УДК 615.9+627.02+612.223.1 *Авторы не заявили о конфликте интересов*
DOI: http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-3-83-94

ТОКСИКОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ БАРОКАМЕР

*[1]Г. М. Соколов, [1]А. В. Суворов, [2]А. Т. Логунов**
[1]ФГБУН «Государственный научный центр Российской Федерации — Институт медико-биологических проблем Российской академии наук», Москва, Россия
[2]ЗАО «Специальное конструкторское бюро экспериментального оборудования при ИМБП РАН», Москва, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

Представлены основные понятия по токсикологическим проблемам при пребывании человека в замкнутом герметичном гипербарическом объеме на основе данных литературы и многолетнего опыта научной и практической деятельности авторов по водолазному делу и водолазной медицине, созданию и испытанию барокомплексов. Изложены основные сведения по проблеме: газовый состав атмосферы замкнутых герметичных объемов, эволюция экзогенных газов в организме при спусках в барокамере, выделение вредных газообразных веществ (ВГВ) в замкнутом объеме, расчетное среднесуточное выделение ВГВ, влияние условий на их выделение, действие на организм основных ВГВ, их предельно допустимые концентрации, методы удаления CO_2 и ВГВ в барокамерах, требования нормативных документов. Рассмотрено несоответствие большинства современных действующих барокамер требованиям нормативных документов, что может привести к негативным влияниям на здоровье человека. Даны предложения по исключению случаев интоксикации в барокамерах и барокомплексах.

Ключевые слова: морская медицина, токсикология, вредные газообразные вещества, предельно допустимые концентрации, замкнутый герметичный объем, гипербария, барокамеры, барокомплексы, вентиляция, очистка газовой среды.

TOXICOLOGY OF GASEOUS ENVIRONMENT IN DECOMPRESSION CHAMBER

[1]Gennadiy M. Sokolov, [1]Alexandr V. Suvorov, [2]Alexey T. Logunov
[1]State Scientific Centre of the Russian Federation — Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]CJSC «Special Design Bureau of Experimental Facilities of Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The paper presents basic concepts of toxicological problems under human containment in a closed hermetic hyperbaric volume basing on the literature data and our own long-term scientific and practical experience aimed at diving and diving medicine, development and testing of the decompression chambers. The paper describes the following essentials of the problem: gaseous atmospheric composition in closed hermetic volumes, evolution of exogenous gases in human organism under lowering in the chamber, evolving hazardous gaseous substances (HGS) in the closed volume, design average daily rate of HGS evolving, effect of conditions on HGS evolving, their maximum permissible concentrations, methods of CO_2 and HGS removal in the chambers, and regulatory requirements. It is shown that the most of the modern existing chambers do not meet the regulatory requirements that may result in negative effects on human health. The ways to except the cases of human intoxication in the decompression chambers and systems are offered in the paper.

Key words: marine medicine, toxicology, hazard ous gaseous substances, maximum permissible concentrations, closed hermetic volume, hyperbaric conditions, chambers, ventilation, gaseous environment purification.

Для цитирования: Соколов Г. М., Суворов А. В., Логунов А. Т. Токсикология газовой среды барокамер // *Морская медицина.* 2018. № 3. С. 83–93, DOI: http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-3-83-94

Здоровье сохранять — задача медицины,
Болезней суть понять и устранять причины.
Авиценна

1. Газовый состав атмосферы замкнутых герметичных объемов. Газовый состав атмосферы замкнутых герметичных объемов формируется из исходно находящихся в ней газов и/или газов, поданных в замкнутый объем для коррекции или замены газовой среды. В условиях барокамеры газовая смесь подается для проведения компрессии (повышения давления). Эти газы являются экзогенными по отношению к организму.

Кроме того, по мере пребывания в герметичном объеме происходит загрязнение атмосферы — накопление вредных газообразных веществ (ВГВ) биологического происхождения, в том числе образующихся в организме и выделяющихся в окружающую среду в виде эндогенных примесей, которые могут дополняться техногенными загрязнениями.

2. Эволюция экзогенных газов в организме при спусках в барокамере. В замкнутый герметичный объем могут подаваться O_2, воздух (20,9% O_2, 78,1% N_2, 0,9% Ar и 0,03–0,04% CO_2), индифферентные газы (инертные газы, N_2, H_2) или их сочетания. Компрессия этими экзогенными газами (за исключением биологически активных O_2 и CO_2) приводит к насыщению ими организма в соответствии с законом Генри–Дальтона: при увеличении давления газовой атмосферы на жидкость с сохранением той же температуры количество растворенного газа увеличивается прямо пропорционально величине давления и в соответствии с парциальным давлением этого газа в газовой смеси (газовой среде). Растворение газа в тканях организма происходит с замедлением по экспоненциальной зависимости (удвоение за каждую единицу времени), а распределение газа по тканям осуществляется в соответствии с жиро-водным коэффициентом Мейера–Овертона. Насыщение, рассыщение и динамика респираторных газов (O_2 и CO_2) в организме имеют свои особенности. При декомпрессии рассыщение организма от экзогенных индифферентных газов происходит по тем же законам, что и насыщение, но в обратном порядке, при этом происходит также перераспределение газов между «медленными» и «быстрыми» тканями организма.

Здоровый человек в спокойном состоянии при температуре 20° С и относительной влажности воздуха 65% за сутки пропускает через легкие около 7200 л воздуха (вдыхаемой газовой смеси). Из этого объема он поглощает 720 л O_2 на потребности основных систем организма (мозг, сердце, печень, почки и другие органы), а остальные 6480 л воздуха (смеси) обеспечивают удаление из легких влаги, CO_2 и летучих продуктов обмена веществ [1, с. 42–45]. В условиях повышенного давления объем прокачиваемого воздуха увеличивается пропорционально величине давления, однако потребности основного обмена удовлетворяются практически так же, как при нормальном атмосферном давлении.

Ограничение пребывания в замкнутом объеме без очистки и регенерации газовой среды заключается не в недостатке кислорода, а в накоплении диоксида углерода и целого ряда ВГВ.

Чистая газовая среда барокамер — одно из важнейших требований пребывания человека в условиях повышенного давления, поскольку в отличие от других работников на человека, находящегося в замкнутой системе барокамеры, непрерывно воздействует большой комплекс специфических факторов окружающей среды, в том числе вредных и опасных, особенно при чередовании спусков под воду и пребывания в барокамере. Водолаз должен обладать хорошим здоровьем для выполнения сложных работ, а при возникновении у него заболевания возможности оказания квалифицированной помощи в барокамере или быстрой эвакуации ограничены. Пациент, проходящий лечебную рекомпрессию, не должен подвергаться дополнительным вредностям и опасностям, усугубляющим его состояние.

