

ФАКТИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В КОНТУРЕ ВОДОЛАЗНОГО ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ЗАМКНУТОЙ СХЕМОЙ ДЫХАНИЯ И ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

С. А. Бычков*, С. Г. Фокин, А. М. Ярков, М. В. Краморенко

Центр подводных исследований Русского географического общества,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

ЦЕЛЬ. Оценить по результатам замеров адекватность дыхательной газовой смеси, формируемой в дыхательном контуре водолазного дыхательного аппарата с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведено 11 замеров фактического состава дыхательной газовой смеси в дыхательном контуре водолазного дыхательного аппарата с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением во время водолазных спусков в барокамере. Процентное соотношение кислорода, гелия и диоксида углерода во вдыхаемой дыхательной газовой смеси измерялось на максимально запланированной глубине водолазного спуска, а также на декомпрессионных остановках на глубине 12 м и 6 м с помощью приборов Analox ATA Pro Trimix Analyzer и Dragger X-am 5600. Результаты сравнивались с расчетными и допустимыми значениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Значимых отклонений процентного содержания кислорода, гелия и диоксида углерода в дыхательной газовой смеси от расчетных и допустимых показателей не выявлено. Различия фактических значений кислорода от расчетных не превысили 8,1 %, а при глубоководных водолазных спусках различие составило не более 4,9 %. Различия фактических значений гелия от расчетных не превысили 10,4 %. Приведенная к глубине погружения концентрация диоксида углерода в дыхательной газовой смеси на вдохе в период измерений не превысила 1 %.

ОБСУЖДЕНИЕ. Различия фактических значений от расчетных, зафиксированные в результате измерений, можно объяснить особенностями конструктивного устройства современного водолазного дыхательного аппарата с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением, где формирование дыхательной газовой смеси является динамическим процессом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии предпосылок развития специфических водолазных заболеваний, возникающих вследствие формирования неадекватной дыхательной газовой смеси в дыхательном контуре аппарата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, водолазный дыхательный аппарат, замкнутая схема дыхания, электронное управление, дыхательная газовая смесь, гелий, кислород, диоксид углерода

*Для корреспонденции: Бычков Сергей Анатольевич, e-mail: markis86@mail.ru

*For correspondence: Sergei A. Bychkov, e-mail: markis86@mail.ru

Для цитирования: Бычков С.А., Фокин С.Г., Ярков А.М., Краморенко М.В. Фактический состав газовой смеси в контуре водолазного дыхательного аппарата с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением: экспериментальное исследование // *Морская медицина*. 2024. Т. 10, № 1. С. 99-104. doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2024-10-1-99-104> EDN: <https://elibrary.ru/NKOTEI>

For citation: Bychkov S.A., Fokin S.G., Yarkov A.M., Kramorenko M.V. Actual composition of gas mixture in circuit of diving respiratory apparatus with closed breathing circuit and electronic control: experimental study // *Marine medicine*. 2024. Vol. 10, No. 1. P. 99-104. doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2024-10-1-99-104> EDN: <https://elibrary.ru/NKOTEI>

ACTUAL COMPOSITION OF GAS MIXTURE IN CURCUIT OF DIVING RESPIRATORY APPARATUS WITH CLOSED BREATHING CURCUIT AND ELECTRONIC CONTROL: EXPERIMENTAL STUDY

Sergei A. Bychkov, Sergei G. Fokin, Andrey M. Yarkov, Michael V. Kramorenko
Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,
St. Petersburg, Russian Federation

OBJECTIVE. Based on the measurement results, to assess adequacy of the breathing gas mixture, formed in the breathing circuit of a diving respiratory apparatus with the closed breathing circuit and electronic control.

