

УДК 616-001.11

<http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-64-72>

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕКОМПРЕССИИ ВОДОЛАЗА ПОСЛЕ АВАРИЙНОГО ВСПЛЫТИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДЕКОМПРЕССИОННЫХ РАССТРОЙСТВ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹С.Л. Левашев^{ORCID}, ²О.С. Алексеева^{ORCID}*¹ООО «Фертоинг», Санкт-Петербург, Россия²Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

ЦЕЛЬ: На основании анализа национальных нормативных документов и постановки серии экспериментов на животных оценить эффективность не распространенного в водолазной практике метода рекомпрессии водолаза, при аварийном всплытии пропустившего все обязательные декомпрессионные остановки, в целях профилактики развития декомпрессионных расстройств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В работе использовали крыс линии Вистар ($n = 30$). Животных размещали в барокамере и проводили компрессию воздухом до 9 ата с экспозицией под давлением в течение 15 мин. Декомпрессию осуществляли путем сброса давления с имитацией аварийного всплытия. Через 5 мин выполняли рекомпрессию воздухом до 9 ата, изопрессию в течение 10 мин и декомпрессию по удлинненному режиму. В период рекомпрессии, последующей декомпрессии и в течение 2 ч после ее завершения у животных регистрировали поведенческие реакции и признаки развития декомпрессионных расстройств.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Исследование показало, что в контрольной группе, где экспозиция животных под давлением 9 ата завершалась плановой декомпрессией по режиму, расстройств поведенческих реакций и рефлексов позы в ходе и после завершения декомпрессии не наблюдалось. Также не были зарегистрированы и пузырьки газа в головном мозге. Аналогичные результаты были получены в экспериментальной группе с аварийным всплытием, рекомпрессией и последующей удлинненной декомпрессией, но не в группе с аварийным всплытием без рекомпрессии.

ОБСУЖДЕНИЕ: Применение предлагаемого метода рекомпрессии после имитации аварийного всплытия приводит к отсутствию как визуальных, так и морфологически регистрируемых признаков декомпрессионных расстройств. Это, наряду с более коротким периодом рекомпрессии и декомпрессии по сравнению с описанными в нормативных документах, позволяет применять предлагаемый метод для уменьшения потерь времени и ресурсов с одновременным сохранением здоровья и работоспособности водолаза после аварийного всплытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, аварийное всплытие, декомпрессионное расстройство, рекомпрессия

*Для корреспонденции: Алексеева Ольга Сергеевна, e-mail: osa72@inbox.ru

*For correspondence: Olga S. Alekseeva, e-mail: osa72@inbox.ru

Для цитирования: Левашев С.Л., Алексеева О.С. Оптимизация методов рекомпрессии водолаза после аварийного всплытия для предотвращения развития декомпрессионных расстройств: экспериментальное исследование // *Морская медицина*. 2023. Т. 9, № 1. С. 64–72, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-64-72>.

For citation: Levashev S.L., Alekseeva O.S. Optimization of diver recompression methods after emergency ascent to prevent decompression sickness: experimental study // *Marine medicine*. 2023. Vol. 9, No. 1. P. 64–72, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-64-72>.

© Авторы, 2023. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией ССВУ-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

OPTIMIZATION OF DIVER RECOMPRESSION METHODS AFTER EMERGENCY ASCENT TO PREVENT DECOMPRESSION SICKNESS: EXPERIMENTAL STUDY

¹Stanislav L. Levashev , ²Olga S. Alekseeva 

¹Fertoing ltd, St. Petersburg, Russia

²Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

OBJECTIVE: Based on the analysis of national normative documents and a series of animal experiments to evaluate the effectiveness of a not common method of a diver's recompression after emergency ascent, skipping all the mandatory decompression stops in order to prevent the development of decompression sickness.

MATERIALS AND METHODS: In the study Wister rats ($n = 30$) were used. The animals were placed in the chamber and there was air compression up to 9 ATA with exposure under pressure within 15 min. Decompression was carried out by pressure release with imitation of emergency ascent. After 5 minutes there was recompression by air up to ATA, isopressure within 10 minutes and elongated decompression. During recompression, further decompression and 2 hours after its completion the animals experienced behavioral response and signs of compression disorder development.