3. Выделение вредных газообразных веществ в замкнутом объеме. Загрязнения замкнутых объемов (космических кораблей, подводных лодок, подземных бункеров, барокамер и др.) подразделяются на биологические (антропогенные и микробные) и техногенные (конструктивные материалы и технологические процессы).

Наибольшее значение имеют антропогенные загрязнения: из легких выделяется около 150 веществ, через желудочно-кишечный тракт — около 200, через мочевыделительную систему — около 180, через покровы тела (кожу и потовые железы, слизистые оболочки ротовой полости и др., волосы) — около 270 [1, с. 42–45; 2, с. 11–42; 3, с. 89–90; 4, с. 124–137; 5, с. 58–64; 6, с. 74–108]. В выдыхаемом воздухе, помимо во-

дяных паров, содержатся O_2, CO_2, CO, ацетальдегид, формальдегид, ацетон, метилэтилкетон, пропионовый альдегид, этанол, метанол, бутанол, пропанол, изопропанол, муравьиная, уксусная, пропионовая, изовалериановая и валериановая кислоты, уксусный альдегид, аммиак, диметиламины, метан, этан, этилен, пропан, гексан и другие вещества. Желудочно-кишечный тракт и мочевыделительная система являются источником выделения фекалий, кишечных газов и мочи с выходом в газовую среду индола, скатола, O_2, CO_2, водорода, сероводорода, метана и других углеводородов, азота, оксидов азота, алифатических кислот, фенолов и различных меркаптанов. При разложении мочи бактериями основным загрязнением, поступающим в атмосферу, является аммиак. Внешние покровы тела также выделяют аммиак, фенолы и ряд других микропримесей. Ороговевшие твердые частицы кожи, которые могут находиться во внешней среде во взвешенном состоянии, а также образовавшиеся в результате их десквамации (слущивания) протеины и липиды несут на себе множество микроорганизмов. В выделении многих эндогенных ВГВ роль микроорганизмов кишечника преобладает над ролью микрофлоры поверхностей тела.

Рост микрофлоры (бактерии, грибки и иногда водоросли) может происходить на внутренних поверхностях барокамеры, мебели, оборудовании и приборах, поверхностях тела, одежде, обуви и личных вещах лиц, находящихся в барокамере, а также в жидкостях (конденсат, подпаёльное пространство, умывальник, унитаз, емкость для хранения кала и мочи до вышлюзовывания). Микрофлора может находиться в газовой среде в виде аэрозолей и выделять в среду ВГВ.

Конструктивные материалы (пластики, смазочные и изоляционные материалы, краски, клеи, остатки растворителей после обезжиривающих обработок, предметы туалета) выделяют около 70 органических соединений и среди них: CO, эпихлоргидрин, цианистый и фтористый водород, акрилонитрил и некоторые другие. Технологические процессы (работа компрессоров, фильтров и электрооборудования, ультрафиолетовое облучение, приборки, процедуры личной гигиены и др.) могут стать причиной появления таких загрязнений, как пары масел, оксиды азота, CO, озон и др.

Таблица 1

Расчетные среднесуточные нормы выделения человеком газообразных вредных микропримесей (ГОСТ Р 50804-95)

Table 1

Estimated average daily norms of gaseous trace contaminantsper person (GOST R 50804-95)

№ п/п	Метаболические вещества	Среднесуточное выделение, мг/сут
1	Аммиак и аминосоединения	6,0±0,6
2	Оксид углерода	113,0±16,6
3	Углеводороды (по CH_4)	15,3±0,8
4	Жирные кислоты (уксусная кислота)	6,3±0,7
5	Альдегиды	1,4±0,1
6	Кетоны (ацетон)	5,7±3,4
7	Ацетальдегид	0,8±0,1
8	Метанол	1,52±0,7
9	Этанол	8,45±4,0
10	Метилэтилкетон	0,96±0,16
11	Диметиламин	0,8±0,1

Примечание: нормы приведены для комфортных микроклиматических условий и кислородно-азотной атмосферы с $P_{общ}$=760–788 мм рт. ст.

4. Расчетное среднесуточное выделение вредных веществ. Среднесуточное выделение человеком газообразных ВГВ было рассчитано на основе исследований, проведенных в ГНЦ РФ — ИМБП под руководством В. П. Савиной, Г. И. Соломина и Л. Н. Мухамедиевой [2, с. 11–42; 3, с. 89–90; 4, с. 124–137; 5, с. 58–64]. На основании этих исследований был разработан ГОСТ Р 50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования». Расчетные среднесуточные нормы выделения человеком ВГВ приведены в табл. 1.

При нахождении одного человека в течение 12 часов в замкнутом помещении объемом 6 $м^3$ концентрация ацетона увеличивается в 10 раз, аммиака — в 5 раз, альдегидов — в 30 раз, оксида углерода — в 5 раз [1, с. 42–45].

Нарастание концентрации ВГВ (без очистки газовой среды барокамер) происходит линейно и, следовательно, линейно возрастает поглощение и растворение газов в органах и тканях, что в конечном итоге приводит к отравлению организма человека.

5. Влияние условий на выделение вредных газообразных веществ. Количество выделяемых из организма ВГВ в основном определяется уровнем катаболизма (энергетического обмена, диссимиляции, метаболического распада) сложных веществ на более простые или окисления вещества (пищи), обычно протекающих с освобождением энергии. При повышении давления в барокамере объемное (или массовое) количество выделяемых газов уменьшается пропорционально величине давления, а их парциальное давление сохраняется на прежнем уровне. В то же время большое количество разнообразных внешних и внутренних факторов (условий нахождения в барокамере) может оказывать значительное влияние на количественные и качественные характеристики выделяемых из организма газов.

