

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СОСТАВА ИСКУССТВЕННЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД, ПОТЕНЦИАЛЬНО ПРИМЕНИМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ОБИТАЕМЫХ ГЕРМООБЪЕКТОВ

© 2020 г. <sup>1,3</sup>Э. Н. Безкишкий, <sup>2</sup>А. О. Иванов, <sup>4</sup>А. Ю. Ерошенко, <sup>3</sup>Ю. Е. Барачевский, <sup>4</sup>Д. В. Шатов, <sup>4</sup>А. А. Танова, <sup>5</sup>С. Н. Линченко, <sup>4</sup>С. М. Groshilin

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, г. Санкт-Петербург; <sup>2</sup>НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. адмирала Н. Г. Кузнецова», г. Санкт-Петербург; <sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Архангельск; <sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Ростов-на-Дону; <sup>5</sup>ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Краснодар

Одним из направлений обеспечения безопасной эксплуатации обитаемых герметизируемых объектов является создание в них гипоксических газовых сред, пригодных для дыхания и снижающих риск пожаров. *Цель* – проверка влияния на человека нормобарических гипоксических сред различного состава для выбора сред, потенциально применимых для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов. *Методы*. В рандомизированном контролируемом испытании участвовали 60 мужчин 20–55 лет, распределенных на три группы (по 20 человек) в зависимости от состава газовой среды, в которой они находились в течение 4 часов. Состав газовых сред: № 1 – кислород = 16–17 %, азот – остальное; № 2 – кислород = 14–15 %, азот – остальное; № 3 – кислород = 14 %, аргон = 35 %, азот – остальное. Функциональное состояние испытуемых оценивали с помощью анкет жалоб, физиологических критериев и функциональных проб. *Результаты*. Установлено, что наиболее выраженные негативные изменения субъективного статуса, физиологических параметров, переносимости функциональных нагрузок имели место при пребывании испытуемых в газовой среде № 2, причем по большинству показателей у них зафиксированы значимые ( $p < 0,05–0,001$ ) различия по сравнению с представителями других групп. Выявленные факты указывают на недопустимость применения таких сред в обитаемых гермообъектах. Пребывание в газовых средах № 1 и № 3 сопровождалось в целом сопоставимыми и допустимыми изменениями функционального состояния, несмотря на существенно меньшее содержание кислорода в аргоносодержащей среде (№ 3). *Выводы*. Для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов допустимо применение газовых сред № 1 и № 3. Добавление в гипоксические среды аргона позволяет снизить негативные эффекты кислородной недостаточности, что дает возможность использовать газовые среды с большей степенью гипоксии и, следовательно, более эффективные для обеспечения пожарозащищенности обитаемых гермообъектов.

**Ключевые слова:** пожаробезопасные газовые среды, аргон, обитаемые герметизируемые объекты

## PHYSIOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE ARTIFICIAL GAS ENVIRONMENTS COMPOSITION POTENTIALLY APPLICABLE FOR IMPROVING THE FIRE SAFETY OF INHABITED SEALED OBJECTS

<sup>1,3</sup>E. N. Bezkishkii, <sup>2</sup>A. O. Ivanov, <sup>4</sup>A. Yu. Eroshenko, <sup>3</sup>Yu. E. Barachevskii, <sup>4</sup>D. V. Shatov, <sup>4</sup>A. A. Tanova, <sup>5</sup>S. N. Linchenko, <sup>4</sup>S. M. Groshilin

<sup>1</sup>Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg; <sup>2</sup>Adm. N. G. Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg; <sup>3</sup>North State Medical University, Arkhangelsk; <sup>4</sup>Rostov State Medical University, Rostov-on-Don; <sup>5</sup>Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

One of the trends for ensuring the safe operation of sealed inhabited objects is the creation of hypoxic gas environments, suitable for breathing and reducing the risk of fires. *The aim* was to test the effect of normobaric hypoxic environments of various compositions on a person, to select environments that are potentially applicable to improve fire safety of inhabited sealed objects. *Methods*. The randomized controlled study involved 60 men aged 20–55 years, divided into 3 groups (20 people each) depending on the composition of the gas environment in which they were kept for 4 hours. The composition of the tested gas environments: No. 1 - oxygen = 16–17 %, nitrogen - the rest; No. 2 - oxygen = 14–15 %, nitrogen - the rest; No. 3 - oxygen = 14 %, argon = 35 %, nitrogen - the rest. The functional state of the subjects was assessed using complaint forms, physiological criteria and functional tests. *Results*. The most pronounced negative changes in subject's functionality were found when the subjects were in the gas environment No. 2, and the most of the indicators showed significant ( $p < 0.05–0.001$ ) differences compared to other groups. The revealed facts indicate the inadmissibility of using such environments. The stay in gas environments No. 1 and No. 3 was accompanied by comparable and acceptable changes in the functional state of the subjects, despite the significantly lower oxygen content in the argon-containing medium (No. 3). *Conclusions*. 1. To increase the fire safety of inhabited pressurized objects, it is permissible to use gas environments No. 1 and No. 3. 2. Addition of argon to hypoxic environments reduces the negative effects of oxygen deficiency, which makes it possible to use gas environments with a higher degree of hypoxia and, therefore, more effective for ensuring fire protection of inhabited sealed objects.

**Key words:** fireproof gas environments, argon, inhabited sealed objects

**Библиографическая ссылка:**

Безкишкий Э. Н., Иванов А. О., Ерошенко А. Ю., Барачевский Ю. Е., Шатов Д. В., Танова А. А., Линченко С. Н., Грошилин С. М. Физиологическое обоснование выбора состава искусственных газовых сред, потенциально применимых для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов // Экология человека. 2020. № 12. С. 18–27.

**For citing:**

Bezkishkii E. N., Ivanov A. O., Eroshenko A. Yu., Barachevskii Yu. E., Shatov D. V., Tanova A. A., Linchenko S. N., Groshilin S. M. Physiological Justification of the Choice of the Artificial Gas Environments Composition Potentially Applicable for Improving the Fire Safety of Inhabited Sealed Objects. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 12, pp. 18-27.

Проблема обеспечения пожарозащищенности герметизируемых обитаемых объектов (ГОО) специального назначения, в частности подводных лодок (ПЛ), далека от своего разрешения. Яркими трагичными примерами, подтверждающими данное положение, являются объемные пожары на отечественных атомных ПЛ «Комсомолец» (1991) и «Лошарик» (2019), унесшие жизни нескольких десятков подводников [16, 17].

