

**Научная статья**

УДК 613.6:551.58

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-2-27-34



EDN: EZLWOF

**Для цитирования:**

Бычков С. А., Фокин С. Г., Ярков А. М. Оценка внутрисосудистого газообразования у водолазов в автономном снаряжении с замкнутой схемой дыхания // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 2. С. 27-34.

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-2-27-34>

Получена: 02.05.2024

Принята: 05.06.2024

Опубликована: 20.06.2024

**For citation:**

Bychkov S. A., Fokin S. G., Yarkov A. M. Assessment of intravascular gas formation in divers in a closed circuit diving rebreather. Russian Arctic, 2024, vol. 6, no. 2, pp. 27-34. (In Russian).




<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-2-27-34>

**Конфликт интересов.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Финансирование.**

Исследование не имело спонсорской поддержки

**ОЦЕНКА ВНУТРИСОСУДИСТОГО ГАЗООБРАЗОВАНИЯ У ВОДОЛАЗОВ В АВТОНОМНОМ СНАРЯЖЕНИИ С ЗАМКНУТОЙ СХЕМОЙ ДЫХАНИЯ**С.А. Бычков\* , С.Г. Фокин , А.М. Ярков 




Центр подводных исследований Русского географического общества, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: [markis86@mail.ru](mailto:markis86@mail.ru)

**Аннотация**

Целью работы является оценка и сравнение внутрисосудистого декомпрессионного газообразования у водолазов после кратковременных погружений в барокамере с использованием для дыхания воздуха и кислородно-азотно-гелиевой смеси в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением. Было обследовано 6 водолазов после 30 человеко-спусков на глубины от 40 м до 100 м с использованием рабочих и тренировочных режимов. С помощью двух способов ультразвуковой диагностики, таких как доплерография со звуковой локацией и трансторакальная двухмерная эхография оценивалось внутрисосудистое декомпрессионное газообразование непосредственно у места водолазного спуска. Основные результаты исследования показали, что при сокращении времени декомпрессии в 2–2,5 раза, степень внутрисосудистого декомпрессионного газообразования у испытуемых при спусках в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением увеличилось незначительно и не приводила к возникновению симптомов острой декомпрессионной болезни. Данное исследование сохраняет свою актуальность при рабочих водолазных спусках в открытой воде, так как предложенные способы позволяют производить оценку внутрисосудистого газообразования непосредственно у места проведения водолазных работ.

**Ключевые слова:** водолазная медицина, водолазный дыхательный аппарат с замкнутой системой дыхания и электронным управлением, декомпрессионное газовое образование, ультразвуковое исследование, водолаз

**ASSESSMENT OF INTRAVASCULAR GAS FORMATION IN DIVERS IN A CLOSED CIRCUIT DIVING REBREATHING**S.A. Bychkov\* , S.G. Fokin , A.M. Yarkov 

Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society, St. Petersburg, Russia

E-mail: [markis86@mail.ru](mailto:markis86@mail.ru)

**Abstract**

The aim of the work is to evaluate and compare intravascular decompression gas formation in divers after short-term diving in a pressure chamber using air and oxygen-nitrogen-helium mixture for breathing in diving closed circuit diving rebreathers with electronic control. 6 divers were examined after 30 man-descents to depths from 40 m to 100 m using working and training modes. With the help of two methods of ultrasound diagnostics, such as dopplerography with sound location and transthoracic two-dimensional echography, intravascular decompression gas formation was assessed directly at the site of the diver's descent. The main results of the study showed that with a reduction in decompression time by 2–2.5 times, the degree of intravascular decompression gas formation in the subjects during descents in diving closed circuit diving rebreathers with electronic control increased slightly and did not lead to the onset of

symptoms of acute decompression sickness. This study remains relevant for working diving descents in open water, since the proposed methods make it possible to assess intravascular gas formation directly at the site of diving operations.