Суточные колебания количества большинства выдыхаемых соединений в точности соответствуют суточным изменениям обмена веществ. Днем, в период бодрствования, максимальным концентрациям CO_2 соответствует наибольшее выделение летучих метаболитов, ночью эти показатели минимальны. Наибольшее количество исследований было проведено по выделению из организма оксида углерода. Установлено, что выделение CO из организма является максимальным в полдень и минимальным в полночь. Выделение CO увеличивается при гипероксии и повышении концентрации CO и CO_2 в окружающей среде, а также связано с выполнением физической работы [7, с. 63]. Стоит отметить, что гипероксия и повышенное содержание CO_2 зачастую сопровождают спуски в барокамере и проведение лечебной рекомпрессии. В экспериментах по ДП [8, с. 22–33; 9, с. 55–59] под давлением до 20–30 м вод.ст. в условиях гипероксии в подводной лаборатории «Черномор» выделение CO членами экипажа примерно 2 раза превышало ожидаемые значения по сравнению с имевшимися в 1960-х годах литературными данными по элиминации CO в условиях нормального давления, что примерно в 4 раза превышает современные расчетные нормы его содержания по табл. 1.

Ряд авторов отмечают значительное увеличение выделения различных ВГВ (антропогенного и из полимерных материалов) при повышении температуры газовой среды. При температуре воздуха +40° С и относительной влажности 90% содержание почти всех ВГВ в выдыхаемом воздухе увеличивается в 2–10 раз. При этом важно учитывать, что использование гелийсодержащих сред само по себе требует повышения температуры в отсеках барокамеры до 28–32° С.

Функциональные и морфологические изменения органов и систем организма могут повлиять на скорость выделения ВГВ и на чувствительность к различным химическим веществам, причем наиболее значимыми для токсикологии являются изменения в деятельности ЦНС, сердечно-сосудистой системы, гематологические изменения, изменения тканевых ферментов и иммунологических характеристик [10, с. 68–100], что можно отнести не только к условиям космических полетов, но также к гипербарии.

Выход метаболических продуктов организма человека и тепла зависит от усвояемой части и состава рациона, а также от индивидуальных особенностей протекания метаболических процессов. По изменению количества и соотношения выделяемых веществ можно делать выводы и о качественных изменениях в обмене веществ. Например, при повышенном давлении в барокамере увеличивается по сравнению с нормальным давлением выделение углеводородов, ацетона и кетокислот. В совокупности с результатами биохимического изучения крови эти данные говорят о том, что у водолазов в большей мере усиливается обмен жиров, чем углеводов и белков [1, с. 42–45].

Влияние множества факторов нахождения в замкнутом объеме барокамеры под давлением, как и факторов орбитального космического полета, требует проведения дополнительных исследований, поскольку и в тех и в других условиях отмечается увеличение концентрации ряда продуктов метаболизма по сравнению с нормальными условиями существования.

6. Действие на организм основных вредных газообразных веществ. ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности» устанавливает 4 класса опасности вредных веществ по степени воздействия на организм человека:

1-й класс — вещества чрезвычайно опасные (ПДК менее 0,1 мг/м^3);

2-й класс — вещества высокоопасные (ПДК 0,1–10 мг/м^3);

3-й класс — вещества умеренно опасные (ПДК 1,1–10,0 мг/м^3);

4-й класс — вещества малоопасные (ПДК более 10 мг/м^3).

По характеру воздействия на органы и системы организма ВГВ разделятся на следующие группы:

— общетоксические вещества (оксид углерода, бензол, углеводороды, спирты, анилин, сероводород, синильная кислота и ее соли, хлорированные углеводороды и др.) вызывают отравление всего организма, приводящее к расстройствам нервной системы, мышечным судорогам, нарушениям структуры ферментов, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином;

— раздражающие вещества (аммиак, ацетон, оксиды азота, диоксид серы, туманы кислот и др.) вызывают раздражение слизистых оболочек, верхних и глубоких дыхательных путей;

— сенсибилизирующие вещества (формальдегид, различные нитросоединения, никотинамид, гексахлоран, органические азокрасители, диметиламиноазобензол и др.) повышают чувствительность организма к химическим веществам, могут приводить к аллергическим заболеваниям;

— канцерогенные вещества (оксиды хрома, 3,4-бензпирен, нитроазосоединения. ароматические амины и др.) вызывают развитие всех видов раковых заболеваний;

— мутагенные вещества (оксид этилена, хлорированные углеводороды и др.) оказывают воздействие на соматические и половые клетки (гаметы), вызывают изменения в генотипе человека, обнаруживаются в отдаленном периоде жизни и проявляются в преждевременном старении, повышении общей заболеваемости, появлении злокачественных новообразований; оказывают мутагенное влияние на последующее поколение, иногда в очень отдаленные сроки;

— вещества, влияющие на репродуктивную функцию человеческого организма (борная кислота, аммиак, многие химические вещества в больших количествах), влияют на развитие плода в матке и послеродовое развитие, вызывают возникновение врожденных пороков развития и отклонений от нормальной структуры у потомства, нарушения его здоровья.

Большинство газообразных загрязнений (летучих метаболитов), в том числе антропогенных, обладают токсическим действием на организм человека и являются антропогенными токсинами. Наиболее уязвима к их действию нервная система. Многие из веществ (ацетон, предельные углеводороды) оказывают наркотическое действие на ЦНС. В отличие от настоящих наркотиков, вызывающих галлюцинации, действие летучих органических веществ может выражаться в сонливости, головных болях, вызывать обмороки. Одна из основных гипотез механизмов их действия — мембранная (наркоз могут вызывать вещества, растворяющиеся в мембранах нервных клеток). Оксид углерода, имеющий в 300 раз большее по сравнению с O_2 сродство к гемоглобину, связываясь с ним и клеточными дыхательными ферментами, препятствует переносу O_2 кровью и окислительным процессам в тканях, вызывает гемолиз эритроцитарного гема и миоглобина в ходе эритропоэза. Сероводород и меркаптаны, обладая сильным и неприятным запахом, вызывают тошноту, головную боль, а в более высоких концентрациях проявляют угнетающее действие на ЦНС. Уксусная кислота и аммиак оказывают сильное раздражающее действие на дыхательные пути и слизистые оболочки глаз, вызывают удушье, насморк и слезотечение.

Кишечные газы в определенных условиях становятся пожаро- и взрывоопасными. Кишечные газы содержат примерно 60% азота, 5% кислорода, 15% диоксида углерода и 20% водорода, а также сероводород, метан, оксид углерода и меркаптан. Все это при соединении в определенных пропорциях с кислородом пожаро- и взрывоопасно. Некоторые возгорания в кислородной среде барокамер В. И. Тюрин [11, с. 42] относит на счет наличия в них кишечных газов.

