

СТАТЬЯ

УДК 551.46.07

ВОДОЛАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА

Яхонтов Б.О.

ФГБУН «Институт океанологии имени П.П. Ширшова» Российской академии наук, Москва,
e-mail: giper28@ocean.ru

В статье рассматриваются перспективные для внедрения и применения на практике технологии водолазных погружений, обеспечивающие возможность проведения научными водолазами фундаментальных и прикладных исследований океана *in situ*. Такие технологии основаны на методах водолазных погружений и физиологических принципах насыщения тканей организма инертным газом и насыщения. В настоящее время при обосновании и выборе приемлемой для океанологических исследований водолазной технологии следует руководствоваться соотношением стоимости, эффективности и безопасности работ под водой и ограничиться доступной и эффективной технологией на базе метода кратковременных погружений. Характерными для научных водолазов являются их невысокая квалификация и небольшой опыт погружений, что связано с эпизодическим режимом спусков для работы под водой. Это требует соблюдения повышенных мер безопасности водолазов и накладывает ряд ограничений на их водолазную практику: глубины спусков в пределах 30 м, выполнение спусков с напарником и по бездекомпрессионным режимам, а также исключение повторных спусков в течение суток. Приемлемыми для практического применения являются технологии спусков с использованием дыхательных аппаратов с открытым циклом дыхания сжатым воздухом в пределах глубин до 20 м. Но наиболее эффективными и сравнительно безопасными технологиями являются погружения с использованием кислородно-азотных смесей с повышенным относительно воздуха содержанием кислорода до 40 %, а также спуски с дыхательным аппаратом с замкнутым циклом дыхания типа ребризер, но без смены научным водолазом дыхательной газовой смеси под водой.

Ключевые слова: водолазные технологии, океанологические исследования, научный водолаз, дыхательный аппарат, дыхательные газовые смеси, безопасность водолазов, декомпрессия

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021–0011).

DIVING TECHNOLOGIES FOR OCEAN RESEARCH

Yakhontov B.O.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: giper28@ocean.ru

The article discusses the technologies of diving descents that are promising for the introduction and application in practice, providing the possibility for scientific divers to conduct fundamental and applied ocean research *in situ*. Such technologies are based on the methods of diving descents and physiological principles of saturation of body tissues with inert gas and desaturation. Currently, when justifying and choosing a diving technology acceptable for oceanological research, one should be guided by the ratio of cost, efficiency, and safety of work under water and limit oneself to an affordable and effective technology based on the method of short-term dives. Characteristic of scientific divers is their low qualification and little diving experience, which is associated with the episodic mode of descents to work underwater. This requires compliance with increased safety measures for divers and imposes several restrictions on their diving practice: the depth of descents within 30 m, the performance of descents with a partner and in non-decompression modes, as well as the exclusion of repeated descents during the day. Technologies of descents using breathing apparatus with an open cycle of compressed air breathing within depths up to 20 m are acceptable for practical use. But the most effective and relatively safe technologies are dives using oxygen-nitrogen mixtures with an increased oxygen content of up to 40% relative to air, as well as descents with a breathing apparatus with a closed breathing cycle of the rebreather type, but without replacement the breathing gas mixture under water by a scientific diver.

Keywords: diving technologies, oceanological research, scientific diver, breathing apparatus, breathing gas mixtures, safety of divers, decompression

The work was carried out within the framework of the State assignment of the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (topic No. FMWE-2021–0011).

Одним из способов изучения океана является использование водолазных технологий в пределах доступных человеку глубин. Эти технологии направлены на проведение фундаментальных и прикладных исследований и в целом на развитие инновационного потенциала в области исследования и освоения океана.

При современном уровне развития технологий некоторые виды подводных работ могут, конечно, выполняться телеуправляемыми машинами, но научно-исследовательские работы без участия в них человека вряд ли могут быть высокорезультативными. Такие исследования должны выполняться на месте, то есть в среде обитания

или нахождения изучаемых объектов. Человек всегда был и остается основным звеном научно-исследовательского процесса, и ему должен быть доступен подводный объект для исследования *in situ* [1].