Вероятность возникновения и интенсивность развития пожара на ГОО, кроме наличия и массы пожароопасных или взрывчатых веществ, величин наличного барометрического давления, температуры, напрямую определяются содержанием кислорода в газовой среде [1, 2, 12]. Отсюда следует, что пожаробезопасность объекта будет тем выше, чем ниже процентный состав по кислороду поддерживаемой в нем искусственной газовой среды (ИГС). Данное положение является теоретическим базисом разработки гипоксических ИГС для повышения пожарозащищенности ГОО и других спецобъектов [12, 13, 15].

В настоящее время считается доказанным, что горение основных конструкционных материалов, используемых при строительстве современных ГОО, прекращается при концентрации кислорода в нормобарических ИГС на уровне примерно 14 %, а тление – при 12 % [10, 12, 28]. Также известно, что концентрация кислорода 11 % прекращает возгорание практически всех материалов, его содержание на уровне 15 % не поддерживает горение, а горючесмазочные материалы (в том числе бензин) не горят при концентрации кислорода 14 % и менее [9, 28]. Следовательно, целевой концентрацией кислорода в пожаробезопасных ИГС следует считать его уровень около 14 %. В качестве максимальной концентрации, при которой достигается существенное повышение пожарозащищенности ГОО, может рассматриваться содержание в диапазоне 16–17 %. Однако пребывание человека в подобных ИГС небезопасно в связи с ограниченными функциональными возможностями организма по компенсации дефицита кислорода в окружающей среде [23, 25, 29], что, в случае создания таких сред в ГОО, может привести к недопустимому снижению работоспособности персонала.

Одним из возможных вариантов использования гипоксических ИГС в ГОО является создание гипоксических сред в наиболее энергонасыщенных и пожароопасных герметичных помещениях (отсеках) объекта, где допустимо периодическое пребывание персонала, которое, как показывают расчеты бюропроектантов ГОО, может составлять примерно до 4 часов в сутки [3]. Другим направлением в решении

рассматриваемой проблемы является использование в составе нормобарической пожаробезопасной ИГС инертного газа аргона, обладающего антигипоксическими эффектами на организм и, вследствие этого, позволяющего улучшить переносимость острой и хронической гипоксии [11, 19, 27].

С учетом изложенного целью данного исследования явилась проверка влияния на человека 4-часового пребывания в нормобарических гипоксических газовых средах различного состава для выбора ИГС, потенциально применимых для повышения пожаробезопасности ГОО.

**Методы**

Проведенное исследование относилось к проспективно-когортному типу.

На основании большого числа наших предварительных исследований [3, 4], а также многочисленных работ других специалистов в области гипоксической физиологии и медицины, безопасности жизнедеятельности [1, 2, 11, 15, 24, 28] для тестирования были выбраны три ИГС различного состава, которые, как указывалось выше, значительно снижают риск пожаров и возгораний основных конструкционных материалов ГОО: № 1 – кислород = 16–17 %, азот – остальное; № 2 – кислород = 14–15 %, азот – остальное; № 3 – кислород = 14 %, аргон = 35 %, азот – остальное. Естественно, что ИГС № 2 и 3 обладают большей противопожарной эффективностью, чем среда № 1, но при этом являются более опасными для человека в связи с относительно меньшим содержанием кислорода.

В исследованиях участвовали 60 добровольцев, посредством стратифицированной рандомизации (метод «конвертов») разделенных на три равные по численности группы сравнения в зависимости от моделируемой ИГС (группы 1, 2, 3 соответственно). Критерии включения в исследование: мужской пол; возраст 20–55 лет; нормостенический тип телосложения (индекс массы тела – ИМТ от 22 до 26 кг/м<sup>2</sup>); отсутствие медицинских противопоказаний для пребывания в заданных ИГС; подписание добровольного информированного согласия на участие в испытаниях. Критерии невключения: несоответствие хотя бы одному из критериев включения. Критерии исключения: невозможность или отказ от участия в исследованиях в полном объеме на любом из его этапов. В ходе сравнения сформированных групп по возрасту, антропометрическим, функциональным и анамнестическим признакам после рандомизации статистически значимых различий выявлено не было.

Исследования проводились на испытательных гипоксических стендах, сконструированных на базе АО «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга» (г. Санкт-Петербург). Оборудование стендов позволяло автоматически поддерживать (в пределах  $\pm 0,3$  %) моделируемые параметры ИГС (кислород, азот, аргон, диоксид углерода) и оптимальные параметры микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха) в помещениях, где в течение заданного времени (по 4 часа) находились испытуемые. Конструкция стендов обеспечивала одновременное проведение гипоксических проб и выполнение запланированных исследований у шести человек.

При разработке методического комплекса, примененного в исследованиях, приоритет был отдан методикам оценки «динамических» компонентов функционального состояния, реакций которых можно было ожидать при воздействии на организм гипоксического стимула. Исследования (за исключением антропометрии), как правило, выполняли перед началом (исходное состояние) и в процессе проведения гипоксических проб.

Субъективный статус добровольцев оценивали с использованием анкеты, разработанной для исследования влияния на организм специфических условий гипоксической гипоксии [5]. Выраженность каждой жалобы оценивали по следующей шкале: 0 — отсутствие признака, 1–2 балла — умеренная выраженность признака, 3–4 балла — средняя выраженность, 5 баллов — максимальная выраженность. По данным, зафиксированным во время гипоксических проб, испытуемых в каждой группе распределяли на подгруппы по принципу «максимальной выраженности» любой из жалоб. Так, если хотя бы по одному симптому обследуемый отмечал, например, уровень 3 балла, даже при отсутствии других жалоб или меньшей их выраженности, его относили к подгруппе «Средняя степень выраженности субъективных отклонений».

Антропометрические показатели (масса тела и рост стоя) определяли однократно с использованием электронных медицинских весов и ростомера («ВМЭН-РЭП», Россия), после чего рассчитывали ИМТ ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) [9].

Систолическое и диастолическое артериальное давление (САД, ДАД), частоту сердечных сокращений (ЧСС) измеряли с использованием акустических и автоматизированных тонометров (Япония, Швейцария), а также автоматизированного диагностического комплекса — АДК «МАРГ-Микролюкс» (Россия). По показателям антропометрии, ЧСС и АД вычисляли ряд традиционных расчетных показателей, характеризующих состояние системного кровообращения [9, 18, 22]: ударный объем (УО, мл), минутный объем крови (МОК, л/мин), среднединамическое давление (СДД, мм рт. ст.), индекс Робинсона (ИР, усл. ед.). Сатурацию капиллярной крови ( $\text{SaO}_2$ , %) определяли с использованием полярографического датчика АДК «МАРГ-Микролюкс» (Россия).