7. Предельно допустимые концентрации вредных газообразных веществ. Предельно допустимые концентрации ВГВ для барокамер ДП (барокамер длительного пребывания) были приняты в 1960-х годах 40 НИИ МО на основании космических норм, разработанных в ИМБП. Специальных исследований по накоплению ВГВ в барокамерах тогда не проводилось, за исключением выполненных в начале 1980-х годов на Баренцевом море исследований в барокамере водолазного судна Мингазпрома «Спрут», где с участием испытуемых-добро-

вольцев изучалось накопление оксида углерода без использования фильтра дожигания CO в CO_2. В результате этих исследований была подтверждена необходимость очистки от CO в барокамерах ДП.

В дальнейшем были приняты единые для всех ведомств нормы ПДК ВГВ в барокамерах. В табл. 2 приведены нормы ПДК ВГВ в газовой среде барокамер по ГОСТ Р 52264-2004 «Барокамеры водолазные. Общие технические условия», дополненные ПДК ряда других основных вредных веществ по ГОСТ Р 50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования».

Таблица 2

ПДК вредных веществ в газовой среде по ГОСТ Р 52264-2004 и ГОСТ Р 50804-95

Table 2

Maximum permissible concentrations of hazardous substances in the gaseous environment according to GOSTR 52264-2004 and GOST R 50804-95

Химические факторы	ПДК вредных веществ для барокамер, мг/м^3		ПДК вредных веществ кабин космических кораблей, мг/м^3 для экспозиций		
	ДП	КП	15 дней	30 дней	360 дней
Оксид углерода	5,0	5,0	—	—	—
Аммиак	0,8	0,8	—	—	—
Ацетон	5,0	5,0	—	—	—
Предельные углеводороды (в пересчете на декан)	35,0	35,0	—	—	—
Органические вещества (в основном углеводороды):					
в пересчете на углерод	50	50	—	—	—
по окисляемости	65	65	—	—	—
Сероводород	0,8	0,8	—	—	—
Оксиды азота	0,1	0,1	—	—	—
Жирные кислоты (уксусная кислота)	—	—	10,0	3,0	0,5
Альдегиды	—	—	1,0	1,0	1,0
Ацетальдегид	—	—	—	—	1,0
Метанол	—	—	—	—	0,2
Этанол	—	—	—	—	10,0
Гексановая (капроновая) кислота	—	—	10,0	6,3	2,9
Бутановая (Н-масляная) кислота	—	—	20,0	10,8	4,0
Пропиленовая (акриловая) кислота	—	—	40,0	18,0	5,6
Этиленгликоль	—	—	100,0	—	1,0
Формальдегид	—	—	—	—	0,05
Кетоны	—	—	—	—	0,5

Нормы ПДК ВГВ в кабинах космических кораблей, приведенные в ГОСТ Р 50804-95, соответствуют международным требованиям 1975 г. [6, с. 74–108]. В 1994 г. международные требования были изменены [10, с. 68–100], включая сроки пребывания в кабинах космических кораблей (1 и 24 ч, 7, 30 и 180 дней). Были изменены также ПДК ряда ВГВ. Однако они в данной статье не приводятся, поскольку продолжает действовать ГОСТ Р 50804-95. Кроме того, данные изменения не имеют принципиального значения, поскольку в барокамерах (барокомплексах) с полноценной очисткой содержание ВГВ поддерживается значительно ниже ПДК, а владельцы баротехники без очистки газовой среды не смогут воспользоваться ни старыми, ни новыми нормативами.

8. Методы удаления CO_2 и вредных газообразных веществ в барокамерах. В барокамерах происходит в основном антропогенное накопление диоксида углерода (CO_2), который, несмотря на опасность действия определенных концентраций на организм, считается жизненно необходимым биологическим газом и не входит в перечень ВГВ. По данным космических исследований [10, с. 68–100] человек выделяет 990 г/сут CO_2. Требуются регулярный контроль его со-

держания и периодическое или постоянное удаление из газовой среды с помощью вентиляции или использования поглотителей, например, химического поглотителя известкового (ХП-И).

На протяжении многих десятилетий единственным способом коррекции газовой среды (воздуха) в отсеках барокамер была периодическая вентиляция, направленная в основном на снижение концентрации CO_2 и повышение содержания O_2 в газовой среде. Вентиляция проводится из расчета выделения человеком в состоянии покоя 25 л/ч CO_2 и предельно допустимого содержания CO_2 — 1%. Рассчитывается время до 1-й вентиляции с учетом объема камеры (отсека) и количества находящихся в ней людей. Количество подаваемого воздуха — 50% объема, после чего содержание CO_2 снижается до 0,5%. Время до последующих вентиляций равно половине времени до первой вентиляции. На каждой барокамере вывешивается табличка с заранее рассчитанным временем первичной и последующих вентиляций.

При каждой вентиляции одновременно с CO_2 наполовину уменьшается содержание в газовой среде всех ВГВ и микрофлоры, в определенной степени понижаются влажность и температура воздуха (газовой среды), происходит дезодорация, а также увеличивается содержание O_2. Однако применением вентиляции невозможно удалить ВГВ, можно лишь уменьшить их количество. Практически полная очистка газовой среды достигается только ее очисткой.

С 1960–70-х годов начал разрабатываться и внедряться метод выполнения водолазных работ из условий длительного пребывания (ДП) под повышенным давлением, называемый за рубежом методом насыщенных погружений (спуски с продолжительностью пребывания под давлением более 1–3 суток — полного насыщения организма индифферентным газом). Для сохранения здоровья лиц, находящихся под давлением, потребовалось уменьшить допустимое содержание ВГВ, принятое для кратковременных погружений. На смену вентиляции пришла очистка газовой среды. Системами жизнеобеспечения с очисткой газовой среды от всех ВГВ стали обеспечиваться все отечественные и зарубежные морские ГВК (глубоководные водолазные комплексы).

Этот принцип полноценной очистки газовой среды не только от CO_2, а также от всех ВГВ стал применяться в экспериментальных барокомплексах 40 НИИ МО, НИИ океанологии им. П. П. Ширшова РАН и ИМБП, а также в барокомплексах ЗАО СКБ ЭО при ИМБП РАН.

Имеется три способа очистки газовой среды от ВГВ.