**Keywords:** diving medicine, closed circuit diving rebreathers with electronic control, decompression gas formation, ultrasound examination, diver

## Введение

Бурное развитие электроники в конце XX века, вдохнуло новую жизнь в автономное водолазное снаряжение, что позволило создать высокотехнологичный водолазный дыхательный аппарат с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением (ВДА с ЗСД и ЭУ) парциальным давлением кислорода в контуре, которое в совокупности с интегрированным декомпрессиметром, позволило значительно сократить время декомпрессии водолаза. В нашей стране такое снаряжение относится к спортивному инвентарю и активно используется в дайвинге. Декомпрессия в нем проводится по электронным таблицам, которые основаны на декомпрессионной модели Бульмана, не принятой в российском профессиональном водолажном сообществе, что затрудняет практическое использование этого перспективного оборудования [1, 2]. Одним из критериев легализации ВДА с ЗСД и ЭУ является доказательство безопасности декомпрессионных режимов, которое можно подтвердить при оценке внутрисосудистого декомпрессионного газообразования (ВДГ) ультразвуковыми способами и в подсчете случаев острой декомпрессионной болезни (ДБ) в общем объеме погружений [3]. Современные ультразвуковые способы диагностики позволяют выявить наличие газовых пузырьков (ГП) в венозном кровотоке непосредственно у места водолазного спуска, тем самым провести точное и не инвазивное обследование [4].

Внедрение данного вида снаряжения в практику профессиональных водолазов, позволит расширить привычные рамки водолазных работ в условиях Арктики, так как конструкционная особенность ВДА с ЗСД и ЭУ позволяет дышать естественно подогретой дыхательной газовой смесью, существенно сокращает время декомпрессии, увеличивает запас времени водолаза под водой и экономит расход кислорода и гелия, что является важным фактором в отдаленных и труднодоступных местах работы.

## Материалы и методы

В исследованиях приняло участие 6 водолазов в возрасте от 28 до 48 лет, имеющих стаж работы водолазом от 3 до 15 лет, спусковых часов от 130 до 2400. Исследования проходили в многоместной барокамере Southern oceans 1800 offshore в Санкт-Петербурге на базе Центра подводных исследований Русского географического общества. Была проведена серия из 30 водолазных спусков по регламентированным тренировочным режимам на 40 м, 80 м и рабочему режиму на 60 м по правилам охраны труда при проведении водолазных работ для гражданских специалистов, с последующей оценкой ВДГ<sup>1</sup>. И серия экспериментальных спусков в ВДА с ЗСД и ЭУ на 40 м, 60 м, 80 м и 100 м, также с последующей оценкой ВДГ. Использовались ВДА с ЗСД и ЭУ (CCMGR – Closed Circuit Mixed Gas Rebreather), разработанные датской компанией JJ-CCR. Дыхательная газовая смесь (ДГС) в дыхательном контуре формировалась на основе газа-разбавителя, в роли которого выступали воздух или искусственная кислородно-азотно-гелиевая смесь (КАГС) [5]. В отечественной водолазной практике применяются КАГС, отличающиеся содержанием основных компонентов: кислорода, азота и гелия. В литературе встречаются международные названия таких ДГС – «Тримикс». В качестве основного алгоритма для выбора ДГС и декомпрессионных расчетов использован алгоритм Бульмана ZHL-16C, градиент-факторная модель (GF), 16 тканей в модификации Эрика Бейкера [4, 5].

Для оценки ВДГ использовались два способа УЗИ диагностики:

1. Ультразвуковая доплерография со звуковой локацией, аппарат «Минидоп 4» [6,7]. Использовалась шкала Спенсера: 0 баллов – сигналы от газовых пузырьков отсутствуют, слышен нормальный неискаженный фоновый сигнал кровотока; 1 балл – имеются отдельные редкие сигналы от ГП или слабые изменения сигнала кровотока (более звучный и грубый); 2 балла – отчетливые сигналы от ГП слышны менее чем в половине сердечных циклов, сигнал кровотока шумный и грубый; 3 балла – частые

<sup>1</sup> Правила по охране труда при проведении водолазных работ // М.: МОРКНИГА. 2021. 232 с.