Применяли также ряд функциональных проб: пробы с задержкой дыхания и так называемые «кардиоваскулярные тесты» (КВТ).

Пробы с максимальной задержкой дыхания на вдохе (проба Штанге) и на выдохе (проба Генча) проводили по стандартному алгоритму [9, 22]. В течение 2 мин до начала проб и затем во время их проведения регистрировали ритмокардиограмму (РКГ) с использованием АДК «Поли-Спектр» (Россия). Оценивали прирост числа RR-интервалов (ед.) во время пробы (по сравнению со средней ЧСС до ее начала) как показатель «пульсовой» (физиологической) стоимости выполняемой респираторной нагрузки.

Основной задачей проведения КВТ была сравнительная оценка особенностей вегетативного обеспечения разномодальных нагрузок в нормоксии и при пребывании в ИГС как отражение степени напряжения функциональных резервов организма (ФРО). Применялась активная ортостатическая проба и проба с глубоким дыханием [18, 22]. Пробы проводились с параллельной регистрацией РКГ и АД на АДК «Поли-Спектр» и оценкой субъективного статуса (жалоб) испытуемых. В качестве объективных критериев ортостатической устойчивости вычисляли коэффициент  $30/15$  ( $K_{30/15}$ , отн. ед.), отражающий соотношение 30-го и 15-го RR-интервалов РКГ на 1-й минуте после перехода из положения лежа в вертикальное положение, а также изменение СДД. По результатам пробы с глубоким дыханием вычисляли коэффициент  $K_6$  (отн. ед.), отражающий соотношение максимального и минимального RR-интервалов во время пробы, а также изменение СДД. Интерпретацию результатов выполняли по стандартному алгоритму [8, 18, 22].

Статистическую обработку данных выполняли в соответствии с современными требованиями [6, 7] с применением программ Excel и Statistica. Проверку данных на нормальность распределения проводили с использованием критерия Шапиро — Уилка. В случае подчинения всех данных закону нормального распределения результаты в таблице представлялись в виде среднего значения ( $M$ ) и стандартного отклонения ( $\sigma$ ). При несоответствии распределения хотя бы одного из параметров нормальному результаты в таблице представлялись в виде медиан ( $Me$ ) и квартилей ( $Q_{25}$ ,  $Q_{75}$ ). Различия в непрерывных показателях в связанных выборках оценивали по критерию Вилкоксона, в независимых — по критерию Манна — Уитни.

Проверку гипотез межгрупповых различий по качественному бинарному признаку проводили с использованием двустороннего точного критерия Фишера.

«Нулевую» гипотезу отвергали при уровне значимости различий  $p < 0,05$ .

Испытания проведены в соответствии с этическими требованиями к исследованиям с участием человека, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 года и ее пересмотрах 1983 и 2013 годов.

### Результаты

Проводимые за испытуемыми наблюдения во время пребывания в ИГС и опрос жалоб показали, что

при дыхании в ИГС № 1 и № 3 у них отмечались незначительные изменения субъективного статуса в покое. Из жалоб зарегистрированы: кратковременное чувство тяжести в голове (у одного испытуемого из 1-й группы), чувство транзиторной нехватки воздуха и желание выполнять глубокое дыхание (у двух обследованных из 1-й и у трех из 3-й группы), «измененное, но четко не определяемое состояние» (у трех обследованных из каждой группы). Однако в целом 4-часовое пребывание испытуемых в ИГС № 1 и № 3 практически не сопровождалось существенным ухудшением их субъективного статуса. Большинство добровольцев (16 человек из каждой группы, 80 %) вообще не почувствовали изменений в их обычном состоянии, а у остальных восьми испытуемых (четыре человека из каждой группы, 20 %) негативные субъективные проявления почти полностью купировались уже в течение периода гипоксического воздействия (рис. 1).

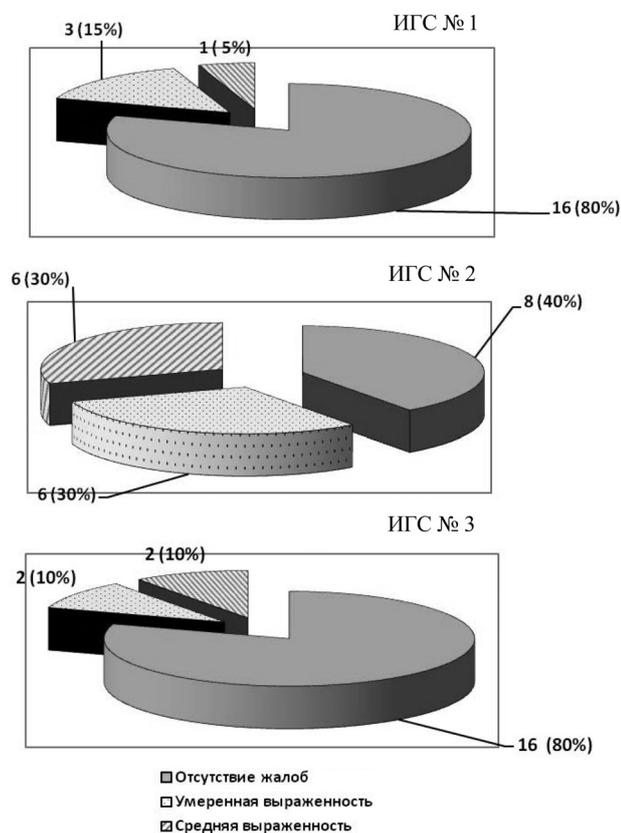


Рис. 1. Распределение испытуемых (n, %) сравниваемых групп в зависимости от изменений самочувствия при пребывании в заданных ИГС

Пребывание в ИГС № 2 сопровождалось чувством нехватки воздуха и компенсаторной одышкой у восьми (40 %) человек из 20, у трех из них отмечались легкое головокружение и головная боль, сохранившиеся в течение всего периода пребывания в гипоксической среде. Еще у двух испытуемых имели место кратковременные неприятные ощущения в области сердца, у одного из них – повышенная потливость, 10 (50 %) человек указали на формирование «измененного, но

четко не определяемого состояния». Общее число испытуемых из данной группы, у которых при пребывании в ИГС выявлены те или иные негативные отклонения субъективного статуса, составило 12 (60 %) человек, при этом отклонения средней степени выраженности отмечены у шести (30 %) человек. Следует, однако, отметить, что эти отклонения частично нивелировались уже в период гипоксического воздействия и полностью купировались после его окончания, что позволяло выполнить гипоксические пробы в полном объеме.

