitoring systems, Saint-Petersburg

\*Special Design and Technological Bureau of electrochemistry with experimental plant, Saint-Petersburg, Russia

The aim of the study is feasibility for permissibility of human's long and constant stay as well as tasks performance in hermetically sealed facility with artificial normobaric argon containing hypoxic gaseous environment (ArHGE), reducing the fire and ignition risk. Methods. The study was conducted with participation of 6 test men aged 20 to 51 year, classified as fit for sailing in submarines. The duration of sealed period was 60 days, during which the test men carried out a work program, consisting of the daily modeling professional activity. Results. It was shown that long-term (for 60 days) constant stay of test men in predetermined ArHGE (argon content 30-35 %, oxygen 13.5-14.5 %, carbon dioxide - 0.8 %, nitrogen - the rest) did not result in unacceptable somatic health functional status and capability distress. Among the negative evidences, only minor subjective reactions, moderate compensatory stress of oxygen transport function, decrease in maximum aerobic performance (up to 17 % of background level) were noticed, that generally allowed the test men to perform the activity tasks without substantial damage to their efficiency and reliability. Conclusion. The obtained data proved feasibility of creation such environment at inhabited hermetically sealed facilities to increase their fire safety.

**Keywords:** fire safety of hermetically sealed facilities, argon containing hypoxic gaseous environment, functional state, working ability

### Библиографическая ссылка:

Иванов А. О., Петров В. А., Бочарников М. С., Безкишкий Э. Н. Возможности длительного пребывания человека в аргоносодержащих газовых средах, снижающих пожароопасность гермообъектов // Экология человека. 2017. № 1. С. 3–8.

Ivanov A. O., Petrov V. A., Bocharnikov M. S., Bezkishkii E. N. Possibilities of Human's Long Stay in Argon Containing Gaseous Environment Reducing Fire Risk in Hermetically Sealed Facilities. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 1, pp. 3-8.

К перспективным направлениям в обеспечении пожаробезопасности герметичных обитаемых объектов является создание пригодных для дыхания искусственных газоздушных сред (ИГС), обеспечивающих работоспособность личного состава на заданном уровне и при этом существенно снижающих вероятность возникновения и развития пожара ввиду низкого содержания в них кислорода [1, 2]. Поскольку основные характеристики пожара — температура

горения материала, скорость горения и выделения тепла, время индукции пламени и другие напрямую детерминированы концентрацией кислорода в газовой среде, именно разработка искусственных гипоксических газоздушных сред (ГГС) открывает перспективы повышения пожарной безопасности в гермообъектах [2, 9]. По химическому составу такие среды обязательно включают кислород, а также индифферентные газы-разбавители [5], которые не

горят, не поддерживают горения и не вступают в реакцию с обычными материалами.

Наиболее частым и простым способом создания ГГС является замещение части кислорода воздуха азотом. Оценка противопожарной эффективности азотсодержащих ГГС показала, что горение основных конструкционных материалов, используемых при строительстве гермообъектов, прекращается при содержании кислорода в ИГС менее 14 % (парциальном давлении ниже 14 кПа). Однако известно, что длительное пребывание человека в таких условиях затруднительно и может приводить к недопустимым нарушениям функционального состояния и работоспособности [1, 3]. Одним из вариантов решения проблемы безопасности подобных ГГС для человека явилось формирование их в условиях умеренного (до 0,15 мПа) повышения общего барометрического давления в гермообъекте. В этом случае при концентрации кислорода в среде на уровне 14 % его парциальное давление соответствует «нормоксическим» значениям (около 20 кПа). Проведение стендовых испытаний по оценке возможности длительного (до 45 сут) пребывания человека в таких условиях показало отсутствие недопустимых отклонений функционального состояния и профессиональной работоспособности специалистов в течение всего заданного периода экспозиции [9, 10]. Однако такое повышение общего барометрического давления, в 1,5 раза превышающего атмосферное, является недопустимым для большинства оборудования гермообъектов, в связи с чем данный способ формирования ГГС не нашел практического применения и реализации.

В 90-х годах прошлого века Б. Н. Павловым с соавт. [5–7] была обоснована концепция о физиологической активности «метаболически индифферентных газов» (гелий, аргон, ксенон) не только при повышенном, но и при нормальном барометрическом давлении. Суть концепции заключается в том, что индифферентные газы прямо влияют на обмен веществ в тканях организма, позволяя существенно повысить их толерантность к гипоксии. Основываясь на данной концепции, авторы предложили при формировании пожаробезопасных ГГС заместить часть азота инертным газом.