MATERIALS AND METHODS. 11 measurements of the actual composition of the breathing gas mixture in the breathing circuit of a diving respiratory apparatus with the closed breathing circuit and electronic control were conducted during diving descents in the hyperbaric chamber. The percentage of oxygen, helium and carbon dioxide in the inhaled breathing gas mixture was measured at the maximum planned depth of a diving descent as well as decompression stops at a depth of 12 m and 6 m, using Analox ATA Pro Trimix Analyzer and Dragger X-am 5600 devices. The results were compared to calculated and allowable values.

RESULTS. There were no significant deviations in the percentage of oxygen, helium and carbon dioxide in the breathing gas mixture from calculated and allowable values. Differences of the actual values of oxygen from the calculated ones did not exceed 8,1 %, and in deep-water diving descents the difference was no more than 4,9 %. Differences of the actual helium values from the calculated ones did not exceed 10,4 %. Carbon dioxide concentration in the breathing gas mixture, equated with the dive depth, on inhalation within the measurement period did not exceed 1 %.

DISCUSSION. Differences of the actual values from the calculated ones, recorded as a result of measurements, can be explained by the design feature of a modern diving respiratory apparatus with the closed breathing circuit and electronic control, where the formation of the breathing gas mixture is a dynamic process.

CONCLUSION. The results obtained suggest lack of preconditions for the development of specific diving diseases, arising as a result of forming inadequate breathing gas mixture in the breathing circuit of the apparatus.

KEYWORDS: marine medicine, diving respiratory apparatus, closed breathing circuit, electronic control, breathing gas mixture, helium, oxygen, carbon dioxide

Введение. Водолазные дыхательные аппараты (ВДА) с замкнутой схемой дыхания (ЗСД) и электронным управлением (ЭУ) стали активно применяться в начале XXI в. в спортивных и военных целях по всему миру. Возможность поддерживать постоянное значение парциального давления кислорода в дыхательном контуре ВДА в совокупности с экономией дыхательной газовой смеси (ДГС) и ее естественным подогревом дает неоспоримые преимущества, выражающиеся в увеличении длительности пребывания водолаза под водой, снижении на него операционной нагрузки и сокращении времени декомпрессионных обязательств [1]. Учитывая эти преимущества, сообщество водолазов России не могло не обратить внимание на эти дыхательные аппараты для решения ряда подводно-технических задач на глубинах до 120 м.

Для принятия в эксплуатацию глубоководного снаряжения необходимо доказать его безопасность и подтвердить заявленные характеристики. Фактический состав ДГС в дыхательном контуре является основополагающим элементом при оценке декомпрессионных обязательств водолаза, которые рассчитыва-

ются на основе показаний кислородных датчиков с учетом глубины и экспозиции под повышенным давлением. Поступающая на вдох водолазу ДГС должна быть максимально приближена к расчетным значениям процентного содержания ее составляющих, так как отклонения от них могут повысить вероятность развития острой декомпрессионной болезни, отравления кислородом и наркотического действия азота. Особое внимание следует уделить содержанию диоксида углерода в дыхательном контуре, поскольку оно отражает работу адсорбента в поглотительной коробке, являющейся неотъемлемой частью ВДА с ЗСД [2, 3].

Цель. На основании экспериментальных исследований проведена оценка адекватности ДГС, формируемой в дыхательном контуре ВДА с ЗСД и ЭУ во время водолазных спусков в условиях барокамеры на основе сравнения ее состава с расчетными и допустимыми значениями по кислороду, гелию и диоксиду углерода, которая позволит обосновать внедрение в отечественную практику водолазного дела ВДА с ЗСД с ЭУ.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проведены в Санкт-Петербур-