RESULTS: The study showed that the test group where the animals' exposure under 9 ATA completed with the planned decompression on the regime did not experience any behavioral disorder and reflexes of posture during and after decompression. There were also no registered gas bubbles in the brain. Similar results were obtained in the test group with emergency ascent, recompression and further elongated decompression, but not in the group with emergency ascent without recompression.

DISCUSSION: The application of the proposed recompression method after imitation of emergency ascent leads to neither visual nor morphologically registered signs of decompression disorders. Along with a shorter period of recompression and decompression as compared with the ones, described in regulatory documents, it allows to adopt the proposed method for reducing the loss of time and resources while maintaining diver's health and performance after emergency ascent.

KEYWORDS: marine medicine, emergency ascent, decompression disorder, recompression

Введение. Практически единственным эффективным методом профилактики развития декомпрессионных расстройств у водолаза после аварийного всплытия с пропуском всех обязательных декомпрессионных остановок является рекомпрессия [1–4] – повторное повышение давления, включающее в себя три этапа: повышение давления до назначенной величины (собственно рекомпрессия), пребывание под давлением и декомпрессия в соответствии со специальными режимами. Рекомпрессия водолаза после аварийного всплытия с нарушением режимов декомпрессии при водолазных спусках методом кратковременных погружений выполняется согласно методическим указаниям, содержащимся в национальных нормативных документах по организации водолазных работ.

Анализ таких методических указаний, содержащихся в российских нормативных документах за последние 50 лет, как действующих, так и отмененных, показал, что при единой научной школе в области гипербарической физиологии и тесных контактах внутри профессионального сообщества, методические указания по проведению рекомпрессии водо-

лазов в правилах водолазной службы Военно-Морского Флота отличаются от таковых в гражданских правилах по безопасности труда на водолазных работах.

Методические указания по проведению рекомпрессии в Правилах водолажной службы ПВС-64 были приведены в редакции: «Если водолаз, не найдя балясины беседки, предназначенной для первой остановки, поднялся на поверхность, его необходимо как можно быстрее (не позднее 3 мин) подвести к беседке и спустить по ней на балясину, расположенную на 3 метра глубже первой остановки, указанной в выбранном режиме. На этой остановке водолаз выдерживают 5 мин, а затем проводят декомпрессию по удлинённому режиму (время всплытия и обратного погружения водолаза засчитывается как время пребывания на грунте). В тех случаях, когда водолаз после всплытия пробыл на поверхности более 3 мин, его необходимо снова опустить на грунт, продержат там 5 мин и обеспечить его выход точно на назначенную остановку. Декомпрессия при этом ведется по удлинённому режиму в соответствии с общим временем пребывания водолаза на грунте плюс

время всплытия и обратного погружения»¹. Эта же редакция указаний была дословно повторена в последующих Правилах водолазной службы^{2,3,4}.

В Правилах водолазной службы Военно-Морского Флота ПВС ВМФ-2002, действующих в настоящее время, методические рекомендации были откорректированы в сторону уточнения и представлены в редакции: *«Если водолаз пропустил все остановки и всплыл на поверхность, то его необходимо вновь погрузить на грунт (при наличии возможности перевести в барокамеру), выдержать 5 мин, а затем поднимать по удлинненному режиму декомпрессии (время подъема, повторного погружения и пребывания на грунте засчитывается как время экспозиции на грунте)»*.

Если у водолаза появились признаки декомпрессионной болезни, то его помещают в барокамеру и проводят лечебную рекомпрессию»⁵.

Совсем иной подход к формулированию методических рекомендаций по проведению рекомпрессии представлен в правилах безопасности труда для гражданских предприятий. В Единых правилах безопасности труда на водолазных работах, введенных в действие в 1964 г., методические рекомендации по проведению рекомпрессии водолаза после аварийного всплытия с нарушением режимов декомпрессии звучат так: *«В случае, если водолаз, не найдя беседки, поднялся и пробыл на поверхности не более 3 мин, его необходимо подвести к беседке и спустить в ней на 3 м глубже первой остановки, указанной в избранном режиме. На этой остановке водолаза выдерживают 5 мин. Дальнейший режим декомпрессии выбирается с учетом времени всплытия и обратного погружения водолаза, которое засчитывается как время пребывания на глубине*

(на грунте)»⁶, эта же редакция была дословно повторена в Единых правилах безопасности труда на водолазных работах, введенных в действие в 1979 г.⁷ О том, что делать в случае, если водолаз пробыл на поверхности более 3 мин, правила умалчивали.