Однако единственно возможным для решения проблемы создания таких ГГС в гермообъектах оказалось использование в составе газовой среды избыточного содержания аргона, являющегося одним из компонентов атмосферного воздуха, где его концентрация составляет около 0,9 %. В экспериментах на лабораторных животных и в исследованиях с участием человека доказано наличие антигипоксического эффекта аргона при его добавлении в ГГС, что было подтверждено при непрерывном (до 10 сут) нахождении испытуемых в подобных средах [6, 7]. На основании полученных результатов для повышения пожарной безопасности гермообъектов авторами была рекомендована ГГС, состоящая из 14 % об кислорода, 53 % об азота и 33 % об аргона [8]. Данная искусственная ГГС,

по предположению перечисленных исследователей, не окажет существенного негативного влияния на организм специалистов и при более длительной экспозиции, что, однако, нуждается в обязательной проверке.

В связи с вышеизложенным целью данной работы явилось проведение исследований по оценке влияния на человека длительного непрерывного пребывания в заданных аргоносодержащих ГГС (АрГГС), снижающих риск возникновения пожаров и возгораний на гермообъектах.

### Методы

Тип проведенного исследования — проспективное когортное. Исследования проводились в 2014–2015 годах в рамках госконтракта № 12411.1400099.09.046 от 25.12.2012 шифр «Аргон» по заказу Минпромторга России с использованием испытательного стенда (ИС) на базе АО «АСМ» (С.-Петербург). Конструкция ИС позволяла моделировать заданные нормобарические АрГГС в замкнутом объеме, а также обеспечивать возможность длительного непрерывного пребывания и выполнения работ в них испытуемых-добровольцев. Исследования проведены с участием 6 мужчин в возрасте 25–30 лет (5 человек) и 51 года (1 человек). Отбор добровольцев для участия в исследованиях был проведен с учетом следующих критериев: необходимый уровень состояния здоровья; достаточный уровень функциональных возможностей организма, позволяющий выполнять физические, умственные и другие нагрузки (имитирующие деятельность персонала гермообъектов); высокая мотивация к участию в испытаниях; добровольное информированное согласие на участие в исследованиях; отсутствие медицинских противопоказаний к работе в условиях длительной изоляции сроком до 3 мес.

В течение всего периода герметизации в помещениях ИС формировались следующие заданные параметры АрГГС: содержание кислорода 13,5–14,5 % об, аргона 30–35 % об, диоксида углерода 0,03–0,8 % об, азот — остальное, при нормальных величинах атмосферного давления и других параметров микроклимата. Длительность периода герметизации составляла 60 сут, в течение которого испытуемые выполняли рабочую программу, заключающуюся в ежедневном моделировании профессиональной деятельности интеллектуального или операторского содержания (работа на тренажерах), а также интенсивных разноmodalных физических нагрузок (силовая подготовка, велотренажер, отработка элементов рукопашного боя, индивидуальные специальные программы физических упражнений). Общая продолжительность ежедневных работ и занятий составляла 3–4 ч в сутки. Как правило, еще 3–4 ч в сутки занимали функциональные обследования. Кроме того, были организованы посменные круглосуточные дежурства. Таким образом, повседневная деятельность участников испытаний была приближена к реальной деятельности персонала гермообъектов.

В течение периода наблюдения все испыталители проходили углубленные этапные комплексные обследования, которые были направлены на всестороннюю оценку соматического статуса, функционального состояния и работоспособности участников испытаний и включали физиологические, психофизиологические, психодиагностические, клиничко-лабораторно-инструментальные и иные исследования. Первичное (фоновое) обследование проводилось в течение нескольких дней перед началом испытаний. Контрольные обследования на этапе герметизации осуществлялись примерно через каждые 10 дней пребывания испыталителей в АрГГС. Заключительный этап выполнялся в обычных условиях внешней среды в течение 3–5 сут после окончания герметизации. В статье выборочно представлены результаты исследований, с использованием которых интегрально оценивалось функциональное состояние испыталителей в динамике наблюдения, что позволяло сформулировать общее заключение о допустимости пребывания человека в условиях заданной искусственной экосистемы.