Водолазные технологии построены на двух классических методах: кратковременных погружений (КП) и длительного (многосуточного) пребывания (ДП) под повышенным давлением. Эти методы отличаются один от другого по многим параметрам: глубинным, физиологическим, экономическим и др. Но оба метода имеют одинаковую физиологическую основу: насыщение тканей организма человека инертным газом (азотом, гелием) во время дыхания измененной газовой средой при погружении и насыщение при подъеме на поверхность. Эти процессы обусловлены действием физических факторов водной среды и измененной практически по всем параметрам дыхательной газовой среды (ДГС). Эта среда формируется в системе водолазного дыхательного аппарата, вентилируемого снаряжения (шлема), водолазной барокамеры.

Традиционный метод КП отличается тем, что ткани организма насыщаются инертным газом частично. При этом продолжительность декомпрессии зависит от глубины и времени пребывания в условиях повышенного давления под водой. При использовании метода ДП ткани организма насыщаются инертным газом полностью. Уровень насыщения зависит от его парциального давления в дыхательной среде в условиях гипербарии. Полное насыщение организма происходит примерно по истечении двух суток. После полной сатурации время декомпрессии не зависит от длительности дальнейшего пребывания при данном давлении, но во много раз превышает время декомпрессии по сравнению с методом КП. Однако это компенсируется эффективностью метода ДП, поскольку полезное время при многосуточном пребывании в условиях гипербарии и работы под водой из таких условий (при выходе в воду для работы из жилой барокамеры водолазного комплекса) также может значительно превышать время декомпрессии после ДП [2].

Единственное, что объединяет методы КП и ДП, – это действие на водолаза опасных и вредных факторов гипербарической газовой и водной среды, что вызывает приспособительные, или компенсаторные, реакции организма, а при их исчерпании – патологические реакции [3]. Естественно, что последнее связано с уровнем и/или длительностью действия вредных факторов, поэтому метод ДП требует более от-

ветственного отношения к построению системы медицинского обеспечения водолазов и в целом их безопасности. Но более важным для практики отличием метода ДП является то, что он несравнимо более затратный финансово, что ограничивает или даже исключает его использование для подводных океанологических исследований. Надо отметить, что и метод КП также не всегда является доступным для его применения в научной водолазной практике, что связано со стоимостью современного высокотехнологичного водолазного снаряжения, например такого, как дыхательные аппараты с замкнутым циклом дыхания типа «ребризер». Однако стоимость подводных работ с использованием таких аппаратов ниже стоимости аналогичных работ, проводимых традиционным методом КП с использованием аппаратов типа «акваланг». Поэтому в настоящее время при обосновании и выборе приемлемой для океанологических исследований водолазной технологии следует руководствоваться соотношением стоимости, эффективности и безопасности работ под водой и ограничиться доступной и эффективной технологией на базе метода КП. Но это, конечно, не исключает возможность использования технологии на базе метода ДП при наличии соответствующего оборудования (судового водолазного комплекса) и снаряжения, а также высококвалифицированных водолазов, владеющих методами океанологических исследований на рабочих глубинах. Поскольку при любых водолазных спусках исключить риски невозможно, должен быть компромиссный выбор между риском и целесообразностью погружения научного водолаза с учетом научной эффективности использования водолазного метода исследований в каждом случае планирования работы под водой.

Целью данной работы является повышение эффективности и безопасности проведения подводных исследований океана научными водолазами за счет внедрения в исследовательскую практику передовых технологий водолазных погружений.

Материалы и методы исследования

В работе использованы материалы многолетних исследований автора при проведении водолазных погружений в научно-прикладных целях. Спуски проводились на водолазных научных, учебных и производственных объектах российских морских акваторий, а также в исследовательских водолазных бассейнах. В исследованиях принимали участие научные и инженерно-технические работники, имеющие начальную