сигналы от ГП слышны более чем в половине сердечных циклов, сигнал кровотока шумный и грубый; 4 балла – множественные очень частые сигналы от ГП слышны во всех сердечных циклах и резко искажают сигнал кровотока. Исследуемый располагался в положении лежа на спине, во втором, третьем или четвертом межреберье (в зависимости от телосложения обследуемого) слева от грудины производилась звуковая локация кровотока в проекции легочного конуса правого желудочка и общего ствола легочной артерии. Фоновый сигнал кровотока на слух характеризуется как регулярный дующий и шипящий звук. Отдельные сигналы от ГП на слух воспринимаются как дискретные звуки в виде «писка», «чириканья», «щебетания» и «щелканья». Множественные ГП приводят к искажению сигнала кровотока, при котором на слух он становится громким, грубым, иногда напоминающий громкий «рев». Вероятность развития острой ДБ рассчитывалось по уравнению, описанным Л.К. Волковым:  $S = 100 / (1 + 103.4 - 1.85 \lambda) \%$  где:  $S$  – относительная частота заболевания в %,  $\lambda$  – единая оценка интенсивности газообразования в баллах, которая рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \lambda_p + 0,33 (\lambda_d - \lambda_p), \quad (1),$$

где:  $\lambda_p$  – интенсивность газообразования в покое;  
 $\lambda_d$  – интенсивность газообразования после движений [3,6].

2. Ультразвуковая трансторакальная двухмерная эхографии (ТТ-эхоКГ), аппарат УЗИ SonoSite Edge 1 2D с УЗ датчиком для внутренних органов фазированный P21x/5-1. Оценка проводилась по расширенной шкале Эфтедаля и Брубакка 2016 года: 0 баллов – нет газовых пузырьков ГП в поле зрения; I балл – имеются редкие ГП в поле зрения; II балла – имеется один ГП на каждых 4 сердечных циклах; III балла – имеется один ГП в каждом сердечном цикле; IVa балла – имеется хотя бы один ГП на см<sup>2</sup>; IVb балла – имеется хотя бы три ГП на см<sup>2</sup>; IVc балла – множество ГП, различных между собой; V баллов – одиночные ГП не различимы между собой («Белый мрак») [7, 8]. Рекомендуется использовать римские цифры, так как категории оценок нелинейны и оценки не могут быть усреднены [7]. Визуализация правых отделов сердца осуществлялась в положении обследуемого лежа на левом боку, левая рука под головой, правая вдоль тела. Датчик располагался на уровне пятого левого межреберья между левой передней грудинной и левой среднегрудной линии в направлении к груди. Четкое и стабильное изображение на экране, является сигналом для осуществления видеозаписи 15 сердечных циклов на жесткий диск аппарата [9].

УЗИ проводились в покое и с легкой физической нагрузкой (упражнение «велосипед» и активные движения правой руки поднятой вертикально вверх). Регистрировались данные того варианта физической нагрузки, после которого было максимальное образование ВДГ.

### Результаты исследований

Из 30 человеко-спусков, 14 произведены на воздухе без использования снаряжения, а 16 в ВДА с ЗСД и ЭУ. В зависимости от глубины спуска, в данном снаряжении использовался разный газ-разбавитель: 40 м – воздух, 60 м – КАГС 18/36, 80 м – КАГС 14/50 и 100 м – КАГС 10/50. Первая цифра показывает процентное содержание кислорода, а вторая – гелия.

Результаты оценки ВДГ с помощью ультразвуковых методов представлены в таблице.

Допплерография со слуховой локацией без нагрузки: случаи не были зарегистрированы. Максимальные значения за двух часовой период доплерографии со слуховой локацией после нагрузки: 1 балл в четырех случаях и 2 балла в одном случае. Вероятность развития острой ДБ по уравнению Л.К. Волкова составила: в четырех случаях 0.16% (1 случай при дыхании из среды барокамеры и 3 случая при использовании ВДА с ЗСД и ЭУ) и в одном случае 0,62%, что подтверждает безопасность водолазных спусков в независимости от представленных методов погружений [3].