Кардинальные изменения методических указаний по проведению рекомпрессии были представлены во второй части Единых правил безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-90, вступившей в действие 01 сентября 1992 г., где они были изложены в редакции: *«Если водолаз пропустил все остановки и всплыл на поверхность, то его необходимо быстро перевести в барокамеру для лечебной рекомпрессии, соблюдая правила, изложенные в п. 2.6.4 приложения 13»⁸*. При этом п. 2.6.4 приложения 13 предполагал перевод водолаза в барокамеру для проведения рекомпрессии с использованием режимов лечебной рекомпрессии в зависимости от глубины водолазного спуска и экспозиции на грунте в соответствии с таблицей выбора режимов лечебной рекомпрессии (рис. 1)⁸, а также давались рекомендации по применению более длительного режима рекомпрессии в зависимости от самочувствия водолаза и условий водолазного спуска.

Методические указания по применению режимов лечебной рекомпрессии для профилактики развития декомпрессионных расстройств после аварийного всплытия водолаза с отсутствием признаков декомпрессионной болезни вызывают ряд вопросов у водолазных специалистов и водолазных врачей. Так, при использовании представленной методики велики риски развития кислородного отравления, а в отдельных случаях – декомпрессионной болезни, что имело место в подразделениях Военно-Морского Флота в период с 1980 по 1990 г. [5]. Кроме того, существует вероятность развития техногенной аварии на объектах морских нефтегазовых промыслов вследствие остановки водолазных работ на период проведения лечебной рекомпрессии продолжительностью от 28 до 62 ч.

¹Правила водолажной службы ПВС-64. М.: Воениздат, 1964, 224 с.

² Правила водолажной службы ПВС 71. М.: Воениздат, 1972, 157 с.

³ Правила водолажной службы ПВС 75. М.: Воениздат, 1976, 158 с.

⁴Правила водолажной службы Военно-морского флота ПВС ВМФ - 85. Ч. III Медицинское обеспечение водолазов Военно-морского флота. М.: Воениздат, 1987, 198 с.

⁵Правила водолажной службы Военно-морского флота ПВС ВМФ 2002. Ч. II Медицинское обеспечение водолазов Военно-морского флота. М.: Воениздат, 2004, 176 с.

⁶Единые правила безопасности труда на водолазных работах. М.: Издательство «Транспорт», 1965, 223 с. .

⁷Единые правила безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-79. М.: ЦРИА «Морфлот», 1980, 184 с.

⁸ Единые правила безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-90. Ч. II Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992, 208 с.

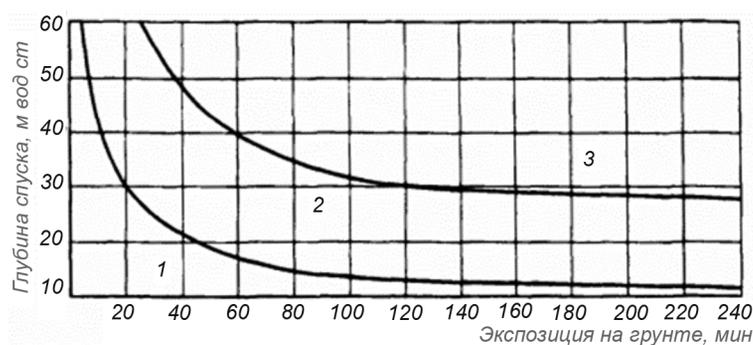


Рис. 1. Зоны для выбора режима лечебной рекомпрессии при ускоренном подъеме водолаза с грунта [Единые правила безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-90. Ч.II.].