квалификацию «водолаз», которые по служебной необходимости могут выполнять эпизодические спуски под воду, а также высококлассные профессиональные водолазы. Спуски научных водолазов начальной квалификации осуществлялись на глубины в диапазоне 30 м, в зависимости от установленной водолазно-медицинской комиссией глубины для каждого водолаза, и выполнялись в сопровождении страхующего водолаза-напарника. Погружения проводились с научно-исследовательских судов (НИС), специализированных водолазных судов, а также с маломерных плавсредств и с берега. При спусках и работах под водой, а также в барокамере использовались водолазные дыхательные аппараты типа «акваланг» с открытым циклом дыхания (OCR) сжатым воздухом и обогащенным до 40% кислородом воздухом, а также аппараты с замкнутым циклом дыхания (CCR) типа «ребризер». Спуски проводились под руководством водолазного специалиста, владеющего данной водолазной техникой и методами погружений.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из существенных аспектов организации водолазных погружений в целях исследования океана является специфика работы в научном учреждении, когда водолазное дело не является основным видом научной деятельности. Это исключает возможность иметь специализированную водолажную службу, оснащенную водолазной техникой и укомплектованную профессиональными водолазами и медицинским персоналом для обязательного медицинского обеспечения водолазов при спусках в любых целях. В такой ситуации приемлем компромисс, при котором в роли водолаза может выступать штатный научный работник (ученый-океанолог), имеющий водолажную подготовку с начальной квалификацией «водолаз», притом что это не является его основной профессией. Конечно, это водолаз невысокой квалификации и с небольшим опытом погружений, что требует для него повышенных мер обеспечения безопасности. Вместе с тем это дает ему право проводить научные исследования под водой в пределах определенного, установленного водолазно-медицинской комиссией диапазона глубин. Его задачи при работе на дне по понятным причинам должны быть ограничены только научным наблюдением, экспериментом с применением донных приборов, сбором различных проб, образцов и анализом обстановки под водой для личного контроля безопасности [4].

Не менее важной особенностью подводных океанологических исследований является эпизодический характер проведения исследований научными водолазами, что является главной причиной отказа коммерческих водолазов от сотрудничества, поскольку такой режим работы явно отрицательно отражается на их финансовом положении и квалификации. В таких условиях выполнение эпизодических водолазных работ научными водолазами возможно только при ограничениях, позволяющих водолазу минимальной квалификации относительно безопасно выполнять научные задачи под водой [4]. Несмотря на такую специфику организации подводных научных работ, принципы построения водолазных технологий остаются неизменными – научная обоснованность, эффективность, безопасность, надежность. При этом методы водолазных спусков и водолазные технологии в целом основаны исключительно на физиологических принципах построения методики спуска: режимы компрессии при погружении, режимы работы на грунте (работоспособность) и режимы декомпрессии.

Таким образом, с учетом принципиального различия в методах КП и ДП (частичное или полное насыщение тканей организма инертным газом и разные ДГС) при погружениях с использованием этих методов технологии спусков в научных целях целесообразно разделить на две структурно похожие, но принципиально разные группы:

1 – технология кратковременных погружений, основанная на совокупности метода КП, технических средств (водолазного снаряжения и оборудования) для обеспечения спусков, режимов спусков и работы на грунте, а также соответствующей данной технологии нормативной документации;

2 – технология длительного пребывания под повышенным давлением, основанная на совокупности метода ДП и технических средств обеспечения многосуточного пребывания под давлением, включая систему жизнеобеспечения, которая является главным средством обеспечения жизнедеятельности водолазов (акванавтов) и управления параметрами искусственной дыхательной газовой среды, а также режимов спусков, пребывания под повышенным давлением в жилой барокамере, работы на грунте из условий ДП и соответствующей данной технологии нормативной документации.

Важная роль физиологических принципов построения технологий водолазных погружений обусловлена дыханием измененной газовой средой и эффектами действия этой среды на организм. Эти эффекты сводятся к физиологическим реакциям, кото-

рые почти не зависят от метода погружения, поскольку основные действующие факторы гипербарической среды одинаковы. Разница состоит лишь в степени выраженности этих реакций, так как временная разница (время пребывания и работы в условиях повышенного давления) между методами КП и ДП огромна и может составлять сотни раз. Минимизация этих реакций является главной целью, основой построения доступной, эффективной и относительно безопасной технологии погружений. Этому соответствуют технологии кратковременных погружений, основанные на методе КП, хотя метод ДП является определенно более эффективным, но его использование в настоящее время практически, как упоминалось выше, недоступно в научной сфере в основном по финансовым причинам. Это связано с тем, что многосуточное пребывание квалифицированных водолазов (акванавтов) в условиях повышенного давления, соответствующего рабочей глубине, происходит в специальном судовом барокамерном комплексе с отдельной дорогостоящей инфраструктурой. Поэтому на данном этапе

рассматриваются технологии, относящиеся к кратковременным водолажным спускам, для проведения подводных исследований. Структура технологии водолажных спусков в научных целях на основе метода КП представлена на рис. 1.