ге на базе Центра подводных исследований Русского географического общества в многоместной барокамере Southern Oceans 1800 Offshore в рамках научно-исследовательской опытно-конструкторской работы. Использовали ВДА с ЗСД и ЭУ (eCCR – Electronic Closed Circuit Rebreather), разработанные датской компанией JJ-CCR. В дыхательном контуре ДГС формировалась на основе газовых смесей баллонов аппарата, в роли которых выступали воздух или кислородно-азотно-гелиевые смеси (КАГС) 18/36, 13/50, 10/50. Первая цифра показывает процентное содержание кислорода, а вторая – гелия. Выбор газовых смесей в баллонах ВДА был обоснован созданием оптимальной ДГС в дыхательном контуре ВДА с ЗСД и ЭУ для проводимых экспериментальных водолазных спусков: парциальное давление кислорода не более 130 кПа (1,3 кгс/см²), парциальное давление азота не более 385 кПа (3,85 кгс/см²). Для расчетов режимов декомпрессии использован алгоритм Бульмана ZHL-16С, градиент-факторная модель, 16 тканей в модификации Эрика Бейкера (градиент-факторная модель) [4]. Проведено 11 исследований фактического состава ДГС с использованием прибора Analox ATA Pro Trimix Analyzer, который определял процентное содержание двух газов – кислорода и гелия. Определение процентного содержания диоксида углерода проводили с помощью прибора Dragger X-am 5600. Отбор ДГС осуществлялся на максимально запланированной глубине водолазного спуска и на декомпрессионных остановках 12 м и 6 м. Специальный патрубков, интегрированный в трубку вдоха ВДА с ЗСД, был соединен гибким шлангом с прибора-

ми газового анализа, расположенными за пределами барокамеры. Количество ДГС, отбираемой на анализ, не приводило к значительному снижению объема дыхательного контура. Замеры производили через минуту после прибытия на глубину декомпрессионной остановки, что связано с особенностями работы ВДА с ЗСД и ЭУ – компенсацией потери поддерживаемого в автоматическом режиме парциального давления кислорода, связанной с вытравливанием ДГС их дыхательного контура при общем снижении давления окружающей среды.

Результаты. При водолазных спусках на глубину 40 м с экспозицией 15 мин (газовая смесь в баллонах – воздух) фактические значения содержания кислорода в ДГС (FiO₂) на максимальной глубине зафиксированы меньше расчетных на 8,1 %, а на глубине 6 м – на 3,6 % (табл. 1). Для диоксида углерода (FiCO₂) на этих глубинах значения не превышали 0,105 % (норма для глубины 40 м составляет 0,2 %) [5].

Результаты измерений при спуске на глубину 60 м с экспозицией 15 мин (газовая смесь в баллонах ВДА – КАГС 18/36) представлены в табл. 2. Содержание FiO₂ оказалось выше расчетного: на грунте на 3,2 %, на глубине 12 м – на 2,7 %, а на глубине 6 м – на 7,6 %. Содержание гелия в ДГС (FiHe) зафиксировано ниже расчетного: на глубине 60 м – на 6,2 %, на 12 м – на 7,4 %, на 6 м – на 8,6 %. Значение FiCO₂ на 60 м составило 0,07 ± 0,03 % (при допустимом значении – 0,14 %), на 12 м – 0,08 ± 0,03%, а на 6 м – 0,08 ± 0,03 % [6].

Результаты измерений при водолажном спуске на глубину 80 м с экспозицией на грунте 15 мин (газовая смесь в баллонах ВДА – КАГС

Таблица 1

Состав ДГС в контуре ВДА с ЗСД и ЭУ при глубине спуска 40 м, газовая смесь – воздух

Table 1

Composition of the in RGM the breathing circuit of the eCCR at a depth of descent of 40 meters, diluent – air

Состав газовой смеси, %	Глубина спуска, м					
	40		12		6	
	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически
Кислород	26,0	23,9 ± 1,2	---	---	81,3	78,4 ± 1,8
Диоксид углерода	< 0,2	0,06 ± 0,03	---	---	< 0,63	0,1 ± 0,05

Примечание. Декомпрессионная остановка на глубине 12 м режимом декомпрессии не предусмотрена
Note. A decompression stop at a depth of 12 m was not included in the decompression mode