Различия в частоте случаев ухудшения субъективного статуса, которые наблюдались у испытуемых сравниваемых групп при пребывании в ИГС № 2 и ИГС № 1, № 3, были подтверждены статистически, что позволило отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии различий качественного бинарного признака (частота случаев ухудшения самочувствия в связи с воздействием ИГС).

Характерно, что пребывание в ИГС № 1 и № 3 сопровождалось сопоставимыми изменениями субъективного статуса испытуемых, несмотря на существенные различия в содержании кислорода в указанных средах. Данный факт, на наш взгляд, указывает на наличие антигипоксических эффектов аргона при его добавлении в газовые смеси с пониженным содержанием кислорода.

Подтверждение данному утверждению было получено при анализе результатов физиологических исследований. В табл. 1 представлены показатели соматического статуса, зафиксированные у испытуемых в нормоксии и при пребывании в заданных ИГС (условия оперативного покоя). Во время «герметизации» показатели регистрировали 1 раз в 30 мин, затем их значения усредняли.

Анализ результатов обследований, выполненных в нормоксических условиях, показал, во-первых, что у всех добровольцев оцениваемые показатели газотранспортных систем находились в пределах референтных значений. Во-вторых, межгрупповые различия по всем параметрам отсутствовали, позволяя корректно сравнивать данные, полученные при проведении гипоксических проб.

Пребывание добровольцев в ИГС сопровождалось ожидаемым развитием гиперкинетических реакций кислородтранспортных систем, направленных на экстренную компенсацию отклонений газового гомеостаза. Выраженность указанных реакций напрямую определялась степенью снижения кислорода в ИГС, однако при замещении части азота в ИГС аргоном данная зависимость становилась менее четкой.

Так, 4-часовое пребывание в ИГС № 1 ( $[O_2] = 16-17 \%$ ) не сопровождалось у лиц с сохранными механизмами компенсации гипоксии значимыми изменениями оцениваемых показателей, за исключением  $SaO_2$ , напрямую зависящего от парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе. При пребывании в ИГС № 2 ( $[O_2] = 14-15 \%$ ) изменения всех представленных показателей у испытуемых

Таблица 1

Динамика показателей кислородтранспортных систем испытуемых при пребывании в искусственных газовых средах различного состава, М ( $\sigma$ )

Показатель, ед. изм.	Группа Условия пребывания					
	Группа 1		Группа 2		Группа 3	
	Нормоксия	ИГС №1	Нормоксия	ИГС №2	Нормоксия	ИГС №3
САД, мм рт. ст.	123 (4)	126 (4)	124 (3)	132 (3) p=0,033 p1=0,048	122 (4)	125 (4) p2=0,049
ДАД, мм рт. ст.	77 (3)	80 (4)	78 (3)	87 (2) p=0,030 p1=0,044	76 (4)	81 (4) p2=0,048
СДД, мм рт. ст.	92 (2)	95 (3)	93 (4)	102 (4) p=0,041 p1=0,047	91 (4)	95 (3) p2=0,049
ЧСС, уд./мин	71 (3)	72 (4)	68 (4)	79 (5) p=0,025 p1=0,047	72 (4)	73 (3) p2=0,049
УО, мл	73 (3)	75 (3)	73 (3)	82 (5) p=0,028 p1=0,049	72 (5)	74 (3) p2=0,047
МОК, л/мин	5,18 (0,24)	5,54 (0,28)	4,96 (0,36)	6,48 (0,45) p=0,020 p1=0,028	5,18 (0,28)	5,40 (0,35) p2=0,027
ИР, усл. ед.	87 (4)	91 (4)	89 (4)	104 (6) p=0,018 p1=0,039	88 (4)	91 (3) p2=0,045
ЧДД, цикл/мин	12 (2)	15 (2)	13 (2)	22 (3) p=0,018 p1=0,009	13 (2)	18 (2) p=0,044 p1=0,049 p2=0,028
SaO <sub>2</sub> , %	98,5 (0,8)	92,3 (1,2) p<0,001	98,7 (0,4)	84,2(1,6) p<0,001 p1<0,001	98,6 (0,4)	87,2 (2,8) p<0,001 p1=0,012 p2=0,025

Примечание для табл. 1–3. Уровень значимости различий: p – по сравнению с нормоксическими условиями (по критерию Вилкоксона); p1 – по сравнению с группой 1, p2 – по сравнению с группой 2 (по критерию Манна – Уитни).

оказались статистически значимыми по сравнению с нормоксией. Кроме того, реактивность всех показателей в группе 2 оказалась большей, чем в группе 1.

Несмотря на идентичное содержание кислорода в ИГС № 2 и № 3, выраженность компенсаторных реакций со стороны всех представленных параметров в группе 3 оказалась значимо меньшей, чем в группе 2. При этом реактивность показателей системной гемодинамики в группах 1 и 3 была практически идентичной, а различия между показателями ЧДД и SaO<sub>2</sub> оказались сравнительно небольшими, несмотря на существенную разницу в содержании кислорода в ИГС № 1 и № 3.

Следует особо отметить, что лишь при пребывании в ИГС № 2 у части испытуемых (6 человек, 30 %) отмечался «выход» показателей за пределы референтных значений. Данный факт наряду с указанным ранее ухудшением субъективного статуса у этих же добровольцев, на наш взгляд, ставит под сомнение возможность безопасного длительного пребывания персонала в таких условиях без специальной подготовки даже в случае умеренной интенсивности труда.

Изменения рассматриваемых параметров в группах 1 и 3 находились в рамках «нормы реакции» и свидетельствовали о компенсации гипоксического

состояния. Факт более выраженных реактивных сдвигов ряда параметров у лиц 3-й группы, тем не менее, позволяет рассматривать их как допустимые, поскольку ни у одного из испытуемых данной группы стойкого или нарастающего ухудшения физиологических параметров при пребывании в ИГС не выявлено.

В ряде исследований показано [4, 5, 25], что даже при незначительном дефиците кислорода в окружающей атмосфере происходит снижение толерантности человека к транзитной аноксии, поэтому именно пробы с максимальной задержкой дыхания можно рассматривать как маркер степени гипоксического состояния. Для повышения информативности таких проб, кроме традиционного определения времени максимальной задержки дыхания на вдохе и выдохе (пробы Штанге и Генча), рекомендуется параллельно оценивать физиологические показатели, отражающие степень напряжения компенсаторных механизмов [5, 18, 22]. Поэтому при выполнении проб Штанге и Генча проводилась параллельная регистрация РКГ для оценки «пульсовой стоимости» этих нагрузок (табл. 2).