Максимальные значения за двух часовой период ТТ-эхоКГ без нагрузки: I балл в 5 случаях, II балла в одном случае и III балла в одном случае. Все случаи ВДГ без нагрузки были при использовании ВДА с ЗСД и ЭУ. Максимальные значения за двух часовой период ТТ-эхоКГ с нагрузкой: I балл в 5 случаях, II балла в 4 случаях, III балла в четырех случаях и IVa балла в двух случаях.

Таблица.

**Результаты оценки ВДГ с помощью ультразвуковой доплерографией со слуховой локацией и ТТ-эхоКГ**

Время под наибольшим давлением, мин.	Наибольшее избыточное давление МПа (м вод.ст.).	Общее время спуска мин	Фамилия	Характеристика водолазного спуска	Ультразвуковая диагностика внутрисосудистого декомпрессионного газообразования										
					После спуска		15 мин.		30 мин.		60 мин.		90 мин.		
					Допплерография	ТТ-эхоКГ	Допплерография	ТТ-эхоКГ	Допплерография	ТТ-эхоКГ	Допплерография	ТТ-эхоКГ	Допплерография	ТТ-эхоКГ	
15	1.0 (100)	134	Ал-в	Дыхание в ВДА с ЗСД и ЭУ	0/0	0/0	0/1	I/III	0/0	I/III	0/0	0/II	0/0	0/0	
			К-н		0/0	0/II	0/0	0/II	0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/0	0/0
	0.8 (80)	71	Ал-в	Дыхание в ВДА с ЗСД и ЭУ	0/0	0/II	0/0	I/III	0/0	0/II	0/0	0/II	0/0	0/0	0/I
			Б-в		0/0	0/II	0/2	III/IVa	0/1	II/IVa	0/0	I/III	0/0	0/II	
			К-н		0/0	0/II	0/0	0/II	0/0	0/II	0/0	0/I	0/0	0/0	0/0
			Д-с		0/1	I/III	0/1	I/III	0/0	I/III	0/0	0/II	0/0	0/0	0/I
	0.6 (60)	43	Д-с	Дыхание в ВДА с ЗСД и ЭУ	0/1	II/IVa	0/1	I/III	0/0	I/III	0/0	0/II	0/0	0/II	
			Б-в		0/0	0/0	0/0	I/II	0/0	I/II	0/0	0/I	0/0	0/0	
			Ф-н		0/0	0/II	0/0	0/II	0/0	0/II	0/0	0/I	0/0	0/I	
			К-н		0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/0	0/0	0/0	
	0.4 (40)	101	К-н	Дыхание из воздушной среды барокамеры	0/0	0/I	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
			Д-с		0/0	I/II	0/1	I/III	0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/0	
			Ф-н		0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/0	0/0	0/0	
			Б-в		0/0	0/I	0/0	0/I	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	
	20	0.4 (40)	32	Ф-н, Т-й, Д-с, Б-в, Ал-в, К-н	Дыхание в ВДА с ЗСД и ЭУ	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
58			Ф-н, Т-й, Б-в, Ав-в, К-н, Д-с	Дыхание из воздушной среды барокамеры	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	

Примечание. Обозначение «.../...» - в табличных данных означает «до / после нагрузки». Все измерения на 120 минуте были равны нулю, поэтому не указаны в таблице.