Таблица 2

**Состав ДГС в контуре ВДА с ЗСД и ЭУ при глубине спуска 60 м,
газовая смесь – КАГС 18/36**

Table 2

**The composition of the RGM in the contour of the eCCR at a descent depth of 60 m,
diluent – trimix 18/36**

Состав газовой смеси, %	Глубина спуска, м					
	60		12		6	
	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически
Кислород	18,6	19,2 ± 1,3	59,1	60,7 ± 1,8	81,3	87,5 ± 1,7
Гелий	35,6	33,4 ± 1,2	17,5	16,2 ± 1,5	8,2	7,5 ± 1,1
Диоксид углерода	< 0,14	0,07 ± 0,03	< 0,46	0,08 ± 0,03	< 0,63	0,08 ± 0,03

Таблица 3

**Состав ДГС в контуре ВДА с ЗСД и ЭУ при глубине спуска 80 м,
газовая смесь – КАГС 13/50**

Table 3

**The composition of the RGM in the contour of the eCCR at a descent depth of 80 m,
diluent – trimix 13/50**

Состав газовой смеси, %	Глубина спуска, м					
	80		12		6	
	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически
Кислород	14,4	15,1 ± 1,4	59,1	58,5 ± 1,4	81,3	85,4 ± 1,3
Гелий	49,0	47,5 ± 1,3	23,1	24,1 ± 1,5	10,7	11,3 ± 1,2
Диоксид углерода	< 0,11	0,09 ± 0,05	< 0,46	0,08 ± 0,05	< 0,63	0,08 ± 0,04

13/50) представлены в табл. 3. На грунте FiO_2 оказалось выше на 4,9 %, на 12 м – ниже на 1,0 % и на 6 м – выше на 5,0 %; FiHe на 80 м были ниже на 3,1 %, на 12 м – ниже на 4,3 %, на 6 м – выше на 5,6 %. Значение FiCO_2 на 80 м составило $0,09 \pm 0,05$ %, что меньше допустимого значения для этой глубины – 0,11 % [6], на 12 м – $0,08 \pm 0,03$ %, на 6 м – $0,08 \pm 0,03$ %.

Результаты измерений при спуске на 100 м с экспозицией 15 мин (газовая смесь в баллонах ВДА– КАГС 10/50) представлены в табл. 4. На грунте FiO_2 оказалось выше на 0,8 %, на глубине 12 м – ниже на 3,9 % и на 6 м – выше на 2,6 %; FiHe на 100 м были ниже на 1,8 %, на 12 м – ниже на 10,4 %, на 6 метрах выше на 7,6 %. Значение FiCO_2 на 100 м составило $0,04 \pm 0,03$ %, что меньше допустимых значений для этой глубины – 0,09 % [6], на 12 м – $0,08 \pm 0,03$ %, на 6 м – $0,08 \pm 0,03$ %.

Обсуждение. Различия фактических значений FiO_2 от расчетных, зафиксированные в результате измерений, не превысили 8,1 % и при пересчете парциального давления кислорода [кПа (кгс/см²)] в дыхательном контуре не выходят за рамки допустимых значений [минимальное 40 кПа (0,4 кгс/см²), максимальное 160 кПа (1,6 кгс/см²)] [7, 8]. При глубоководных водолазных спусках (60, 80 и 100 м) различие составило не более 4,9 %. Полученные результаты говорят об отсутствии предпосылок развития судорожной формы отравления кислородом.