Fig. 1. Zones for choosing the therapeutic recompression mode with the diver's accelerated lifting from the ground [Uniform labor safety rules for diving operations RD 31.84.01-90. P.II.].

В 2002–2003 гг. проходило обсуждение проекта «Межотраслевых правил по охране труда при проведении водолазных работ. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов», в которых методические указания были изложены в редакции: «Если водолаз пропустил все остановки и всплыл на поверхность, то его необходимо быстро поднять на палубу и поместить в барокамеру под давление, равное давлению воды на грунте, выдержать 10 мин, после чего провести декомпрессию по режиму, при котором за экспозицию на грунте принимается время от начала спуска водолаза на грунт до начала декомпрессии его в барокамере. Если после всплытия водолаза или бездекомпрессионного подъема на поверхность у водолаза появились признаки декомпрессионной болезни, то его помещают в барокамеру вместе с одним из опытных водолазов и проводят лечебную рекомпрессию с учетом тяжести заболевания». Остался нерешенным вопрос о протоколе и результатах применения данной методики.

Цель: Исследовать на лабораторных животных эффективность не распространенной в водолазной практике методики проведения рекомпрессии водолаза при аварийном всплытии после водолазного спуска методом кратковременных погружений, пропустившего все обязательные декомпрессионные остановки, в целях профилактики развития декомпрессионных расстройств.

Материалы и методы. Исследования выполняли на крысах-самцах линии Вистар ($n = 30$), массой 200–250 г. Содержание и использование животных в экспериментах осуществляли в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных живот-

ных» (приложение к приказу МЗ СССР № 755 от 12.08.1977 г.), Хельсинкской декларацией 1975 г. и ее пересмотренным вариантом 2000 г. Животных размещали в барокамере объемом 107 литров в свободном поведении. Компрессию осуществляли воздухом до давления 9 ата (атмосфер абсолютных) со скоростью 1 ата/мин. Экспозиция в камере при повышенном давлении продолжалась в течение 15 мин. Этот режим был выбран на основе таблицы «Аварийные режимы декомпрессии при спусках на глубины 63–80 метров с применением для дыхания воздуха»⁸. Животные были разделены на три группы: контрольная 1-я группа, снижение давления для которой проводили в соответствии с выбранным режимом декомпрессии; контрольная 2-я группа, снижение давления для которой проводили с имитацией аварийного всплытия без соблюдения режима декомпрессии; экспериментальная группа, к которой после имитации аварийного всплытия с нарушением режима декомпрессии применяли изучаемую методику. Суть методики состояла в том, что после аварийного всплытия животные находились в условиях нормобарии в течение 5 мин, затем была осуществлена рекомпрессия воздухом до 9 ата и изопрессия в течение 10 мин, после чего проводили декомпрессию по удлиненному режиму. В период рекомпрессии, последующей декомпрессии и в течение 2 ч после ее завершения у животных регистрировали поведенческие реакции и признаки развития декомпрессионных расстройств.

⁸ Единые правила безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-90. Ч.II Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992, 208 с.

Эффективность методики лечебной рекомпрессии оценивали по развитию признаков декомпрессионных расстройств. Они выражались в нарушениях функции опорно-двигательного аппарата и скоплении газовых пузырьков в головном мозге животных после имитации бездекомпрессионного свободного всплытия [6].

Для изучения процессов декомпрессионного газообразования в головном мозге через 2 ч после окончания эксперимента у предварительно наркотизированных тиопенталом натрия животных выделяли мозг, рассекали на фронтальные срезы и фиксировали в 2,5 % растворе глутаральдегида в 0,1 М какодилатном буфере, затем постфиксировали в 1 % растворе OsO_4 на том же буфере, обезвоживали в этаноле возрастающей концентрации и заливали в смесь аралдитов по стандартной методике для электронной микроскопии. Фиксированный материал резали на ультратоме LKB III (Швеция) и срезы изучали при помощи просвечивающего электронного микроскопа (LEO-910, Германия).