1. Растворение ВГВ в конденсате. Полярные соединения (сероводород, меркаптаны, кислоты, аммиак, амины, альдегиды, спирты) растворяются во влажном воздухе барокамеры и в конденсате, после чего конденсат удаляется из камеры. Однако полноценной очистки даже от данной группы веществ этот способ не дает, поскольку не удаляются водонерастворимые ВГВ.

2. Адсорбция и абсорбция. Водонерастворимые примеси (углеводороды и ароматические неполярные соединения) хорошо устраняют фильтры с активированным углем (для одного человека достаточно около 1 кг угля). Имеются разновидности активированного угля, которые избирательно поглощают различные ВГВ. По этой причине целесообразно использовать смесь углей. Это практически не приводит к увеличению стоимости СЖО, но требует проведения специальных исследований по скорости выделения различных ВГВ в условиях гипербарии в сопоставлении с их предельно допустимыми концентрациями. Возможна адсорбция на цеолитах (молекулярных фильтрах) молекул газа с небольшим критическим диаметром, в частности, аммиака и диоксида углерода. Для дезодорации, удаления аммиака и аминов может также применяться купромитовая приставка, в которой активированный уголь пропитывается сернокислой медью с последующей сушкой.

3. Сложнее обстоит дело с СО. Единственный способ справиться с ним — окислить на катализаторе до CO_2, который затем удаляется. Окисление СО до CO_2 может проводиться купромитом в сочетании с газоподогревателем, а также с использованием гопкалитовых низкотемпературных катализаторов (смесь оксидов марганца, меди и серебра). Гопкалитовые приставки ограниченно применятся из-за взрывоопасности. В барокамерах для окисления СО обычно применяют высокотемпературные катализаторы (платину или палладий) — отечественный катализатор АК-62.

Отработанная шихта уничтожается или при наличии возможности регенерируется.

9. Требования нормативных документов по вредным газообразным веществам. Статья 6.1.8.10, пп. б1 ГОСТ Р 52264-2004 «Барокамеры водолазные. Общие технические условия»

предусматривает очистку газовой среды от диоксида углерода и ВГВ как одну из функций системы кондиционирования и очистки газовой среды барокамер. В ст. 6.1.5.4, табл. 5 данного ГОСТ приведены предельно допустимые концентрации ВГВ — оксида углерода, аммиака, ацетона, предельных углеводородов, органических веществ (в основном углеводородов), сероводорода и оксидов азота.

ГОСТ Р 57217-2016 «Барокамеры медицинские многоместные с рабочим давлением газовой среды 1,0 МПа. Общие технические требования» также содержит требование очистки газовой среды барокамер от ВГВ, причем отмечена необходимость очистки от СО. При этом предельно допустимые концентрации ВГВ должны соответствовать ГОСТ Р 52264-2004.

10. Соответствие действующих барокамер требованиям нормативных документов. В нашей предыдущей публикации [12, с. 51–62] был проведен анализ современных отечественных образцов водолазных барокамер и водолазных комплексов модульного, мобильного и передвижного исполнений. Анализ показал, что все они, за исключением барокомплекса «Спаситель» с барокамерой КДВ-1600, выпускаемого ЗАО «СКБ ЭО», не могут обеспечить безопасного применения лечебных режимов (кроме кислородных) при вентиляции отсеков по замкнутому циклу из-за накопления ВГВ, выделяемых человеком. Кроме того, в этих барокамерах санитарно-фановую систему заменяет биотуалет или ведро с крышкой, что усугубляет неблагоприятные условия существования и способствует накоплению ВГВ.

В ходе лечения британского водолаза в 2012 г. в Сочи на барокомплексе HAUX-Starcom 1800/11 [13, с. 330–347] был отмечен ряд технических недостатков: отсутствие системы очистки от СО и других ВГВ, затруднения со снижением влажности и с дезодорацией. Это заставило руководителей лечения в нарушение режима лечебной рекомпрессии с использованием кислородно-азотно-гелиевой среды с «глубины» 8 метров проводить частую вентиляцию барокамеры воздухом.

В большинстве отечественных и зарубежных барокамер используется только химический поглотитель известковый (ХП-И, зарубежные аналоги: содалайм, содасорб и др.) для удаления CO_2, отсутствуют патроны для окисления СО в CO_2. ВГВ в нарушение ГОСТ Р 52264-2004 и других нормативных документов не удаляются, а потому отсутствует также дезодорация газовой среды. Уже не только в первые сутки, но также в первые часы содержание некоторых ВГВ в атмосфере таких барокамер достигает ПДК, и организм начинает подвергаться токсическому действию этих веществ. В связи с тем, что в этих барокамерах применяется не замкнутая проточная система, а блоковая, возникают проблемы со снижением влажности газовой среды и удалением конденсата. Помимо значительного увеличения влажности в отсеках (до 100% на протяжении нескольких суток), следует учитывать еще одно неблагоприятное качество конденсата — в нем содержатся растворенные полярные соединения, которые, находясь в равновесном состоянии с газовой средой, могут элиминировать в газовую среду отсека (к таким соединениям относится, например, аммиак, который диссоциируется с его растворенной в воде формой — нашатырным спиртом). Применение силикагеля или активного глинозема для поглощения влаги зачастую не предусматривается, а если бы силикагель и использовался, то возникали бы проблемы с его закупкой и регенерацией. Кроме того, отечественный силикагель значительно уступает по качеству зарубежному.

Из сказанного следует, что содержание летучих примесей в воздухе нужно жестко контролировать и проводить полноценную очистку газовой среды.

Сопоставив данные табл. 1 и 2, можно рассчитать время достижения ПДК некоторых ВГВ при наличии в отсеках барокамер без очистки от них 1 пострадавшего или 2 человек (пострадавшего и врача) в зависимости от объема отсеков (1,7 $м^3$ — в РКУМу, 2,15 $м^3$ — в БДК-120Т, 2,98 $м^3$ — в РБК-1400, 13,5 $м^3$ — в HAUX-Starcom 1800/11, Сочи и 7 $м^3$ в КДВ-1600). Данные расчетов приведены в табл. 3.