Вариативность результатов можно объяснить особенностями конструктивного устройства современных ВДА с ЗСД и ЭУ, реализующими динамический процесс формирования ДГС в дыхательном контуре. Подача кислорода

**Состав ДГС в контуре ВДА с ЗСД и ЭУ при глубине спуска 100 м,
газовая смесь – КАГС 10/50**

Table 4

**The composition of the RGM in the contour of the eCCR at a depth of descent of 100 m, diluent –
trimix 10/50**

Состав газовой смеси, %	Глубина спуска, м					
	100 м		12 м		6 м	
	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически	расчетное значение	фактически
Кислород	11,8	11,9 ± 1,2	59,1	56,8 ± 1,7	81,3	83,4 ± 1,1
Гелий	49,0	48,1 ± 1,1	22,1	24,4 ± 1,5	10,5	9,7 ± 1,2
Диоксид углерода	< 0,91	0,04 ± 0,03	< 0,46	0,09 ± 0,04	< 0,63	0,16 ± 0,05

в дыхательный контур осуществляется в поглотительную коробку ВДА. Перемешавшись с газовой смесью дыхательного контура обогащенная смесь попадает на кислородные датчики, где постоянно фиксируются значения парциального давления кислорода, и поступает в дыхательный мешок вдоха, а далее в трубку вдоха, на конце которой перед клапаном вдоха клапанной коробки и был установлен патрубок отбора ДГС на анализ.

Различия фактических значений FiNe от расчетных не превысили 10,4 %. Разброс измеряемых значений FiNe можно также объяснить динамичностью процесса формирования ДГС в дыхательном контуре, поскольку FiNe увеличивается при поступлении газовой смеси в дыхательный контур и уменьшается при автоматической подаче кислорода.

Приведенная к глубине погружения концентрация CO₂ в ДГС на вдохе в период измерений не превысила 1 %, что находится в диапазоне допустимых значений. При водолазном спуске на глубину 100 м она составила 0,04 ± 0,03 %, при допустимом значении для этой глубины 0,09 %, что свидетельствует об эффективной работе адсорбента в поглотительной коробке ВДА с ЗСД и ЭУ в этих условиях [6].

тальной коробке ВДА с ЗСД и ЭУ в этих условиях [6].

Закключение. Анализ данных, полученных в ходе измерений процентного содержания компонентов ДГС в контуре ВДА с ЗСД и ЭУ при проведении экспериментальных водолазных спусков в условиях барокамеры, показал отсутствие существенных расхождений между фактическими и расчетными значениями. Параметры ДГС находятся в допустимом диапазоне и безопасны для водолаза. Конструктивное устройство ВДА с ЗСД и ЭУ обеспечивает адекватное формирование ДГС в дыхательном контуре при допустимых значениях концентрации диоксида углерода.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии предпосылок развития специфических водолазных заболеваний, возникающих вследствие формирования неадекватной ДГС в дыхательном контуре аппарата.

Тенденция развития ВДА с ЗСД и ЭУ свидетельствует о внедрении в конструкцию ВДА датчиков парциального давления гелия и диоксида углерода, что позволит рассчитывать оптимальный режим декомпрессии с учетом фактического соотношения индифферентных газов азота и гелия.

Сведения об авторах:

Бычков Сергей Анатольевич – врач водолазной медицины автономной некоммерческой организации «Центр подводных исследований Русского географического общества»; 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А; SPIN: 3103-2280; ORCID: 0000-0002-8506-7815; e-mail: markis86@mail.ru

Фокин Сергей Георгиевич – исполнительный директор автономной некоммерческой организации «Центр подводных исследований Русского географического общества»; 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А; ORCID: 0000-0002-4351-1703; e-mail: s.fokin@urc-rgs.ru

Ярков Андрей Михайлович – кандидат медицинских наук, врач водолазной медицины автономной некоммерческой организации «Центр подводных исследований Русского географического общества»; 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А; SPIN: 1618-3133; ORCID: 0000-0001-9349-0085; e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

Краморенко Михаил Вячеславович – кандидат технических наук, водолазный специалист автономной некоммерческой организации «Центр подводных исследований Русского географического общества»; 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А; ORCID: 0000-0001-7260-256X; e-mail: kramorenko21@mail.ru

Information about the authors:

Sergei A. Bychkov – Doctor of diving medicine of the autonomous non-profit organization “Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society”; 191123, Saint Petersburg, Zakharyevskaya str., 3, lit. A; SPIN: 3103-2280; ORCID: 0000-0002-8506-7815; e-mail: markis86@mail.ru

Sergey G. Fokin – Executive director of the autonomous non-profit organization “Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society”; 191123, Saint Petersburg, Zakharyevskaya str., 3, lit. A; ORCID: 0000-0002-4351-1703; e-mail: s.fokin@urc-rgs.ru

Andrey Mikhailovich Yarkov – Cand. of Sci. (Med.), Doctor of diving medicine of the autonomous non-profit organization “Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society”; 191123, Saint Petersburg, Zakharyevskaya str., 3, lit. A; SPIN: 1618-3133; ORCID: 0000-0001-9349-0085; e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

Mikhail V. Kramorenko – Cand. of Sci. (Tech.), Diving specialist of the autonomous non-profit organization “Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society”; 191123, Saint Petersburg, Zakharyevskaya str., 3, lit. A; ORCID: 0000-0001-7260-256X; e-mail: kramorenko21@mail.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: Вклад в концепцию и план исследования – С. А. Бычков, С. Г. Фокин, А. М. Ярков. Вклад в сбор и математический анализ данных – А. М. Ярков, С. А. Бычков, М. В. Краморенко. Вклад в подготовку рукописи – М. В. Краморенко, С. А. Бычков.

Author contribution. All authors confirm the conformity of their authorship, according to the international criteria of the ICMJE (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Special contribution: SAB, CGF, AMYa contribution to the concept and plan of the study. SAB, AMYa, MVK contribution to data collection and data analysis. MVK, SAB contribution to the preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.

Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: 22.12.2023

Принята к печати/Accepted: 15.02.2024

Опубликована/Published: 30.03.2024

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- 1 Norro A. The Closed-Circuit Rebreather (CCR): Is It the Safest Device for Deep Scientific Diving? *Underwater Technology*, 2016, No. 34, pp. 31–38. doi:10.3723/ut.34.031.
- 2 Harvey D., Pollock N. W., Gant N., Hart J., Mesley P., Mitchell S. J. The duration of two carbon dioxide absorbents in a closed circuit rebreather diving system. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 2016, Vol. 46, No. 2, pp. 92–97.
- 3 Mitchell S. J., Cronje F. J., Meintjes W. A., Britz H. C. Fatal Respiratory Failure During a “Technical” Rebreather Dive at Extreme Pressure. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 2007, Vol. 78, No. 2, pp. 81–86.
- 4 Blasselle A., Theron M., Gardette B., Dugrenot E. A new form of admissible pressure for Haldanian decompression models. *Computers in Biology and Medicine*, 2019, Vol. 115, doi:10.1016/j.compbiomed.2019.103518
- 5 Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н. *Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение*. М.: Слово. 2001. 696 с. [Smolin V. V., Sokolov G. M., Pavlov B. N. *Diving descents up to 60 meters and their medical support*. Moscow: Publishing house Slovo, 2001. 696 p. (In Russ.).]
- 6 Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н., Демчишин М. Д. *Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение*. Т. 2. М.: Слово. 2004. 724 с. [Smolin V. V., Sokolov G. M., Pavlov B. N., Demchishin M. D. *Deep-sea diving and medical support*. Vol. 2. Moscow: Publishing house Slovo, 2004, 724 p. (In Russ.).]
- 7 Черкашин С. В. *Декомпрессионные погружения с использованием азотно-кислородных смесей*. М.: 2017. 108 с. [Cherkashin S. V. *Decompression dives using nitrogen-oxygen mixtures*. Moscow: 2017, 108 p. (In Russ.).]
- 8 Fock A., Millar I. Oxygen toxicity in recreational and technical diving. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 2008, No. 38, pp. 86–90.