### Обсуждение результатов

Из 15 случаев ВДГ после нагрузки, 5 случаев возникло после спусков с дыханием из воздушной среды барокамеры и 10 случаев с ВДА с ЗСД и ЭУ. Декомпрессионные режимы, используемые в ВДА с ЗСД и ЭУ, показали себя менее консервативно по сравнению с регламентированным рабочим и тренировочными режимами на воздухе. Но позволили сократить время декомпрессии в 2–2,5 раза, что особенно актуально в условиях реального водолазного спуска. Максимальное значение ВДГ способом ТТ-эхоКГ было зафиксировано III балла в покое (рис. 1) и IVa балла после нагрузки (рис. 2) при спуске на ВДА с ЗСД и ЭУ на глубину 80 метров и является признаком активного физиологического насыщения не приводящего к развитию симптомов острой ДБ. Это утверждение основывается на данных, полученных при водолазных спусках и на открытой воде [10]. Вероятность развития острой ДБ этого спуска по данным доплерографии со слуховой локацией составил всего 0,62 %.

Максимальные значения ВДГ были зарегистрированы на отрезке времени от выхода водолаза из-под избыточного давления до получаса, в дальнейшем исследователи наблюдали последовательное снижение этих значений. Во всех случаях ВДГ не было выявлено по пришествию двух часов от окончания спуска, что является хорошим диагностическим признаком в отношении развития симптомов острой ДБ. Стоит отметить, что значительное сокращение времени декомпрессии уменьшает вероятность переохлаждения, обезвоживания и переутомления водолаза – факторов, которые повышают вероятность развития острой ДБ [11,12].



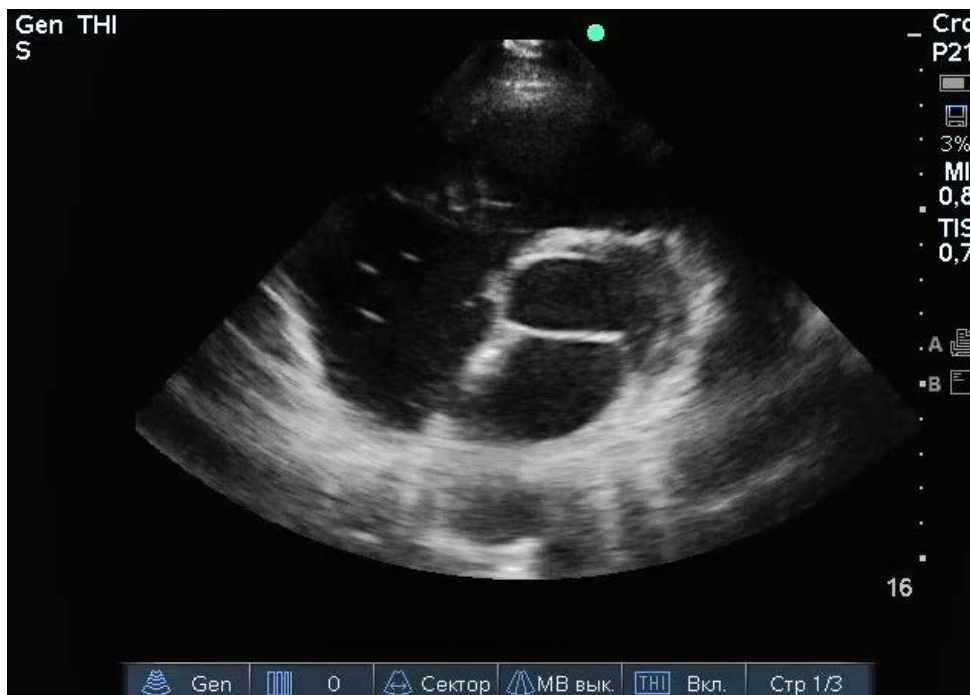


Рисунок 1. Единичные газовые пузырьки в правых отделах сердца, по данным ТТ-эхоКГ – III балла



Рисунок 2. Газовые пузырьки в правых отделах сердца, по данным ТТ-эхоКГ – IVa балла

Регистрация ВДГ после водолазного спуска позволяет оценить консервативность конкретного погружения, а затем отрегулировать его с помощью изменения параметров GF, которые представлены в виде двух значений - «нижний GF / верхний GF» [13]. Значение «нижний» GF регулирует консервативность самой глубокой остановки, а верхний GF, консервативность у поверхности. При GF 100/100 параметры декомпрессии соответствуют «классическому» алгоритму Бульмана ZH-L16, а при GF 0/0 – время декомпрессии стремится к бесконечности [14]. Если во время первых спусков водолаз показал высокие значения ВДГ, то увеличение консервативности можно достичь путем уменьшения показателя обоих значений или одного из них на 5-10%, что увеличит длительность декомпрессии незначительно, а водолаз и врач будут уверены в безопасности последующих спусков на данную глубину и экспозицию.