Так, в качестве одной из интегральных субъективных методик был использован стандартизированный вопросник «Самочувствие, активность, настроение – САН» [4]. Контроль физиологического состояния испыталителей осуществлялся путем регистрации комплекса показателей кровообращения, дыхания, крови. В данной работе представлена динамика ряда параметров кислородтранспортной функции организма испыталителей, напрямую отражающих состояние гомеостаза в измененных условиях обитаемости: сатурации крови кислородом ( $\text{SaO}_2$ ), частоты сердечных сокращений (ЧСС), систолического и диастолического артериального давления (САД, ДАД). Перечисленные параметры регистрировались у испыталителей в условиях оперативного покоя с использованием автоматизированного монитора МАРГ «Микролюкс» (РФ).

Оценка уровня физиологических возможностей организма (УФВО) проводилась путем моделирования ступенчато нарастающей физической работы субмаксимальной мощности (до достижения порога анаэробного обмена – ПАНО) на велоэргометре эргоспирометрического комплекса Schiller Cardiovit CS-200 (Швейцария). В процессе выполнения проб у испыталителя непрерывно проводились регистрация и автоматизированный клинический анализ электрокардиограммы с расчетом ЧСС; 1 раз за 10 с фиксировались показатели вентиляции легких (минутный объем дыхания – МОД, частота дыхания – ЧД, дыхательный объем – ДО), газообмена (потребление кислорода –  $\text{VO}_2$  и выделение диоксида углерода –  $\text{VCO}_2$ ); с дискретностью 1 раз в мин автоматически регистрировалось САД и ДАД. Фиксировалась мощность нагрузки, при которой достигался ПАНО, а также общее время работы до достижения ПАНО.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием п.п.п. “Statistica” v.10.0. Результаты представлялись в виде медиан (Me), нижнего и верхнего квартилей ( $Q_{25}$ ;  $Q_{75}$ ).

Оценку значимости различий показателей на этапах наблюдения проводили при помощи непараметрических критериев (Вилкоксона, критерий знаков). 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 Хельсинкской декларацией 1975 года и ее пересмотра 1983-го.

### Результаты

Главным итогом испытаний явилось выполнение всеми обследованными лицами основной задачи по непрерывному пребыванию в заданных условиях обитаемости в помещении ИС. Случаев соматических заболеваний (в том числе простудных, гнойничковых кожных, стоматологических, которые наиболее часто встречаются в условиях длительной герметизации), отказов от проведения запланированных исследований, снижения мотивации к их продолжению не зарегистрировано.

Динамика субъективного состояния испытуемых при пребывании в заданных АрГГС не отличалась четкой направленностью, имела «размытый» характер. В большинстве случаев участники испытаний вообще не предъявляли жалоб на самочувствие, связанных с пребыванием в измененных условиях обитаемости, либо отмечали лишь слабо выраженные и быстро проходящие признаки легкого головокружения, ощущений «субъективного дискомфорта», легкой общей слабости или учащения дыхания и др. Отражением указанных тенденций явились результаты тестирования по методике САН (табл. 1). Характер динамики показателя самочувствия был индивидуальным и обуславливался главным образом внутренними характеристиками испытуемых, субъективной оценкой ситуации эксперимента, соответствуя вариативной норме реакции. Со стороны показателя активности наблюдалось умеренное его снижение после 3 недель испытаний при восстановлении исходного уровня к последней декаде герметизации. Со стороны самооценок настроения отмечено некоторое их повышение в период 5–6-й недель эксперимента, что, возможно, явилось эмоциональной реакцией на предстоящее окончание испытаний. Полученные данные, а также результаты других исследований позволили констатировать отсутствие недопустимых отклонений субъективного и психоэмоционального статуса испытуемых в течение всего периода герметизации.