Результаты указанных исследований в нормоксических условиях показали наличие высокого или среднего уровня устойчивости к транзитной аноксии

Таблица 2

Показатели проб с задержкой дыхания у испытуемых в различных условиях пребывания, М (σ)

Проба	Показатель, балл	Группа Условия пребывания					
		Группа 1		Группа 2		Группа 3	
		Нормоксия	ИГС №1	Нормоксия	ИГС №2	Нормоксия	ИГС №3
Штанге	Время задержки дыхания, с	94 (5)	75 (6) p<0,001	96 (6)	55 (5) p<0,001 p1=0,001	93 (6)	67 (4) p<0,001 p1=0,042 p2=0,038
	«Пульсовая стоимость», число RR-интервалов, ед.	10,2 (0,6)	11,0 (0,4) p=0,043	10,4 (0,6)	8,6 (0,4) p=0,003 p1=0,015	10,9 (0,5)	13,4 (0,7) p=0,001 p1=0,048 p2<0,001
Генча	Время задержки дыхания, с	65 (3)	52 (2) p<0,001	67 (3)	34 (3) p<0,001 p1=0,002	66 (4)	45 (3) p<0,001 p1=0,045 p2=0,034
	«Пульсовая стоимость», число RR-интервалов, ед.	5,7 (0,2)	6,4 (0,3) p=0,048	6,1 (0,5)	4,7 (0,5) p=0,002 p1=0,012	6,1 (0,6)	7,7 (0,6) p=0,001 p1=0,045 p2<0,001

у большинства обследованных лиц. Значимых межгрупповых различий не определялось. Пребывание в ИГС сопровождалось ожидаемым уменьшением времени задержки дыхания на вдохе и выдохе у всех испытуемых, что привело к наличию статистически значимых различий по сравнению с первичным обследованием в трех выделенных группах.

Также ожидаемой оказалась тесная зависимость степени снижения времени максимально возможной задержки дыхания (на вдохе и выдохе) от концентрации кислорода в ИГС. Так, в группе 1 основные показатели проб Штанге и Генча снизились в среднем на 19 и 20 % по сравнению с нормоксией соответственно; в группе 2 – в среднем на 43 и 50 % соответственно.

Однако при добавлении в ИГС аргона эта зависимость изменялась: у лиц группы 3 редукция времени задержки дыхания на вдохе и выдохе (по сравнению

с нормоксией) была существенно меньшей, чем в группе 2, несмотря на эквивалентное содержание кислорода в ИГС № 2 и № 3. В частности, в группе 3 показатели проб Штанге и Генча снизились в среднем лишь на 28 и 32 % соответственно, что значимо меньше, чем в группе 2.

Особая динамика в группах сравнения была зафиксирована у показателя «пульсовой стоимости» выполняемых респираторных проб. Так, в группе 1 при пребывании в ИГС наблюдался по сравнению с нормоксией прирост показателя, составлявший в среднем 8 % при пробе Штанге и 9 % при пробе Генча.

В группе 2 зафиксирована противоположная динамика показателя, снижение которого при пробах Штанге и Генча составляло в среднем 17 и 22 % соответственно по отношению к нормоксическим условиям. У испытуемых группы 3 наблюдался наи-

Таблица 3

Показатели кардиоваскулярных тестов у испытуемых сравниваемых групп в различных условиях пребывания, Ме (Q25; Q75)

Методика	Показатель, ед. изм.	Группа Условия пребывания					
		Группа 1		Группа 2		Группа 3	
		Нормоксия	ИГС №1	Нормоксия	ИГС №2	Нормоксия	ИГС №3
Ортогостатическая проба	K <sub>30/15</sub> , отн. ед.	1,60 (1,37; 1,92)	1,55 (1,32; 1,86)	1,64 (1,31; 1,84)	1,22 (1,13; 1,55) p=0,001 p1=0,032	1,65 (1,32; 1,95)	1,47 (1,26; 1,77) p=0,042 p2=0,042
	Δ СДД, мм рт. ст.	-2 (-5; 0)	-2 (-3; 0)	0 (-3; 2)	-9 (-10; -4) p=0,021 p1=0,044	-1 (-2; 0)	-2 (-5; 0) p2=0,047
Глубокое дыхание	K <sub>6</sub> , отн. ед.	1,95 (1,70; 2,35)	1,82 (1,54; 2,32)	1,93 (1,67; 2,31)	1,51 (1,41; 1,80) p=0,024 p1=0,040	1,96 (1,75; 2,20)	1,72 (1,55; 1,99) p2=0,047
	Δ СДД, мм рт. ст.	0 (-2; 0)	-1 (-2; 0)	0 (-1; 1)	-5 (-6; -2) p=0,001 p1=0,045	0 (-1; 0)	-2 (-3; 0) p2=0,049

более выраженный прирост показателя (в среднем на 22 и 26 %) по сравнению с выполнением проб Штанге и Генча в обычных условиях пребывания. Возможно, подобная гиперэргическая реакция кислородтранспортных систем и дала возможность лицам группы 3 дольше переносить условия аноксии, чем это наблюдалось в группе 2.

Полученные факты явились очередным свидетельством антигипоксических эффектов аргона, позволяющих существенно повысить переносимость острого недостатка кислорода в окружающей атмосфере.

Подтверждение данному положению было получено при анализе результатов выполнения испытуемыми «кардиоваскулярных» тестов, направленных именно на углубленную оценку качества вегетативного обеспечения разноmodalных нагрузок.

В табл. 3 представлена динамика показателей КВТ (ортостатическая проба, проба с глубоким дыханием) у испытуемых сравниваемых групп при пребывании в обычных условиях и в заданных ИГС. При тестировании в нормоксических условиях у всех добровольцев выявлены нормальные реакции вегетативных функций на перемену положения тела и искусственную гипервентиляцию. Значимых различий показателей проб между группами не отмечено.

Общей закономерностью изменений показателей КВТ в гипоксических условиях явилось ухудшение вегетативного обеспечения реакций на внешние воздействия, что отражало снижение ФРО. Наименее выраженными и статистически не значимыми сдвиги рассматриваемых критериев были у испытуемых группы 1. Наибольшими среди групп сравнения негативные тенденции со стороны рассматриваемых качеств при пребывании в ИГС оказались в группе 2.