Из двух предложенных способов УЗИ трансторакальная эхокардиография оказалась более информативной и позволила достоверно выявить ВДГ на более раннем этапе, чем доплерография со слуховой локацией. В восьми случаях исследовате-

лям не удалось обнаружить ВДГ с помощью доплерографии со слуховой локацией, но при этом смогли визуализировать единичные ГП на ТТ-эхоКГ, которые не представляли клинической значимости для развития острой ДБ, но позволили увидеть разрешающую способность метода. Возможность записи изображения и повторное воспроизведение позволяет использовать полученную информацию в отслеживании динамики образования ВДГ, а также в научно-исследовательских целях. Допплерография со слуховой локацией, несмотря на меньшую точность, имеет ряд важных преимуществ: компактные размеры приборов, ценовая доступность аппаратов и возможность рассчитывать вероятность развития острой ДБ в процентах с помощью уравнения Л.К. Волкова, которая значительно упрощает работу в оценки безопасности декомпрессионных режимов.

### **Заключение**

Современные методы ультразвуковой диагностики позволили с высокой точностью определить ВДГ непосредственно у места водолазного спуска, что дает возможность целенаправленно и индивидуально регулировать консервативность погружений в течение всего периода водолазных работ. Это особенно важно при работе в сложных климатических и географических условиях Арктики, которые являются дополнительными факторами развития острой ДБ. Определение ВДГ у места водолазного спуска дает возможность сократить время декомпрессии без угрозы для здоровья водолаза, позволяет принимать решение о лечебной рекомпрессии до развития симптомов острой ДБ, делает работу врача водолазной медицины более эффективной.

На данном этапе проведенные исследования показали работоспособность и безопасность декомпрессионных таблиц на основе компьютерных программ с алгоритмом Бульмана и градиент-факторной модели в ВДА с ЗСД и ЭУ. Планируется продолжить дальнейшие натурные исследования оценки ВДГ у водолазов предложенными способами в открытой воде в данном снаряжении тем самым совершенствуя параметры погружения в виде подбора подходящего градиент фактора и дыхательной газовой смеси в зависимости от глубины и экспозиции водолазного спуска.

### **Список литературы:**

1. Гурр К. Дайвинг с ребризерами. М.: TDI/SDI, 2009. 132 с.
2. Зверев Д.П., Хаустов А.Б., Рыжилов Д.В., Фокин С.Г., Мясников А.А., Андрусенко А.Н., Томшинский М.Я., Мясников А.А. Опыт медицинского обеспечения автономных водолазных спусков в снаряжении открытого и закрытого типа с использованием искусственных дыхательных газовых смесей // Военно-медицинский журнал. 2021. Т. 342. № 1. С. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.17816/RMMJ82536>
3. Волков Л.К., Мясников А.А., Войцехович И.А., Головяшкин Г.В. Способ оценки безопасности режимов декомпрессионной болезни водолазов // Военно-медицинский журнал. 1996. № 9. С. 48-50.
4. Balestra C., Guerrero F., Theunissen S., Germonpré P., Lafère P. Physiology of repeated mixed gas 100-m wreck dives using a closed-circuit rebreather: a field bubble study // European Journal of Applied Physiology. 2022. Vol. 122. № 2. P. 515-522. DOI: [10.1007/s00421-021-04856-5](https://doi.org/10.1007/s00421-021-04856-5)
5. Яхонтов Б.О. Физиологическая стратегия формирования состава водолазных дыхательных смесей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 7. С. 34-40. DOI: [10.17513/mjpf.13245](https://doi.org/10.17513/mjpf.13245)
6. Мясников А.А., Головяшкин Г.В., Шитов А. Ю., Мотасов Г.П., Чумаков А.В., Сухорослова И.Е., Бобров Ю.М. Ультразвуковая диагностика декомпрессионного внутрисосудистого газообразования в практике водолазного врача // Военно-медицинский журнал. 2014. № 6. С. 53-58.
7. Fichtner A., Brunner B., Pohl T., Grab T., Fieback T., Koch T. A Doppler ultrasound self-monitoring approach for detection of relevant individual decompression stress in scuba diving // Internal and Emergency Medicine. 2022. № 17. P. 173-180. DOI: [10.1007/s11739-021-02802-z](https://doi.org/10.1007/s11739-021-02802-z)
8. Møllerlørkken A., Blogg S.L., Doolette D.J., Nishi R.Y., Pollock N.W. Consensus guidelines for the use of ultrasound for diving research caisson // Diving and Hyperbaric Medicine. 2016. № 3. Vol. 31. P. 6-16.
9. Germompres P., Papadopoulou V., Hemelryck W., Obeid G., Lafere P., Eckersley R.J., Tang M-X., Balestra C. The use of portable 2D echocardiography and «frame-based» bubble counting as a tool to evaluate diving decompression stress // Diving and Hyperbaric Medicine. 2014. № 44 (1). P. 5-13.