После достижения ПДК (при отсутствии удаления ВГВ) нарастание их концентрации продолжается тем более, чем больше людей в отсеках барокамеры и чем меньше их объем. Считается, что это нарастание не зависит от величины давления, хотя имеются данные о том, что в условиях гипербарии увеличение концентрации ВГВ происходит быстрее, чем при нормальном атмосферном давлении. Следствием таких процессов могут быть появление в газовой среде неприятных запахов, неблагоприятные функциональные и морфологиче-

Таблица 3

Расчетное время достижения ПДК некоторых вредных веществ в газовой среде барокамер, не имеющих очистки от этих веществ, в зависимости от количества людей и общего объема барокамер

Table 3

Estimated time of achievement of maximum permissible concentration in the gaseous environment of chambers without trace contaminant removal system depending on the number of people and overall volume of chambers

№ п/п	Наименование вредных веществ	Среднесуточное выделение, мг/сут	ПДК мг/м^3	Время достижения ПДК (часы) в зависимости от объема отсеков барокамер и числа людей									
				1,7 м^3 в РКУМу		2,15 м^3 в БДК-120Т		2,98 м^3 в РБК-1400		13,5 м^3 в HAUX-Starcom 1800/11		3,38+3,62 м^3 в КДВ-1600	
	Кол-во человек			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Оксид углерода	113±16,6	5,0	1,8	0,9	2,3	1,1	3,2	1,6	14,3	7,2	нет	нет
2	Ацетон	5,7±3,4	0,5	3,6	1,8	4,5	2,3	6,3	3,1	28,4	14,2	нет	нет
3	Метанол*	1,52±0,7	0,2	5,4	2,7	6,8	3,4	9,4	4,7	42,6	21,3	нет	нет
4	Аммиак и аминосоединения	6±0,6	0,8	5,4	2,7	6,9	3,4	9,5	4,8	43,2	21,6	нет	нет
5	Альдегиды*	1,4±0,1	1,0	29,1	14,6	36,9	18,4	51,1	25,5	231,4	115,7	нет	нет
6	Этанол*	8,45±4,0	10,0	48,3	24,1	61,1	30,5	84,6	42,3	383,4	191,7	нет	нет
7	Уксусная кислота	6,3±0,7	10,0	64,8	32,4	81,9	41,0	113,5	56,8	514,3	257,1	нет	нет
8	Углеводороды	15,3±0,8	35,0	93,3	46,7	118,0	59,0	163,6	81,8	741,2	370,6	нет	нет
9	Ацетальдегид	0,8±0,1	5,0	255,0	127,5	322,5	161,3	447,0	223,5	2025,0	1012,5	нет	нет

Примечание: ПДК ВГВ, помеченных звездочкой (*), взяты из ГОСТ Р 50804-95 для 360-суточных полетов

ские изменения в различных органах и системах организма вплоть до клинических проявлений отравления.

Следует также учитывать, что при наличии в газовой среде нескольких ВГВ однонаправленного действия на одни и те же системы организма должен учитываться кумулятивный эффект с расчетом суммарного показателя токсичности газовой среды (сумма отношений фактических концентраций веществ к их ПДК) по формуле: $C_1/ПДК_1+C_2/ПДК_2+...+C_n/ПДК_n \leqslant 1$. Сумма отношений не должна превышать единицы (приказ Минтруда России от 24.01.2014 г. № 33н «Об утверждении Методики специальной оценки условий труда. Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению»).

Однонаправленным действием на организм работников, как правило, обладают:

а) комбинации веществ с одинаковой спецификой клинических проявлений:

— вещества раздражающего типа действия (кислоты и щелочи и др.);

— аллергены (эпихлоргидрин и формальдегид и др.);

— вещества наркотического типа действия (комбинации спиртов и др.);

— фиброгенные пыли;

— канцерогенные для человека вещества;

б) комбинации веществ, близкие по химическому строению:

— хлорированные углеводороды (предельные и непредельные);

— бромированные углеводороды (предельные и непредельные);

— различные спирты;

— различные щелочи;

— ароматические углеводороды (толуол и бензол; толуол и ксилол);

— аминосоединения;

— нитросоединения и т.п.;

в) комбинации, изученные в эксперименте:

— оксиды азота и оксид углерода;

— аминосоединения и оксид углерода;

— нитросоединения и оксид углерода.

В Руководстве Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса», утвержденном Роскомнадором 29.07.2005 г., приведены примеры сочетаний веществ однонаправленного действия: оксиды азота и оксид углерода, оксид углерода и аминосоединения, оксид углерода и нитросоединения, амино- и нитросоединения, различные спирты, различные кислоты, различные щелочи, различные хлорированные углеводороды, различные бромированные углеводороды и др.

В исследованиях, выполненных в ИМБП [4, с. 124–137], было показано, что при концентрации химического вещества в газовой среде в 10 раз ниже ПДК (т.е. при полноценной очистке) отсутствует аддитивный эффект (суммация) комбинированного воздействия веществ, и этот постоянный «химический фон» можно не учитывать при токсикологической оценке качества среды.

О высокой опасности отравления ВГВ в современных барокамерах свидетельствует недавний случай лечения в апреле 2018 г. водолаза, получившего баротравму легких, в барокамере ООО «Дайвтехносервис» РБК-1400 в 1477 ВМКГ МО РФ (Владивосток) [14, с. 57–72]. Лечебная рекомпрессия с максимальным давлением 100 м вод.ст. проводилась в течение 2 суток в воздушной среде с вентиляцией через каждые 30–90 минут. Активные и грамотные действия руководителей лечебной рекомпрессии дали положительный результат по лечению баротравмы легких. Однако по окончании лечения было отмечено повышение уровня билирубина и АСТ, что, как отмечено в статье руководителей лечения, «скорее всего, связано с воздействием газообразных вредных веществ антропогенного происхождения в концентрациях выше допустимых, что может быть обусловлено, в том числе, и отсутствием санитарно-бытовой системы барокамеры, повышенной температурой газовой среды отсека и повторным испарением конденсата с вредными примесями системой электрического обогрева барокамеры». Трудно представить себе последствия лечения в этой барокамере, если бы применялась лечебная рекомпрессия с использованием кислородно-азотно-гелиевой среды, более продолжительная и без применения частой и объемной вентиляции.

В ходе плановых испытаний барокомплекса «Спаситель» с барокамерой КДВ-1600 в 2017 г. на базе ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН» был проведен эксперимент [15, с. 47–53] с участием трех испытателей-добровольцев при тренировочном спуске с максимальным давлением воздуха 100 м вод.ст. общей продолжительностью 3 ч 10 мин. При этом с начала эксперимента удалялся CO_2, через 1 час был включен фильтр очистки от ВГВ, а затем стала проводиться вентиляция барокамеры. Показано, что при отсутствии технических средств удаления ВГВ (что имеет место в большинстве современных барокамер) необходимо строго выполнять требования ПВС ВМФ-2002[1] в части проведения вентиляции отсеков. Сопоставление этих данных с расчетным увеличением содержания ВГВ показало, что применение «замкнутого» цикла вентиляции отсеков с использованием только средств очистки от CO_2 недопустимо.