В группе 3, несмотря на примерно эквивалентный по кислороду состав ИГС № 2 и № 3, пребывание в условиях гипоксии сопровождалось менее выраженными, чем в группе 2, негативными вегетативными реакциями при выполнении КВТ. Так, снижение коэффициентов  $K_{30/15}$  и  $K_6$  по сравнению с нормоксией составило в среднем 11 и 10 % соответственно. Отмечена также менее выраженная по сравнению с группой 2 негативная реакция  $\Delta$  СДД при выполнении тестов. При этом сдвиги всех рассматриваемых критериев КВТ у лиц группы 3, во-первых, не выходили за рамки «норм реакции», во-вторых, значимо не различались с таковыми в группе 1. Следовательно, можно констатировать, что у испытуемых групп 1 и 3, судя по динамике показателей КВТ, развивалась примерно идентичная и компенсированная стадия гипоксического состояния.

Что касается индивидуальных реакций обследованных лиц на гравитационную и респираторную нагрузку, то в группе 1 умеренно выраженные неблагоприятные субъективные проявления, а также негативные вегетативные реакции (падение артериального давления на 7–10 мм рт. ст., учащение пульса на 8–10 уд./мин) при перемене положения тела или во время пробы с глубоким дыханием от-

мечены у одного добровольца, что составило 5 % от всей выборки (рис. 2). В группе 3 число таких случаев составило два (10 %) из 20 наблюдений. При этом ни у одного из обследованных лиц в этих группах в процессе тестирования не наблюдалось выраженных негативных реакций вегетативного обеспечения КВТ.

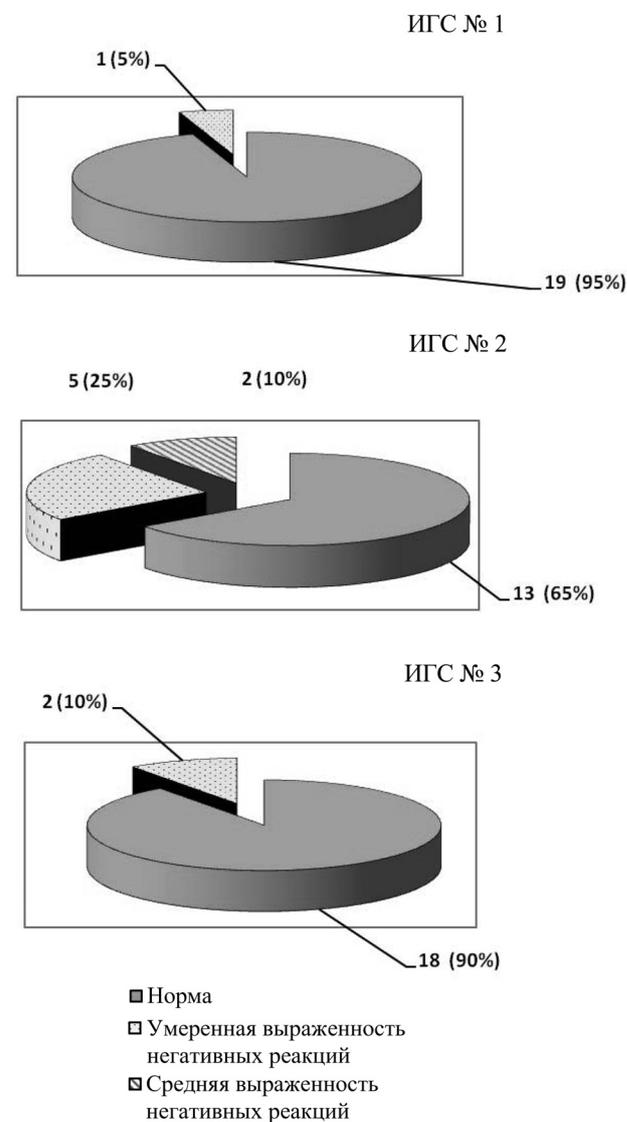


Рис. 2. Распределение испытуемых (n, %) в зависимости от качества вегетативного обеспечения КВТ при пребывании в заданных ИГС

В группе 2 число лиц, у которых при выполнении проб умеренно ухудшались субъективные и объективные критерии устойчивости к примененным воздействиям, составило пять (25 %) человек, еще у двух (10 %) испытуемых было выявлено значительное ухудшение функционального состояния (предобморочное состояние, головокружение, побледнение кожи, падение артериального давления более 10 мм рт. ст., прирост ЧСС более 15 уд./мин).

Проведенный статистический анализ категориальных данных (с использованием точного двустороннего критерия Фишера) показал, что по частоте негативных и нормальных вегетативных реакций при

проведении КВТ между группами 1 и 2 имели место значимые различия. Различия между группами 2 и 3 были близки к статистически значимым. Различия между группами 1 и 3 отсутствовали.

### Обсуждение результатов

Результаты межгрупповых сравнений в трех группах следует интерпретировать с осторожностью, так как коррекция на инфляцию ошибки первого рода не проводилась. Тем не менее проведенное исследование позволило предварительно оценить выраженность изменений функционального состояния человека при пребывании в ИГС различного состава, потенциально применимых для повышения пожаробезопасности ГОО специального назначения. Полученные в исследовании результаты можно интерпретировать как свидетельство градуального негативного влияния дефицита кислорода в ИГС на субъективный статус, состояние физиологических газотранспортных систем, устойчивость человека к разномодалным воздействиям, требующим специфического вегетативного обеспечения. Однако добавление в гипоксические ИГС аргона позволяет снизить депримирующие эффекты кислородной недостаточности, что, по всей видимости, связано с особыми протекторными эффектами аргона на клетки и ткани, наиболее зависимые от объема кислородного обеспечения.

При содержании кислорода в азотсодержащих ИГС около 17–16 % (ИГС № 1) у здорового, нетренированного к гипоксии человека приспособительные механизмы практически полностью компенсируют дефицит кислорода в состоянии оперативного покоя. Дефицит кислорода при «остром» воздействии таких ИГС проявляется лишь в снижении переносимости транзиторной аноксии. Следовательно, такие ИГС являются потенциально пригодными для применения в целях снижения пожаробезопасности ГОО, в том числе при длительной герметизации.

При 4-часовом пребывании человека в азотсодержащих ИГС с содержанием кислорода около 14 % (ИГС № 2) устойчивая и достаточная компенсация дефицита кислорода затруднительна для значительной части здоровых лиц, у которых вероятными являются ухудшение функционального состояния даже в условиях оперативного покоя, существенное снижение устойчивости к разномодалным нагрузкам. Следовательно, применение таких ИГС для повышения пожарозащищенности ГОО представляется небезопасным для персонала не только при длительном, но и даже периодическом пребывании в них. Однако формирование подобных ИГС не исключается в особых ситуациях, например, при так называемом «регулировании» ИГС, используемом при получении сигнала о предпожарной ситуации [12].