10. Зверев Д.П., Бычков С.А., Мясников А.А., Ярков А.М., Хаустов А.Б., Кленков И.Р., Фокин С.Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская медицина. 2021. № 7 (4). С. 75-83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83
11. Lundell R.V., Tuominen L.O., Räisänen-Sokolowski A. Diving responses in experienced rebreather divers: short-term heart rate variability in cold water diving // Front. Physiol. 2021. № 12:649319. DOI:10.3389/fphys.2021.649319
12. Левченко З.А., Назаров С.С., Ятманов А.Н. Физиологические и психологические особенности водолазов с различным уровнем устойчивости к декомпрессионной болезни // Известия Российской военно-медицинской академии. 2019. Т. 38. № 3. С. 197-201. DOI: 10.17816/rmmar26095
13. Важинский А.А. Применение декомпрессионной модели "ZH - L16C - GF" при планировании подводного погружения аквалангиста // Новая наука: теоретический и практический взгляд. 2016. № 5-2 (81). С. 25-31.
14. Ярков А.М., Бычков С.А., Фокин С.Г. Рациональная декомпрессия с применением компьютерных программ // Морская медицина. 2023. Т. 9. № 1. С. 95-99. DOI: 10.22328/2413-5747-2023-9-1-95-99

## References:

1. Gurr K. Dayvng s rebrizerami [Diving with rebreathers]. М.: TDI/SDI, 2009, 132 p. (In Russian).
2. Zverev D.P, Khaustov A.B, Ryzhilov D.V, Fokin S.G, Myasnikov A.A., Andrusenko A.N, Tomshinskiy M.YA, Myasnikov A.A. Opyt meditsinskogo obespecheniya avtonomnykh vodolaznykh spuskov v snaryazhenii otkrytogo i zakrytogo tipa s ispol'zovaniyem iskusstvennykh dykhatel'nykh gazovykh smesey [Experience in medical support of autonomous diving descents in open and closed type equipment using artificial respiratory gas mixtures]. Voyenno-meditsinskiy zhurnal – Military Medical Journal, 2021, vol. 342. no. 1, pp. 60-67. (In Russian). DOI: 10.17816/RMMJ82536
3. Volkov L. K., Myasnikov A.A., Voytsekhovich I. A., Golovyashkin G.V. Sposob otsenki bezopasnosti rezhimov dekompressionnoy bolezni vodolazov [Assessment method safety of divers' decompression sickness regimes]. Voyenno-meditsinskiy zhurnal – Military Medical Journal, 1996, no. 9, pp. 48-50. (In Russian).
4. Balestra C., Guerrero F., Theunissen S., Germonpré P., Lafère P. Physiology of repeated mixed gas 100-m wreck dives using a closed-circuit rebreather: a field bubble study. European Journal of Applied Physiology, 2022, vol. 122, no. 2, pp. 515-522. DOI: 10.1007/s00421-021-04856-5
5. Yakhontov B.O. Fiziologicheskaya strategiya formirovaniya sostava vodolaznykh dykhatel'nykh smesey [Physiological strategy for the formation of the composition of diving breathing mixtures]. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy – International Journal of Applied and Fundamental Research, 2021, no. 7, pp. 34-40. (In Russian). DOI: 10.17513/mjpf.13245 4