Заключение. Считаем, что использование барокомплексов (барокамер), не имеющих системы очистки газовой среды от вредных веществ, может быть разрешено только с использованием воздушной среды при строгом соблюдении режима вентиляции в соответствии с ПВС ВМФ-2002[1] или «Межотраслевых правил…»[3], для чего необходимо увеличить запасы воздуха.

Использование в этих барокамерах (барокомплексах) кислородно-азотно-гелиевых сред для проведения спусков или лечения должно быть запрещено.

Для совершенствования нормативов ПДК вредных веществ в гипербарической газовой среде должны быть выполнены работы по анализу имеющихся литературных данных, математическое моделирование процессов формирования химического состава газовой среды. В частности, комбинированное воздействие на многокомпонентный химический состав воздушной среды международной космической

[1] Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002. Утв. приказом ГК ВМФ от 24.12.02 г. № 506. М.: Воениздат, 2003. Ч. II, 242 с.

[2] Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002. Утв. приказом ГК ВМФ от 24.12.02 г. № 506. М.: Воениздат, 2003. Ч. II, 242 с.

[3] Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ. ПОТ Р М-030-2007. Утв. МЗ РФ от 13.04.2007 г. Информационно-справочный материал / под ред. В. А. Рогожникова. М.: Фирма «Слово», 2007, 320 с.

станции по CO_2 в концентрации 0,79 кПа (ГОСТ Р 50804-95) потребовало снижения содержания CO_2 до 2–3 мм рт.ст. и необходимость экспериментального обоснования нормативов для длительных орбитальных и межпланетных полетов. Аналогичные исследования могут быть проведены в сателлитных исследованиях в барокамерах параллельно с длительными наземными и орбитальными космическими исследованиями, поскольку известны эффекты взаимного усиления действия углекислоты при сочетанном действии с другими факторами (в том числе гипербарическими).

***

Работа выполнена при частичной поддержке Программы научных исследований Президиума РАН «Фундаментальные исследования для биомедицинских технологий».

Литература/References

1. Скрупский В.А. Ты — мое дыхание // Химия и жизнь — XXI век. 1997. № 2. С. 42–45. [Skrupskij V.A. Ty — moe dyhanie. *Himiya i zhizn' — XXI vek*, 1997, No. 2, pp. 42–45. (In Russ.)].
2. Савина В.П., Кузнецова Т.И. Источники загрязнения атмосферы кабин микропримесями и их токсикологическая оценка // *Проблемы космической биологии.* М., 1980. Т. 42. С. 11–42. [Savina V.P., Kuznecova T.I. Istochniki zagryazneniya atmosfery kabin mikroprimesyami i ih toksikologicheskaya ocenka. *Problemy kosmicheskoj biologii.* Moscow, 1980, vol. 42, pp. 11–42. (In Russ.)].
3. Соломин Г.И., Яблочкин В.Д., Горшунова А.И. и др. Исследование воздушной среды макета космической станции «Сают-6» // *Авиакосмическая медицина.* Тез. докл. 6-й Всесоюзн. конф. по космической биологии и авиакосмической медицине. М., Калуга, 1979. Т. 2. С. 89–90. [Solomin G.I., Yablochkin V.D., Gorshunova A.I. et al. Issledovanie vozdushnoj sredy maketa kosmicheskoj stancii «Sayut-6». *Aviakosmicheskaya medicina.* Tezisy dokladov 6-j Vsesoyuznoj konferencii po kosmicheskoj biologii i aviakosmicheskoj medicine. Moscow, Kaluga, 1979, vol. 2, pp. 89–90. (In Russ.)].
4. Мухамедиева Л.Н., Пахомова А.А. Токсикологическая безопасность воздушной среды в длительных пилотируемых космических полетах // *Космическая медицина и биология*: сборник научных статей / под ред. А. Григорьева, И. Б. Ушакова. Воронеж: Научная книга, 2013. С. 124–137. [Muhamedieva L.N., Pahomova A.A. Toksikologicheskaya bezopasnost' vozdushnoj sredy v dlitel'nyh pilotiruemyh kosmicheskih poletah. *Kosmicheskaya medicina i biologiya*: sbornik nauchnyh statej / pod red. A. Grigor'eva, I. B. Ushakova. Voronezh: Izdatel'stvo Nauchnaya kniga, 2013, pp. 124–137. (In Russ.)].
5. Пахомова А.А., Озеров Д.С., Царьков Д.С., Хорошева Е.Г., Мухамедиева Л.Н. Мониторинг, особенности формирования и гигиенические характеристики состава химических веществ в воздушной среде Международной космической станции Токсикологическая безопасность воздушной среды в длительных пилотируемых космических полетах // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* 2017. Т. 51, № 1. С. 58–64. [Pahomova A.A., Ozerov D.S., Car'kov D.S., Horosheva E.G., Muhamedieva L.N. Monitoring, osobennosti formirovaniya i gigienicheskie harakteristiki sostava himicheskih veshchestv v vozdushnoj srede Mezhdunarodnoj kosmicheskoj stancii Toksikologicheskaya bezopasnost' vozdushnoj sredy v dlitel'nyh pilotiruemyh kosmicheskih poletah. *Aviakosmicheskaya i ehkologicheskaya medicina*, 2017, vol. 51, No. 1, pp. 58–64. (In Russ.)].
6. Уандис Р.К. Токсикология воздуха замкнутых объемов // *Основы космической биологии и медицины.* Совместное советско-американское издание / под ред. О.Г. Газенко, М. Кальвина. Т. II, кн. 1: Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины. М.: Наука, 1975. С. 74–104. [Uandis R.K. Toksikologiya vozduha zamknutyh ob»emov. *Osnovy kosmicheskoj biologii i mediciny.* Sovmestnoe sovetsko-amerikanskoe izdanie / pod red. O. G. Gazenko, M. Kal'vina, vol. II, kniga 1: Ehkologicheskie i fiziologicheskie osnovy kosmicheskoj biologii i mediciny. Moscow: Izdatel'stvo Nauka, 1975, pp. 74–104. (In Russ.)].
7. Дьяченко А.И., Зизина А.Г., Степанов Е.В., Шулагин Ю.А. *Математическая модель динамики содержания эндогенной моноокиси углерода в организме человека.* М.: ИОФРАН им. А. М. Прохорова, 2008, 63 с. [D'yachenko A.I., Zizina A.G., Stepanov E.V., Shulagin Yu.A. *Matematicheskaya model' dinamiki soderzhaniya ehndogennoj monookisi ugleroda v organizme cheloveka.* Moscow: Izdatel'stvo IOFRAN im. A. M. Prohorova, 2008, 63 p. (In Russ.)].
8. Гриневич В.А. Организация и результаты медико-физиологических исследований и обеспечения подводных лабораторий на средних глубинах // *Подводные медико-биологические исследования.* Киев: Наукова думка, 1975. С. 22–33. [Grinevich V.A. Organizaciya i rezul'taty mediko-fiziologicheskih issledovanij i obespecheniya podvodnyh laboratorij na srednih glubinah. *Podvodnye mediko-biologicheskie issledovaniya.* Kiev: Izdatel'stvo Naukova dumka, 1975, pp. 22–33. (In Russ.)].
9. Боровиков П.А. Изменения в составе дыхательной газовой смеси подводной лаборатории «Черномор-2» // *Подводные медико-биологические исследования.* Киев: Наукова думка, 1975. С. 55–59. [Borovikov P.A. Izmeneniya v sostave