Выявленным в данном исследовании способом существенного снижения неблагоприятного воздействия на человека гипоксических ИГС (в частности, ИГС состава № 2), является замещение части азота аргоном при концентрации последнего около 35 %

(ИГС № 3). При 4-часовом пребывании в таких аргоносодержащих ИГС у большинства испытуемых, участвовавших в наших исследованиях, негативные изменения функционального состояния в покое и при разномодалных нагрузках были незначительными. Так же, как и при пребывании в ИГС № 1, явное нежелательное действие недостатка кислорода выявлялось только при проведении проб с максимальной задержкой дыхания. Однако степень этих изменений даже у неподготовленных к условиям гипоксии лиц не превышала допустимых в физиологии и гигиене труда пределов [14]. Следовательно, применение аргоносодержащих гипоксических сред типа ИГС № 3 в случае наличия технических возможностей представляется наиболее эффективным для обеспечения пожаробезопасности ГОО.

Особые эффекты аргона при добавлении его в гипоксические ИГС прежде всего можно связать с улучшением энергообеспечения клеток и тканей за счет ускоряющего влияния этого инертного газа на основные звенья кислородного транспорта в организме [19, 20]. Также большое значение могут иметь обнаруженные в экспериментах на животных метаболические эффекты аргона, проявляющиеся в ускорении окислительных процессов в митохондриях и соответственно — повышении энергоснабжения активно функционирующих тканей [11, 26]. На наш взгляд, следует учитывать и выявленный в ряде исследований факт протекторных эффектов аргона на структуры ЦНС [21, 26, 27], которые играют важную роль в обеспечении различных воздействий на организм. Оптимизация аргоном в гипоксических условиях функционирования соматических и вегетативных нервных центров не может не иметь значения в обеспечении поддержания толерантности организма к разномодалным нагрузкам.

### Заключение

1. Потенциально применимыми для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов являются искусственные газовые среды № 1 и № 3, пребывание в которых у лиц с сохранными функциональными резервами организма сопровождается умеренной активацией приспособительных механизмов, обеспечивающих поддержание уровня функционального состояния, достаточного для осуществления профессиональной деятельности.

2. Добавление в гипоксические искусственные газовые среды аргона позволяет снизить депримирующие эффекты кислородной недостаточности, что дает возможность использования газовых сред с большей степенью гипоксии и, следовательно, более эффективных для обеспечения пожарозащищенности герметизируемых обитаемых объектов.

### Авторство

Безкишкий Э. Н. разработал цель, задачи, основные направления исследований, участвовал в получении научной информации, обработке и обсуждении результатов, написании статьи; Иванов А. О. сформировал концепцию

и структуру работы, осуществлял научно-методическое руководство проводимых исследований, редактировал текст статьи; Ерошенко А. Ю. внес существенный вклад в проведение всех этапов исследования, интерпретацию и обсуждение получаемой информации, написание основных разделов статьи; Барачевский Ю. Е. обеспечивал методическое сопровождение исследований, участвовал в разработке идеи и обосновании необходимости проведения научной работы, принимал участие в написании и редактировании окончательного варианта рукописи; Шатов Д. Ю. принял непосредственное участие в разработке методического комплекса, формировании групп сравнения, проведении исследований, анализе и интерпретации полученных данных; Танова А. А. участвовала в получении, анализе, статистической обработке данных, подготовке иллюстративного и табличного материала, переводе рукописи на английский язык; Линченко С. Н. обеспечивал научно-методическое сопровождение исследований, участвовал в анализе, сопоставлении и обсуждении данных, работе с литературными источниками; Грошили С. М. участвовал в формировании концепции работы, обосновании ее актуальности и практической значимости для безопасности жизнедеятельности, окончательной подготовке статьи к печати.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Безкишкий Эдуард Николаевич – SPIN 7041-4898; ORCID 0000-0002-1534-888

Иванов Андрей Олегович – SPIN 5176-2698; ORCID 0000-0002-8364-9854

Ерошенко Андрей Юрьевич – SPIN 4289-9063; ORCID0000-0002-6767-7302

Барачевский Юрий Евлампиевич – SPIN 1253-4389; ORCID 0000-0002-5299-4786

Шатов Дмитрий Викторович – SPIN 1610-6721; ORCID0000-0002-5833-0403

Танова Анастасия Андреевна – SPIN 3947-0526; ORCID 0000-0003-3765-8714

Линченко Сергей Николаевич – SPIN 1681-3350; ORCID 0000-0001-8345-0645

Грошили Сергей Михайлович – SPIN 3980-0099; ORCID0000-0003-2782-7094

#### Список литературы / References

1. 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. *Morskoj sbornik* [Naval collection]. 2013, 3, pp. 2-7. [In Russian]

2. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. М.: Химия, 1990. 496 с.

Baratov A. N., Korol'chenko A. Ya., Kravchuk G. N. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing Reference edition]. Moscow, 1990, 496 p.

3. Безкишкий Э. Н., Иванов А. О., Петров В. А., Ерошенко А. Ю., Грошили 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. 4–11.

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. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 9, pp. 4-11. [In Russian]

4. Безкишкий Э. Н., Иванов А. О., Петров В. А., Ерошенко А. Ю. Оценка возможности длительного пребывания человека в гипоксических газозвушных средах, повышающих пожаробезопасность гермообъектов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52, № 7. С. 20–21.

Bezkishkii E. N., Ivanov A. O., Petrov V. A., Eroshenko A. Yu. Evaluation of the possibility of a prolonged stay in air-gas hypoxic environments increasing the fire safety of manned sealed objects. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina* [Aerospace and Environmental Medicine]. 2018, 52 (7), pp. 20-21. [In Russian]

5. Горанчук В. В., Сапова Н. И., Иванов А. О. Гипокситерапия. СПб.: ООО «ОЛБИ-СПБ», 2003. 536 с

Goranchuk V. V., Sapova N. I., Ivanov A. O. *Gipoksiterapiya* [Hypoxic therapy]. Saint Petersburg, 2003, 536 p.

6. Гржибовский А. М. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика // Экология человека. 2008. № 1. С. 52–58.