6. Myasnikov A.A., Golovyashkin G.V., Shitov A.YU., Motasov G.P., Chumakov A.V., Sukhoroslova I.Ye., Bobrov YU.M. Ul'trazvukovaya diagnostika dekompressionnogo vnutrisosudistogo gazoobrazovaniya v praktike vodolaznogo vracha [Ultrasound diagnostics of decompression intravascular gas formation in the practice of a diving doctor]. Voyenno-meditsinskiy zhurnal – Military Medical Journal, 2014, no. 6, pp. 53-58. (In Russian).
7. Fichtner A., Brunner B., Pohl T., Grab T., Fieback T., Koch T. A Doppler ultrasound self-monitoring approach for detection of relevant individual decompression stress in scuba diving. Internal and Emergency Medicine, 2022, no. 17, pp. 173-180. DOI: 10.1007/s11739-021-02802-z
8. Møllerløgken A., Blogg S.L., Doolette D.J., Nishi R.Y., Pollock N.W. Consensus guidelines for the use of ultrasound for diving research caisson. Diving and Hyperbaric Medicine, 2016, no. 3, vol. 31, pp. 6-16.
9. Germompres P., Papadopoulou V., Hemelryck W., Obeid G., Lafere P., Eckersley R.J., Tang M-X., Balestra C. The use of portable 2D echocardiography and «frame-based» bubble counting as a tool to evaluate diving decompression stress. Diving and Hyperbaric Medicine, 2014, no. 44 (1), pp. 5-13.
10. Zverev D.P., Bychkov S.A., Myasnikov A.A., Yarkov A.M., Khaustov A.B., Klenkov I.R., Fokin S.G. Vozmozhnosti ul'trazvukovykh sposobov v diagnostike dekompressionnoy bolezni [Possibilities of ultrasonic methods in the diagnosis of decompression sickness]. Morskaya meditsina – Marine Medicine, 2021, no. 7 (4), pp. 75-83. (In Russian). DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83

11. Lundell R. V., Tuominen L. O., Räisänen-Sokolowski A. Diving responses in experienced rebreather divers: short-term heart rate variability in cold water diving. *Front. Physiol.*, 2021, no. 12:649319. DOI: 10.3389/fphys.2021.649319
12. Levchenko Z.A., Nazarov S.S., Yatmanov A.N. Fiziologicheskiye i psikhologicheskiye osobennosti vodolazov s razlichnym urovnem ustoychivosti k dekompressionnoy bolezni [Physiological and psychological characteristics of divers with different levels of resistance to decompression sickness]. *Izvestiya Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akademii – News of the Russian Military Medical Academy*, 2019, vol. 38, no. 3, pp. 197-201. (In Russian). DOI: 10.17816/rmmar26095
13. Vazhinskiy A.A. Primeneniye dekompressionnoy modeli «ZH - L16C – GF» pri planirovanii podvodnogo pogruzheniya akvalangista [Application of the decompression model «ZH - L16C – GF» when planning an underwater dive for a scuba diver]. *Novaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad – New Science: Theoretical and Practical View*, 2016, no. 5-2 (81), pp. 25-31. (In Russian).
14. Yarkov A.M., Bychkov S.A., Fokin S.G. Rational decompression using computer programs *Marine Medicine*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 95-99. (In Russian). DOI: 10.22328/2413-5747-2023-9-1-95-99