Все водолажные спуски с использованием технологии на базе метода КП, независимо от типа дыхательного аппарата, осуществляются из условий нормального давления воздушной среды на поверхности. Время пребывания водолаза под водой, в зависимости от глубины погружения и газового состава ДГС, до нескольких часов (на малых и частично средних глубинах). При этом не происходит полного насыщения тканей организма инертным газом. После работы водолаз проходит декомпрессию по определенному режиму и возвращается в те же условия нормального давления. Такая технология основана на использовании автономных подводных дыхательных аппаратов (SCUBA) типа «акваланг» с открытым циклом дыхания (OCR) и аппаратов с замкнутым циклом дыхания (CCR) газовыми смесями типа «ребризер» (рис. 2).



Рис. 1. Общая структура технологии водолажных спусков в научных целях, основанной на методе КП



Рис. 2. Слева – водолаз выходит из воды (дыхательный аппарат с открытым циклом дыхания – OCR), справа – водолаз готов к спуску (дыхательный аппарат с замкнутым циклом дыхания – CCR) (фото из архива водолазного специалиста С.В. Черкашина)

Надо отметить, что шланговые варианты аппаратов большинством научных водолазов не приветствуются. Обычные автономные аппараты имеют преимущество перед шланговыми, которые снижают мобильность научного водолаза и самоконтроль безопасности при необходимости следить за «чистотой» шланга. Обеспечение мобильности, подвижности и безопасности должно быть преимуществом технологии и снаряжения не только для научного водолаза, который, как упоминалось выше, не является высококвалифицированным и опытным водолазом. Его участие в проведении подводных исследований, как правило, носит эпизодический характер. Такая специфика работы, естественно, должна накладывать определенные ограничения на его водолазную практику.

Эти ограничения направлены на обеспечение безопасности и рассматриваются как один из организационных аспектов водолазной технологии подводных океанологических исследований. Опыт организации и проведения водолазных спусков в научных целях показал, что наиболее важными из ограничений и требований независимо от типа используемого водолазного снаряжения и технологии в целом являются [4]:

- глубины рабочих спусков научных водолазов-исследователей – в пределах 30 м;
- глубины спусков при полном комплектовании водолазной станции, включая руководителя спусков, водолазами начальной квалификации «водолаз» – до 20 м;
- выполнение спусков с напарником, выполняющим под водой функцию страховящего водолаза;
- выполнение спусков по бездекомпрессионным (безостановочным) режимам.

К этим ограничениям необходимо добавить спуски без изменения глубины во время нахождения и работы под водой и исключение повторных спусков в течение суток. Последнее обусловлено тем, что у водолазов-исследователей, так же как и у других водолазов, работающих под водой эпизодически, повторные спуски повышают риск развития декомпрессионного газообразования. По данным международной сети безопасности дайверов (Divers Alert Network) повторные спуски в течение суток приводят к высокому уровню декомпрессионного внутрисосудистого газообразования. Это встречается в 67% повторных спусков, что почти в семь раз превышает частоту такого газообразования после однократных погружений [5].

Конечно, при наличии научных водолазов более высокой квалификации на них, так же как и на привлекаемых к работам по договору профессиональных водолазов, эти ограничения при подводных исследованиях не распространяются. Они могут работать с любым сертифицированным освоенным снаряжением при наличии допуска к спускам, включая смесевые ребризеры с электронной регулировкой состава ДГС, на больших глубинах и в соответствии с едиными правилами безопасности труда на водолазных работах [6] и правилами по охране труда водолазов [7]. Эти правила распространяются на научных водолазов любой квалификации с учетом специфики их основной научной и эпизодической водолазной деятельности.