Результаты. Исследование показало, что применение предлагаемого метода рекомпрессии животных после имитации аварийного всплытия в течение всего времени наблюдения не выявило нарушений поведения, рефлексов позы и других визуально фиксируемых признаков развития декомпрессионного расстройства. Проведение рекомпрессии по предлагаемой методике способствует уменьшению объема газовых пузырьков, сформировавшихся в крови и тканях после аварийного всплытия с нарушением режимов декомпрессии, создавая благоприятные условия для диффузии газа из пузырька в ткань. Отдельные газовые пузырьки, попадавшие в поле зрения при микроскопическом исследовании, практически не поддавались подсчету из-за их незначительных размеров и очень низкой численности. Общая картина была сходна с контрольной группой, у которой после 15-минутной изопрессии при давлении воздуха 9 ата была проведена плановая декомпрессия по стандартному режиму. В контрольной группе с имитацией аварийного всплытия без последующей рекомпрессии микроскопическое изучение мозга показало повсеместное наличие отдельных пузырьков и групп пузырьков. В сосудах мозга сформировавшиеся газовые эмболы имели пристеночное расположение и в большинстве случаев были покрыты оболочкой. Согласно литературным

данным, первоначально она образуется из коллоидов крови, белков, липидов и жиров, а затем и из форменных элементов крови [7, 8]. То есть основной этиологический фактор, вызывающий декомпрессионные расстройства после аварийного всплытия, отсутствовал в случае проведения рекомпрессии, а, следовательно, постоянная выдержка в течение 10 мин под максимальным давлением спуска и последующая декомпрессия по удлиненным режимам устраняла все признаки развития декомпрессионного расстройства и по своей эффективности не уступала декомпрессии, выполняемой без нарушения режимов (табл. 1).

Обсуждение. Исследование эффективности лечебной рекомпрессии по предлагаемой методике было основано на имеющихся в литературе данных о развитии декомпрессионных расстройств, полученных при изучении свободного всплытия. Эти проявления выражались в нарушении функций опорно-двигательного аппарата и скоплении газовых пузырьков в головном мозге животных после имитации бездекомпрессионного всплытия, при этом они не фиксировались у животных, всплытие которых имитировалось с применением декомпрессионных режимов [6].

Проведенные нами исследования подтвердили отсутствие декомпрессионного газообразования в головном мозге крыс как при окончании экспозиции под давлением плановой декомпрессией, так и в случае с имитацией аварийного всплытия и последующей рекомпрессией до давления, при котором проходила изопрессия с выдержкой на этом давлении в течение 10 мин и декомпрессией по удлиненному режиму. Поведенческие реакции животных в ходе экспериментов были в пределах нормы. В то же время при нарушении режима декомпрессии (имитация свободного всплытия) без следующей за ним рекомпрессии нами был зарегистрирован весь пул поведенческих и морфологических изменений, характеризующих развитие декомпрессионных расстройств. Животные демонстрировали нарушение позных рефлексов, двигательные расстройства, параличи конечностей. Выявленные в тканях головного мозга газовые пузырьки были многочисленны и часто покрыты оболочкой. Таким образом, мы подтвердили эффективность предлагаемого метода рекомпрессии и возможность его применения в водолазной практике.

Таблица 1

Сводная таблица наблюдаемых признаков декомпрессионных расстройств у крыс линии Вистар после завершения экспериментов под давлением

Table 1

Summary table of observed of decompression disorders in Wistar rats after completion of experiments under pressure

Группа животных	Детали эксперимента	Визуальные признаки развития декомпрессионных расстройств	Наличие газовых пузырьков в головном мозге животных
Контрольная 1-я (n = 10)	Глубина 80 м, экспозиция – 15 мин, снижение давления по режиму, общее время декомпрессии 1 ч 47 мин	Не наблюдалось	Не наблюдалось
Контрольная 2-я (n = 10)	Глубина 80 м, экспозиция 15 мин, снижение давления с имитацией аварийного всплытия в течение 4 мин	Нарушения работы опорно-двигательного аппарата в виде параличей конечностей	Наблюдались скопления газовых пузырьков разной интенсивности и размеров
Экспериментальная (n = 10)	Глубина 80 м, экспозиция – 15 мин, снижение давления с имитацией аварийного всплытия в течение 4 мин, изопрессия 5 мин, рекомпрессия до глубины 80 м 4 мин, изопрессия 10 мин, декомпрессия по режиму декомпрессии с экспозицией 45 мин, общее время декомпрессии 9 ч 56 мин	Не наблюдалось	Не наблюдалось