Grijbovski A. M. Data types, distribution checking and descriptive statistics. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, 1, pp. 52-58. [In Russian]

7. Гржибовский А. М. Анализ количественных данных для двух независимых групп // Экология человека. 2008. № 2. С. 54–61.

Grijbovski A. M. Analysis of quantitative data for two independent groups. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, 2, pp. 54-61. [In Russian]

8. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // Медицинская техника. 2001. № 3. С. 40–44.

Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvanova L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and the specific features of heart rhythm regulation under the influence of occupational activities. *Meditsinskaya tekhnika*. 2001, 35 (3), pp.166-170. [In Russian]

9. Дубняков И. В., Ефименко И. И., Каширин М. А., Куданов Я. В., Петров В. А. Определение параметров ГВС и порции огнегасителя азота или аргона при тушении модельного очага пожара в замкнутом объеме в гипоксической газозвушной среде // Материалы межотраслевой науч.-практ. конф. «Кораблестроение в XXI веке: проблемы и перспективы (ВОКОР-2014)». СПб., 2014. С. 93–94.

Dubnyakov I. V., Efimenko I. I., Kashirin M. A., Kudanov Ya. V., Petrov V. A. Determination of the parameters of gas-air environments and a portion of a nitrogen or argon fire extinguisher when extinguishing a model fire source in a closed volume in a hypoxic gas-air environment. *Proceedings of Interindustrial scientific and practical Conference "Shipbuilding in the XXI century: problems and prospects"*. Saint-Petersburg, 2014, pp. 93-94. [In Russian]

10. Дубровский В. И. Функциональные пробы в спорте. М.: ФиС, 2006. 224 с.

Dubrovskii V. I. *Funktsional'nye proby v sporte* [Functional tests in sports]. Moscow, 2006, 224 p.

11. 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.

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]

12. 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. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety]. 2017, 10, pp. 37-39. [In Russian]

13. Советов В. И., Андреев С. П., Андреева Е. С., Чернин С. Я., Селезнёв Д. Г., Торшин Г. С., Бардышева О. Ф. Способ создания условий для жизнедеятельности человека в специальном гермообъекте ВМФ: пат. № 2520906 Рос. Федерация от 27.06. 2014.

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 spetsial'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.

14. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты / под ред. В. С. Кошчева и З. С. Четвериковой. М., 1981. 15 с.

*Fiziologo-gigienicheskie trebovaniya k izoliruyushchim sredstvam individual'noi zashchity* [Physiological and hygienic requirements for insulating personal protection equipment]. Ed. by V. S. Koshcheev and Z. S. Chetverikova. Moscow, 1981, 15 p.

15. Чумаков В. В. Альтернативные подходы к решению проблемы предотвращения пожаров в герметично замкнутых объемах // Обитаемость кораблей. Обеспечение радиационной и токсикологической безопасности. Материалы Межотраслевой науч.-практ. конф. «Кораблестроение в XXI веке: проблемы и перспективы» (ВОКОР-2014). СПб., 2014. С. 115–118.

Chumakov V. V. Alternative approaches to the problem of fire prevention in the hermetical confined spaces. *Proceedings of Interindustrial scientific and practical Conference "Shipbuilding in the XXI century: problems and prospects"*. Saint-Petersburg, 2014, pp. 115-118. [In Russian]

16. Улитовский А. Д. Особенности обитаемости и гибели личного состава подводной лодки «Комсомолец». СПб., 1995. 26 с.

Ulitovskii A. D. *Osobennosti obitaemosti i gibeli lichnogo sostava podvodnoi lodki "Komsomolets"* [Features of habitability and death of personnel of the submarine "Komsomolets"]. Saint Petersburg, 1995, 26 p.

17. Пожары на отечественных подводных лодках. Справка. URL: <http://ria.ru/spravka/53605825> (дата обращения: 15.01.2019).

*Fires on domestic submarines. Reference.* Available at: <http://ria.ru/spravka/53605825> (accessed: 15.01.2019).

18. 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), ed. R. Gibbons, G. Balady, T. Bricker. *Circulation*. 2002, 106, pp. 1883-1892.

19. Brucken A., Cizen A., Fera C., Meinhardt A., Weis J., Nolte K., Rossaint R., Puße T., Marx G., Fries M. Argon reduces neurohistopathological damage and preserves functional recovery after cardiac arrest in rats. *Br. J. Anaesth.* 2013, 110, pp. i106-i112.

20. Coburn M., Sanders R. D., Ma D., Fries M., Rex S., Magalon G., Rossaint R. Argon: The "lazy" noble gas with organoprotective properties. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2012, 29, pp. 549-551.

21. Coburn M., Rossaint R. Argon in the fast lane: Noble gases and their neuroprotective effects. *Crit. Care Med.* 2012, 40, pp. 1965-1966.

22. Ewing D. J., Martin C. N., Young R. J. The value of cardiovascular autonomic function tests: 10 years experience. *Diabetic Care.* 1985, 8, pp. 491-498.

23. Kullmer T., Kneissl G., Katova T. Experimental acute hypoxia in healthy subjects: evaluation of systolic and diastolic function of the left ventricle at rest and during exercise using echocardiography. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1995, 70 (2), pp. 169-174.

24. Miller J. M., Lambertsen C. J. Project Test: an open sea study of prolonged exposures to a nitrogen-oxygen environment at increased ambient pressure. *Underwater Physiology: Proc. 4 th symp.* New York, 1971, pp. 551-558.

25. Neubauer J. A. Physiological and pathophysiological responses to intermittent hypoxia. *J. Appl. Physiol.* 2001, 90, pp. 1593-1599.

26. Nowrangi D. S., Tang J., Zhang J. H. Argon gas: A potential neuroprotectant and promising medical therapy. *Med. Gas Res.* 2014, 4, pp. 3-7.

27. Ryang Y. M., Fahlenkamp A. V., Rossaint R., Wesp D., Loetscher P. D., Beyer C., Coburn M. Neuroprotective effects of argon in an in vivo model of transient middle cerebral artery occlusion in rats. *Crit. Care Med.* 2011, 39, pp. 1448-1453.

28. Shvartz E. Advantages of low-oxygen environment in space cabins. *Aviation, Space and Environment Med.* 1990, 61 (3), pp. 272-276.

29. Virues-Ortega J., Buela-Casal G., Garrido E., Alcazar B. Neuropsychological functioning associated with high-altitude exposure. *Neuropsychol. Rev.* 2004, 14, pp. 197-224.

#### Контактная информация:

Безкишкий Эдуард Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, начальник медицинской службы ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава РФ

Адрес: 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7  
E-mail: bez1970@mail.ru