Анализ динамики физиологических параметров в покое выявил, что во время пребывания в АрГГС у испытуемых имела место умеренная компенсаторная активация механизмов, направленных на поддержание кислородного гомеостаза (табл. 2). Выраженность указанных реакций зависела от текущей устойчивости организма к условиям гипоксии, характеризуюсь значительной индивидуальной вариабельностью и имея тенденцию к снижению по мере продолжения

Таблица 1

Результаты тестирования испытуемых (n = 6) с использованием методики САН на этапах наблюдения, баллы							
Этап испытаний		Самочувствие		Активность		Настроение	
		Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	p	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	p	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	p
Первичное обследование (нормоксия)	5 сут до герметизации	5,90 (5,25; 6,75)		5,60 (4,70; 5,70)		6,30 (5,50; 6,80)	
Этап герметизации (АрГГС)	9-е сут	6,35 (6,00; 6,65)	0,2	5,50 (5,00; 5,65)	0,9	6,30 (6,00; 6,80)	0,4
	20-е сут	6,25 (5,50; 6,80)	0,7	5,00 (4,30; 5,50)	0,5	6,00 (5,70; 6,60)	0,9
	30-е сут	6,25 (4,70; 6,80)	0,8	5,30 (4,00; 5,80)	0,7	5,80 (4,40; 7,00)	0,4
	40-е сут	6,00 (5,30; 6,70)	0,7	5,00 (4,90; 5,90)	0,8	5,80 (4,90; 5,90)	0,1
	51-е сут	6,60 (6,00; 6,85)	0,2	5,70 (5,50; 5,70)	0,4	6,30 (5,70; 6,80)	0,6
	57-е сут	6,80 (6,37; 7,00)	0,1	5,70 (5,00; 6,30)	0,2	6,70 (6,00; 6,90)	0,2
Заключительное обследование (нормоксия)	3-е сут после герметизации	6,70 (6,00; 7,00)	0,1	6,00 (5,60; 6,65)	0,2	6,20 (6,00; 6,90)	0,4

Примечание. p – уровень статистической значимости различий (критерий знаков) по сравнению с первичным обследованием.

Таблица 2

Показатели кислородтранспортной системы организма испытуемых (n = 6) на этапах наблюдения, Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )					
Этап испытаний		Показатель			
		ЧСС, уд./мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	SaO <sub>2</sub> , %
Первичное обследование (нормоксия)	1–5-е сут до герметизации	78 (72; 84)	120 (115; 125)	72 (70; 79)	98 (97; 99)
Этап герметизации (АрГГС)	1–10-е сут	86 (76; 91) p=0,004	120 (112; 129)	75 (70; 83)	91 (90; 92) p<0,001
	11–20-е сут	88 (80; 90) p=0,027	126 (118; 134) P=0,011	78 (73; 87) P=0,042	91 (90; 91) p<0,001
	21–30-е сут	87 (80; 90) p=0,027	125 (113; 133) P=0,035	78 (71; 88) p=0,012 P=0,042	91 (90; 92) p<0,001
	31–40-е сут	85 (77; 91) p=0,032 P=0,05	124 (111; 129)	78 (70; 86)	92 (90; 92) p<0,001 P=0,041
	41–50-е сут	83 (77; 90) p=0,042	119 (112; 124) p=0,049	73 (69; 83)	92 (91; 93) p<0,001 P=0,037
	51–60-е сут	81 (76; 86) P=0,014	120 (112; 131)	75 (69; 85)	93 (92; 94) p<0,001 P=0,021
Заключительное обследование (нормоксия)	1–5-е сут после герметизации	78 (72; 82) p=0,012	124 (117; 128)	78 (71; 83)	98 (97; 99) P<0,001

Примечание. Уровень значимости различий (по критерию Вилкоксона): p – по сравнению с исходным состоянием; P – по сравнению с 1-м этапом герметизации (1–10-е сут).

герметизации. Из регистрируемых параметров кровообращения статистически значимый прирост (примерно на 8–10 % по сравнению с нормоксическим уровнем) отмечен лишь со стороны ЧСС в покое (p = 0,004–0,042). Реактивность на гипоксию показателей артериального давления была существенно меньшей и незначимой. Нахождение испытуемых в заданных АрГГС сопровождалось закономерным статистически значимым (p < 0,001) снижением сатурации артериальной крови (SaO<sub>2</sub>) по сравнению с нормоксическими условиями. Степень выраженности данных сдвигов на всех этапах измерений не превышала 9–10 % от нормоксического уровня, что отражает умеренно сниженное содержание кислорода в артериальной крови, свидетельствуя о компенсации гипоксического воздействия [3]. По мере продолжения испытаний наблюдалось постепенное уменьшение реактивности SaO<sub>2</sub> в ответ на гипоксический стимул, так что на этапе 30–60-х сут герметизации индивидуальные

значения SaO<sub>2</sub> при гипоксии существенно (примерно на 1–1,5 %) превышали соответствующие величины показателя, регистрируемые в начале эксперимента.