Эффективность метода лечебной рекомпрессии, основанного на методике из Правил водолазной службы Военно-Морского Флота ПВС ВМФ-85⁴, где водолаз размещался под давлением, равным давлению на максимальной глубине водолазного спуска, подтвердилась также и опытом ее практического применения автором на морских объектах нефтегазового комплекса в период с 1992 по 2012 г. при аварийных всплытиях водолазов (всего 16 случаев). Взятая за основу методика после консультаций со специалистами кафедры физиологии подводного плавания Военно-медицинской академии им. Кирова (Медведев Л.Г.) и отдела барофизиологии и водолазной медицины ГНЦ РФ – Институт медико-биологи-

ческих проблем (ИМБП) РАН (Смолин В.В., Соколов Г.М.) была изменена в сторону увеличения времени постоянной выдержки до 10 мин.

В одном из этих случаев при применении методических указаний РД 31.84.01-90⁸ рекомпрессию водолазов следовало проводить по лечебному режиму 2 (давление в барокамере 0,7 МПа (70 м), выдержка под максимальным давлением 60 мин, время декомпрессии 42 ч 40 мин). По предлагаемой методике после 10-минутной выдержки под давлением 0,31 МПа (31 м) декомпрессию проводили по режиму для глубины 33 метра с экспозицией 80 мин и ее время составляло 1 ч 34 мин (94 мин)⁸. В другом случае с применением методических

⁴ Правила водолажной службы Военно-морского флота ПВС ВМФ - 85. Ч. III Медицинское обеспечение водолазов Военно-морского флота. М.: Воениздат, 1987, 198 с.

⁸ Единые правила безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-90. Ч.II Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992, 208 с.

указаний РД 31.84.01-90 рекомпрессию водолаза следовало проводить по лечебному режиму 3 (давление в барокамере 1,0 МПа (100 м), выдержка под максимальным давлением 30 мин, время декомпрессии 60 ч 10 мин). Применение предлагаемой методики после 10-минутной выдержки под давлением 0,41 МПа (41 м) позволило провести декомпрессию по режиму для глубины 42 м с экспозицией 80 мин, и она составила 2 ч 47 мин (167 мин). В обоих случаях после завершения декомпрессии и в последующие 5 дней признаков декомпрессионной болезни у водолазов не наблюдалось, жалоб не поступало.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что предлагаемая методика рекомпрессии водолаза после аварийного всплытия с нарушением режима декомпрессии не только эффективна в профилактике декомпрессионных расстройств, но и менее трудоемка и ресурсозатратна, в отличие от описанных в методических указаниях РД 31.84.01-90.

Заключение. 04 сентября 2007 г. вступили в действие Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ, утвержденные приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации № 269 от 13 апреля 2007 г. Методические указания по проведению рекомпрессии в случае всплытия водолаза с нарушением режимов декомпрессии изложены в редакции: «Если водолаз пропустил более двух остановок или всплыл на поверхность, пропустив все остановки, его необходимо быстро перевести в барокамеру для проведения лечебной профилактической рекомпрессии, соблюдая рекомендации, изложенные в п.2.11.3.6.4. настоящих Правил»⁹, при этом раздел 2.11, на который дана ссылка, фактически отсутствует как во всех печатных изданиях Правил, так и в электронных документах на государственных и справочных электронных порталах. Это привело к дальнейшему вынужденному применению рекомендаций, изложенных в Единых правилах безопасности труда на водолазных работах, часть II. Медицинское обеспечение водолазов РД 31.84.01-90⁸. (Подтверждено письмом Министер-

ства здравоохранения и социального развития РФ от 24 апреля 2012 г. N 22-3/10/2-4149).