dyhatel'noj gazovoj smesi podvodnoj laboratorii «Chernomor-2». *Podvodnye mediko-biologicheskie issledovaniya.* Kiev: Izdatel'stvo Naukova dumka, 1975, pp. 55–59. (In Russ.)].

10. Джеймс Дж.Т., Коулман М.Е. Токсическое действие газообразных примесей и аэрозолей // *Космическая биология и медицина.* Совместное российско-американское издание / под ред. О. Г. Газенко, А. И. Григорьева, А. Е. Никогосяна, С.Р. Молера. Т. II. Обитаемость космических летательных аппаратов. М.: Наука, 1994. С. 68–100. [Dzhejms Dzh.T., Koulman M.E. Toksicheskoe dejstvie gazoobraznyh primesej i aehrozolej. *Kosmicheskaya biologiya i medicina.* Sovmestnoe rossijsko-amerikanskoe izdanie / pod red. O. G. Gazenko, A. I. Grigor'eva, A. E. Nikogosyana, S. R. Molera, vol. II. Obitaemost' kosmicheskih letatel'nyh apparatov. Moscow: Izdatel'stvo Nauka, 1994, pp. 68–100. (In Russ.)].
11. Тюрин В.И. *Пожары в водолазных и лечебных барокамерах и их профилактика.* СПб.: ВМедА, 1998. 42 с. [Tyurin V.I. *Pozhary v vodolaznyh i lechebnyh barokamerah i ih profilaktika.* Saint Petersburg: Izdatel'stvo VMedA, 1998. 42 p. (In Russ.)].
12. Логунов А.Т., Гришин В.И., Павлов Н.Б., Соколов Г.М. Современное состояние, тенденции и перспективы разработок отечественных наземных технических средств гипербарической медицинской помощи в системе медицинского обеспечения спасательных и водолазных работ // *Морская медицина.* 2015. Т. 1, № 1. С. 51–62. [Logunov A.T., Grishin V.I., Pavlov N.B., Sokolov G.M. Sovremennoe sostoyanie, tendencii i perspektivy razrabotok otechestvennyh nazemnyh tekhnicheskih sredstv giperbaricheskoj medicinskoj pomoshchi v sisteme medicinskogo obespecheniya spasatel'nyh i vodolaznyh rabot. *Morskaya medicina*, 2015, vol. 1, No. 1, pp. 51–62. (In Russ.)].
13. Соколов Г.М. Оказание помощи британскому водолазу // *Космический альманах.* Юбилейный выпуск (№ 15), ГНЦ РФ–ИМБП РАН. Воронеж: Научная книга. С. 330–347. [Sokolov G.M. Okazanie pomoshchi britanskomu vodolazu. *Kosmicheskij al'manah.* Yubilejnyj vypusk (No 15), GNC RF–IMBP RAN. Voronezh: Izdatel'stvo Nauchnaya kniga, 2013, pp. 330–347. (In Russ.)].
14. Артеменко Е.С., Логоша И.К. Опыт лечения баротравмы легких тяжелой степени с применением современного барокомплекса // *Морская медицина.* 2018. Т. 4, № 2. С. 57–72. [Artemenko E.S., Logosha I.K. Opyt lecheniya barotravmy legkih tyazheloj stepeni s primeneniem sovremennogo barokompleksa. *Morskaya medicina*, 2018, vol. 4, No. 2, pp. 57–72. (In Russ.)].
15. Шайхутдинов Д.Г., Строй А.В., Иванов С.А., Мишаков В.В., Пирогов Н.А. Динамика концентрации газообразных веществ в отсеке барокамеры, не имеющей технических средств для ее удаления // *Морская медицина.* 2018. Т. 4, № 1. С. 47–53. [Shajhutdinov D.G., Stroj A.V., Ivanov S.A., Mishakov V.V., Pirogov N.A. Dinamika koncentracii gazoobraznyh veshchestv v otseke barokamery, ne imeyushchej tekhnicheskih sredstv dlya ee udaleniya. *Morskaya medicina*, 2018, vol. 4, No. 1, pp. 47–53. (In Russ.)].

Поступила в редакцию/Received by the Editor: *25.08.2018 г.*

Контакт: *Логунов Алексей Тимофеевич, a.t.logunov@yandex.ru*

Сведения об авторах:

Соколов Геннадий Михайлович — полковник медицинской службы в отставке, старший научный сотрудник группы «Гипербария» лаборатории «Физиологии кардиореспираторной системы и баромедицины» отдела «Физиологии человека в экстремальных условиях» ГНЦ РФ — Института медико-биологических проблем РАН; 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А; e-mail: gensokolov2@yandex.ru;

Суворов Александр Владимирович — доктор медицинских наук, заведующий отделом «Физиологии человека в экстремальных условиях» ГНЦ РФ — Института медико-биологических проблем РАН; 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А; e-mail: suvalex@inbox.ru;

Логунов Алексей Тимофеевич — Генеральный директор — Главный конструктор ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»; 141400, г. Химки Московской обл., Вашутинское шоссе, д. 1; e-mail: a.t.logunov@yandex.ru.