Результаты выполнения участниками испытаний физических нагрузок до достижения ПАНО показали (табл. 3), что обследованные лица имели существенные различия по исходному состоянию аэробной выносливости. При этом вне зависимости от исходного УФВО на протяжении всего периода испытаний в процессе выполнения проб с субмаксимальной нагрузкой патологических реакций организма не отмечено ни у одного из обследованных лиц. Во всех случаях нагрузка прекращалась по команде врача-исследователя при достижении тестируемым мощности работы на 1 «ступень» выше ПАНО. На этапе герметизации у испытуемых отмечено уменьшение объема физической работы до достижения ПАНО, а также снижение потребления кислорода и выделения диоксида углерода по сравнению с нормоксическим уровнем этих

Таблица 3

Показатели, зарегистрированные при достижении порога анаэробного обмена в процессе выполнения испытуемыми ( $n = 6$ ) велоэргометрических проб на этапах контрольных обследований,  $M_e (Q_{25}; Q_{75})$

Этап обследования	Показатель									
	$VO_2$ , л/мин	$VCO_2$ , л/мин	МОД, л/мин	ЧД, ед./мин	ДО, л	ЧСС, уд./мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	Мощность, Вт	Время, с
Первичное обследование	1,769 (1,694; 1,876)	1,783 (1,690; 1,864)	51,5 (44,0; 56,0)	26 (17; 31)	2,01 (1,82; 2,47)	131 (122; 152)	182 (167; 205)	80 (73; 92)	125 (125; 150)	295 (290; 360)
10-е сут герметизации	1,630 (1,398; 1,780) $p=0,045$	1,668 (1,490; 1,800) $p=0,045$	50,5 (44,0; 54,0)	22 (18; 30)	2,05 (1,80; 2,87)	128 (119; 137)	151 (147; 177) $p=0,045$	86 (72; 92)	113 (100; 125) $p=0,036$	245 (200; 270) $p=0,003$
20-е сут герметизации	1,657 (1,644; 1,906) $p=0,048$	1,700 (1,652; 1,900) $p=0,046$	50,0 (47,0; 59,0)	23 (20; 24)	2,33 (1,72; 2,65)	122 (116; 130)	171 (154; 178) $p=0,048$	86 (78; 93)	125 (100; 125) $p=0,046$	255 (210; 270) $p=0,009$
30-е сут герметизации	1,699 (1,680; 1,882)	1,725 (1,702; 1,814)	56,5 (45,0; 61,0)	22 (14; 28)	2,40 (2,07; 3,13)	120 (115; 133)	170 (163; 172) $p=0,046$	88 (70; 99)	125 (100; 125) $p=0,046$	260 (220; 280) $p=0,017$
40-е сут герметизации	1,717 (1,690; 1,802)	1,723 (1,702; 1,847)	57,0 (50,0; 60,0)	21 (16; 30)	2,70 (2,28; 3,14)	123 (118; 133)	181 (156; 188)	84 (75; 94)	125 (100; 125) $p=0,046$	260 (210; 290) $p=0,017$
50-е сут герметизации	1,705 (1,685; 1,802)	1,727 (1,704; 1,820)	58,0 (49,0; 61,0)	22 (18; 26)	2,53 (2,35; 3,34)	139 (131; 144)	183 (177; 197)	85 (79; 91)	125 (125; 125)	230 (220; 290) $p=0,032$
59-е сут герметизации	1,707 (1,642; 1,800)	1,718 (1,675; 1,824)	58,0 (52,0; 60,0)	25 (17; 29)	2,62 (2,43; 3,55) $p=0,046$	135 (130; 138)	183 (174; 191)	90 (80; 98)	125 (125; 125)	295 (280; 300) $p=0,038$
5-е сут после герметизации	1,927 (1,752; 1,992) $p=0,046$	1,945 (1,778; 2,120) $p=0,046$	53,0 (47,0; 63,0)	24 (13; 40)	2,27 (1,52; 3,43)	138 (121; 151)	189 (168; 206)	82(78; 95)	150 (150; 150) $p=0,05$	345 (330; 360) $p=0,025$

Примечание.  $p$  – уровень значимости различий показателей по сравнению с первичным обследованием (по критерию Вилкоксона).