Таким образом, методические указания по проведению рекомпрессии водолаза после выхода на поверхность с нарушением режимов декомпрессии, представленные в первоначальном проекте «Межотраслевых правил по охране труда при проведении водолазных работ. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов», вынесенном на обсуждение профессионального сообщества в 2002 г., в настоящее время в официальном виде содержатся только в монографии В.В. Смолина и соавт. [9], разработанной с учетом требований проекта «Межотраслевых правил по охране труда при проведении водолазных работ. Часть I. Правила водолазной службы. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов».

01 января 2021 г. вступили в действие Правила по охране труда при проведении водолазных работ, утвержденные приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, в которых рассматриваемые нами методические указания представлены в следующей редакции: «Если водолаз пропустил более двух остановок или всплыл на поверхность, пропустив все остановки, его необходимо быстро перевести в барокамеру для проведения мероприятий по профилактике декомпрессионного заболевания»¹⁰.

Такую трактовку методических указаний разработчики Правил мотивировали тем, что Правила не содержат медицинских требований и указанные мероприятия планируется представить в разрабатываемых ФМБА России методических указаниях по выбору и применению режимов лечебной рекомпрессии. Однако в утвержденных 21 июня 2021 г. Методических указаниях рекомендации по рекомпрессии после выхода водолаза с нарушением режимов декомпрессии отсутствуют¹¹, в связи с чем в декабре 2021 г. разработчиками Правил были согласованы и переданы на утверждение Ми-

⁸ Единые правила безопасности труда на водолазных работах РД 31.84.01-90. Ч. II Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992, 208 с.

⁹ Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ. СПб.: Издательство СПбМАПО, 2007, 176 с.

¹⁰ Приказ Минтруда России от 17.12.2020 № 922н «Об утверждении Правил по охране труда при проведении водолазных работ» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2020 N 61927). 195 с.

¹¹ Выбор и применение режимов лечебной рекомпрессии. Методические указания. МУ ФМБА России 11.07-2021. 69 с. [Selection and application of therapeutic recompression modes. Methodical instructions. MU FMBA of Russia 11.07-2021. 69 p. (In Russ)].

нистерства труда и социальной защиты изменения к Правилам, включающие в том числе и корректировку Методических указаний по проведению рекомпрессии водолаза после аварийного всплытия: «Если водолаз пропустил все остановки и всплыл на поверхность, то его необходимо быстро поднять на палубу и поместить в барокамеру под давление, равное давлению воды на грунте, выдержать 10 мин, после чего провести декомпрессию по режиму, при котором за экспозицию на грунте принимается время от начала спуска водолаза на грунт до начала декомпрессии его в барокамере.

Если после всплытия водолаза или бездекомпрессионного подъема на поверхность у водолаза появились признаки декомпрессионной болезни, то его помещают в барокамеру вместе с одним из опытных водолазов и проводят лечебную рекомпрессию с учетом тяжести заболевания и в соответствии с Методическими указаниями МУ ФМБА России 11.07-2021 «Выбор и применение режимов лечебной рекомпрессии».

Исследование и разработка внутренних природных объектов страны имеет важное экономическое, биологическое и военное значение. Многие стратегические объекты являются водными, что подразумевает проведение водолазных работ. Для комплексного решения проблемы сохранения здоровья, работоспособности и качества жизни водолазов необходимо применение новых методов и подходов, основанных на понимании механизмов развития патологии в условиях действия повышенного давления. Механизм одной из таких патологий – развитие декомпрессионных расстройств после аварийного всплытия с нарушением декомпрессионных режимов и методику проведения рекомпрессии в целях профилактики этих нарушений, авторы изучали в представленной работе. Результаты исследования могут служить основой для разработки новых подходов к организации водолазных работ и предупреждения развития декомпрессионных заболеваний водолазов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИЭФБ РАН (рег. № 075-01052-22-00).

Сведения об авторах:

Алексеева Ольга Сергеевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Клеточные механизмы гомеостаза крови» ФГБУН «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова» Российской академии наук, 194223, г. Санкт-Петербург, пр. Тореза, д. 44; e-mail: osa72@inbox.ru; SPIN 4281-3091; ORCID 0000-0001-5688-347X

Левашев Станислав Леонидович – главный специалист ООО «Фертоинг», 196158, г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 40, к. 4, литер А; e-mail: dspstas@mail.ru

Information about the authors:

Olga S. Alekseeva – Cand. of Sci. (Biol.), Leading researcher of the Laboratory “Cellular Mechanisms of Blood Homeostasis” of the Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, 194223, Saint Petersburg, 44, Torez Ave.; e-mail: osa72@inbox.ru; SPIN 4281-3091; ORCID 0000-0001-5688-347X

Stanislav L. Levashev – Chief Specialist of Fertoing LLC, 196158, St. Petersburg, Pulkovskoe highway, 40, room 4, letter A; e-mail: dspstas@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).

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Соответствие принципам этики: Исследование одобрено на заседании комиссии по биоэтике, утверждённой приказом Директора ИЭФБ РАН. Исследования на животных проводились в соответствии с требованиями Международной декларации о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей.

Adherence to ethical standards: The study was approved at the meeting of the Bioethics Commission approved by the order of the Director of the IEFB RAS. Animal studies were conducted in accordance with the requirements of the International Declaration on the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes.

Поступила/Received: 28.11.2022

Принята к печати/Accepted: 12.02.2023

Опубликована/Published: 30.03.2023

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Нессирьо В.А. *Физиологические основы декомпрессии водолазов-глубоководников*. СПб.: ООО «Золотой век». 2002. 448 с. [Nessirio V.A. *Physiological bases of decompression of deep-sea divers*. St. Petersburg: LLC «Golden Age», 2002, 448 p. (In Russ.)].
2. Arieli R., Svidovsky P., Abramovich A. Decompression sickness in the rat following a dive on trimix: recompression therapy with oxygen vs. heliox and oxygen. *J. Appl. Physiol.* (1985), 2007, Vol. 102, № 4, P. 1324–1328. doi: 10.1152/jappphysiol.01195.2006.
3. Sipinen S. Sukeltajantauti [Decompression sickness]. *Duodecim*, 2010, Vol. 126, № 4, P. 435–442.
4. Lee Y.J., Jung S.K., Lee J.H., Kang H.D., Oh S.H., Ban S.D. Efficiency of a 24-hour on-call system for early recompression therapy for acute decompression sickness. *Undersea Hyperb. Med*, 2022, Vol. 49, № 4, P. 507–518. doi: 10.22462/07.08.2022.10.
5. Медведев Л.Г., Клепач А.И. О первых признаках острого кислородного отравления у водолазов // *Военно-медицинский журнал*. 1985. № 1. С. 53–54. [Medvedev L.G., Klepach A.I. On the first signs of acute oxygen poisoning in divers. *Military Medical Journal*, 1985, № 1, P. 53–54 (In Russ.)].
6. Селивра А.И., Пожидаев В.А., Демченко И.Т. Физиологические проблемы свободного всплытия: экспериментальные исследования // *Физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 1992. Т. 78, № 6. С. 61–69 [Selivra A.I., Pozhidaev V.A., Demchenko I.T. Physiological problems of free ascent: experimental studies. *I.M. Sechenov Physiological Journal*, 1992, Vol. 78, № 6, P. 61–69 (In Russ.)].
7. Соколов Г.М. Декомпрессионная болезнь. *Российская энциклопедия по медицине труда*. М.: Медицина. 2005. С. 151–154 [Sokolov G.M. *Decompression sickness*. *Russian Encyclopedia of Occupational Medicine*. Moscow: Meditsina, 2005, P. 151–154 (In Russ.)].
8. Логунов А.Т., Соколов Г.М. Новый высокоэффективный метод лечения декомпрессионной болезни и баротравмы легких // *Морская медицина*. 2016. Т. 2, № 1. С. 75–80. [Logunov A.T., Sokolov G.M. New highly effective method of treatment decompression sickness and pulmonary barotrauma. *Marine medicine*, 2016, Vol. 2, N 1, P. 75–80 (In Russ.)].
9. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. *Водолазные спуски и их медицинское обеспечение*. Изд. переработанное и дополненное. М.: «Слово». 2001. 696 с. [Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N. *Diving descents and their medical support*. Ed. revised and supplemented. Moscow: «Slovo», 2001, 696 p. (In Russ.)].