параметров. Полученные факты свидетельствовали о снижении УФВО при нахождении испытуемых в заданных АрГГС. Тем не менее относительно невысокая степень этого снижения (примерно 12–17 % от нормоксического уровня) позволяет в целом считать возможным выполнение основных задач деятельности с сохранением необходимого уровня ее эффективности и надежности. В пользу данного утверждения могут свидетельствовать имевшие место тенденции к постепенному увеличению прямых критериев максимальной аэробной производительности по мере продолжения стендовых испытаний. При этом наилучшие по сравнению со всеми этапами герметизации результаты были зафиксированы при заключительном тестировании этого периода. Кроме того, при заключительном функциональном обследовании, проведенном через несколько дней после окончания испытаний, выявлено статистически значимое увеличение (по сравнению с первичным обследованием) прямых критериев работоспособности (объема и времени нагрузки до ПАНО). Отмечено также повышение показателей газообмена, зафиксированных при достижении ПАНО, при существенно меньшей выраженности изменений параметров кровообращения.

#### Обсуждение результатов

За период проведения испытаний у всех обследованных лиц не зафиксировано тенденций к истощению

УФВО, более того, имели место тенденции к его расширению. Возможно, выявленное при пребывании в заданной АрГГС снижение максимальной аэробной производительности является отражением не редукции УФВО, а своего рода «охранительной» реакции, направленной на предупреждение потенциально недопустимого дефицита кислородного обеспечения организма во время выполнения сверхинтенсивной физической работы.

Проведенные в динамике наблюдения исследования психофизиологических качеств, умственной (в том числе операторской) работоспособности, клеточного состава крови, параметров обмена веществ, кислотно-основного состояния, показателей специфической и неспецифической защиты (в том числе аутоантителообразования), активности про- и антиоксидантной систем, свертывающе-противосвертывающей системы, уровня основных онкомаркеров и другие исследования состояния гомеостаза показали отсутствие недопустимых изменений у всех обследованных лиц на протяжении всего периода испытаний. Результаты перечисленных исследований подробно будут изложены в наших последующих публикациях.

В ходе проведения исследований показана допустимость длительного (до 60 сут) непрерывного пребывания человека в заданной АрГГС. В течение всего периода испытаний выраженных отклонений здоровья и функционального состояния у обследованных лиц

не отмечено, выполнение задач профессиональной деятельности происходит без существенного ущерба ее эффективности и надежности. Полученные результаты обосновывают возможность применения подобных сред на обитаемых гермообъектах для повышения их пожаробезопасности.

#### Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Миррахимов М. М. Горы и резистентность организма. М. : Наука, 1970. 184 с.
2. Архипов А. В., Карпов А. В., Смуров А. В., Чумаков В. В. Обеспечение пожаробезопасности на подводных лодках // Морской сборник. 2013. № 3. С. 2–7.
3. Ван Лир Э., Стикней К. Гипоксия / пер. с англ. М. : Медицина, 1967. 368 с.
4. Доскин В. А., Лаврентьева Н. А., Стронгина О. М., Шарай В. Б. Психологический тест «САН» применительно к исследованиям в области физиологии труда // Гигиена труда. 1975. № 5. С. 28–32.
5. Павлов Б. Н., Смолин В. В., Баранов В. М., Соколов Г. М., Куссмауль А. Р., Павлов Н. Б., Шереметова Н. Н., Тугушева М. П., Жданов В. Н., Логунов А. Т., Потопов В. Н. Основы барофизиологии, водолазной медицины, баротерапии и лечения инертными газами / под ред. А. И. Григорьева. М. : Грант Полиграф, 2008. 494 с.
6. Павлов Б. Н., Буравкова Л. Б., Смолин В. В., Соколов Г. М. Кислородно-азотно-аргоновая газовая среда при длительном пребывании человека в барокамере при избыточном давлении // Морской медицинский журнал. 1999. № 2. С. 18–21.
7. Павлов Б. Н., Солдатов П. Э., Дьяченко А. И. Выживаемость лабораторных животных в аргонсодержащих гипоксических средах // Авиационная и экологическая медицина. 1998. Т. 32, № 4. С. 33–37.
8. Солдатов П. Э. Физиолого-гигиеническое обоснование новых методов обеспечения организма кислородом в экстремальных условиях: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2006. 48 с.
9. Способ создания условий для жизнедеятельности человека в гермообъекте : пат. № 2138421 Рос. Федерация МПК В63С11/00, В63С11/36 от 14.12.95 / Шараевский Г. Ю., Сухоруков В. С., Чумаков В. В., Гребеник М. А., Семко В. В., Илюхин В. Н., Ласточкин Г. И., Бардышева О. Ф. ; заявитель и патентобладатель Войсковая часть 27177. № 95121059/28; заявл. 14.12. 1995, опубли. 27.09.1999.
10. Чумаков В. В. Альтернативные подходы к решению проблемы предотвращения пожаров в герметично замкнутых объемах // Обитаемость кораблей. Обеспечение радиационной и токсикологической безопасности : материалы Межотраслевой науч.-практ. конф. «Кораблестроение в XXI веке: проблемы и перспективы» (ВОКОР-2014), Санкт-Петербург, 21–22 октября, 2014. С. 115–118.

#### References

1. Agadzhanian N. A., Mirrakhimov M. M. *Gory i rezistentnost' organizma* [Mountains and resistance of the organism]. Moscow, Nauka Publ., 1970, 184 p.

2. Arkhipov A. V., Karpov A. V., Smurov A. V., Chumakov V. V. Ensuring fire safety on the submarines. *Morskoi sbornik* [Naval collection]. 2013, 3, pp. 2-7. [in Russian]

3. Van Lir E., Stiknei K. *Gipoksiya* [Hypoxia]. Moscow, Meditsina Publ., 1967, 368 p.

4. Doskin V. A., Lavrent'eva N. A., Strongina O. M., Sharai V. B. Psychological test "Health.Activity. Mood." on research into physiology of work. *Gigiena truda* [Hygienics of work]. 1975, 5, pp. 28-32. [in Russian]

5. Pavlov B. N., Smolin V. V., Baranov V. M., Sokolov G. M., Kussmaul' A. R., Pavlov N. B., Sheremetova N. N., Tugusheva M. P., Zhdanov V. N., Logunov A. T., Potapov V. N. *Osnovy barofiziologii, vodolaznoi meditsiny, baroterapii i lecheniya inertnymi gazami* [Basics of barophysiology, diving medicine, barotherapy and treatment by inert gases]. Ed. A. I. Grigor'ev. Moscow, Grant Poligraf Publ., 2008, 494 p.

6. Pavlov B. N., 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, pp. 42-43. [in Russian]

7. Pavlov B. N., Soldatov P. E., D'yachenko A. I. The survival of experimental animals in hypoxic environments with argon. *Aviatsionnaya i ekologicheskaya meditsina* [Aviation and ecological medicine]. 1998, 32 (4), pp. 33-37. [in Russian]

8. Soldatov P. E. *Fiziologo-gigienicheskoe obosnovanie novykh metodov obespecheniya organizma kislorodom v ekstremal'nykh usloviyakh. Avtoref. dokt. diss* [Physiological and hygienic substantiation of new methods supply organism with oxygen in extreme conditions. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Moscow, 2006, 48 p.

9. *Sposob sozdaniya uslovii dlya zhiznedeyatel'nosti cheloveka v germoob'ekte: Patent № 2138421 Russian Federation MPK B63C11/00, B63C11/36 ot 14.12.95* [The method of creating the environment for human life in hermetic object. Patent RF, no 2138421]. Sharaevskii G. Yu., Sukhorukov V. S., Chumakov V. V., Grebenik M. A., Semko V. V., Ilyukhin V. N., Lastochkin G. I., Bardysheva O. F., zayavl. 14.12. 1995, opubl. 27.09.1999.

10. Chumakov V. V. Al'ternativnye podkhody k resheniyu problemy predotvrashcheniya pozharov v germetichno zamknutykh ob'emakh [Alternative approaches to the problem of fire prevention in the hermetical confined spaces]. In: *Materialy Mezhotraslevoi nauch.-prakt. konf. «Korablestroenie v XXI veke: problemy i perspektivy» (VOKOR-2014), SPb., 21-22 oktyabrya 2014* [Proceedings of Interindustrial scientific and practical Conference "Shipbuilding in the XXI century: problems and prospects", Saint-Petersburg, 21-22 October 2014]. Saint-Petersburg, 2014, pp. 115-118.

#### Контактная информация:

Иванов Андрей Олегович — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга»

Адрес: г. Санкт-Петербург, 17-я линия Васильевского острова, д. 4–6

E-mail: ivanoff65@mail.ru