Как показала сравнительная апробация спусков с применением акваланга и ребризера, наиболее эффективными и относительно безопасными в пределах средних

глубин являются спуски с использованием ребризера. Для спусков в научных целях это наиболее прогрессивная технология [1, 8]. К ее основным объективным достоинствам при проведении подводных океанологических исследований следует отнести:

– обеспечение высокой мобильности водолаза-исследователя при работе под водой;

– низкий расход газов, характерный для замкнутого контура дыхания в связи с отсутствием выдоха газовой смеси в воду, что обеспечивает возможность дыхания под водой в течение порядка трех часов и более на одной заправке независимо от глубины погружения;

– дыхание подогретой и увлажненной ДГС, что обеспечивает комфортность дыхания и оптимальный теплообмен организма в условиях водной среды;

– электронная регулировка поддержания постоянного значения установленного PO_2 при работе под водой независимо от глубины;

– возможность увеличения времени работы на глубине и минимизации по времени режимов декомпрессии за счет переключения на дыхание под водой газовыми смесями с повышенным содержанием кислорода, а также проведение спусков по бездекомпрессионным (безостановочным) режимам;

– тишина работы аппарата и отсутствие газовых пузырей в воде, что создает условия для наблюдения подводной фауны и решения других задач под водой.

Однако спуски с такими аппаратами для научной работы под водой требуют знаний, навыка и опыта водолаза и не рекомендуются для использования неподготовленными научными водолазами с начальной квалификацией «водолаз».

Для пользования ребризером, особенно смесевым с электронной регулировкой состава ДГС, водолаз должен иметь квалификацию выше начального уровня, пройти специальную курсовую подготовку и получить допуск к выполнению спусков с освоением аппаратом. Специфика погружений с такими аппаратами накладывает особые требования к подготовке водолазов для подводных научных исследований. Это связано с обеспечением безопасности. Поэтому, несмотря на то, что эта технология предназначена для более квалифицированных водолазов, чем научные, спуски все равно должны выполняться с напарником. В настоящее время, когда эта технология и режимы погружений еще недостаточно отработаны для их широкого использования при подводных океанологических исследованиях, основными аспектами подготовки к спускам являются знания, практические навыки

и личная ответственность водолаза. Но этим не исчерпываются проблемы, связанные с использованием ребризеров, в большей степени это относится к «смесевым» аппаратам. Дело в том, что при спусках с такими аппаратами декомпрессия осуществляется в воде в соответствии с расчетом режима декомпрессии в реальном времени на месте с помощью подводного компьютера, а не по стандартным таблицам. Такая особенность спусков требует повышенного контроля состояния водолаза во время работы под водой. Но высокий уровень надежности современных аппаратов такого типа обеспечивает и необходимый уровень безопасности, поэтому они перспективны для водолазов-исследователей.

Для внедрения технологии кратковременных погружений в автономном режиме с использованием аппаратов типа ребризера в практику океанологических исследований необходимо разработать систему обучения и подготовки водолазов-исследователей к погружениям, а также нормативную и руководящую документацию по организации и проведению водолазных спусков для проведения подводных исследований *in situ*.

Не менее эффективной и перспективной технологией водолазных спусков для проведения подводных океанологических исследований является технология КП с использованием кислородно-азотных смесей (КАС) с повышенным относительно воздуха содержанием кислорода в пределах нетоксичной зоны и пониженным содержанием азота. Использование таких смесей приводит к снижению уровня насыщения тканей организма азотом, а следовательно, уменьшает риск развития декомпрессионного газообразования и сокращает время декомпрессии водолазов в целом [9], а также увеличение времени пребывания на грунте, не требующего ступенчатой декомпрессии.

Одной из эффективных и относительно безопасных для практического применения является КАС с содержанием кислорода до 40%. Априори можно утверждать, что такая смесь имеет важные для практики подводных исследований преимущества с учетом основных предлагаемых ограничений для научных водолазов минимальной квалификации, а именно – глубины в пределах 30 м и спусков по бездекомпрессионным режимам. На глубине 30 м при дыхании такой смесью соблюдается допустимое (нетоксичное) для разового спуска значение парциального давления кислорода (PO_2) на уровне 1,6 кгс/см². При этом для обеспечения бездекомпрессионного (безостановочного) режима погружения время пре-

бывания водолаза на грунте не должно превышать 45 мин [10, прил. 17, табл. 3; 11, п. 2.2.2., табл. 7], что достаточно для решения многих научных задач под водой. При этом весь режим декомпрессии после работы с использованием 40% КАС ограничивается временем выхода на поверхность – 3 мин. Для сравнения: при дыхании сжатым воздухом в таких же условиях допустимая экспозиция составила бы 15 мин при безостановочном времени выхода 4 мин [12]. То есть использование КАС значительно продлевает время работы водолаза на дне при сохранении режима бездекомпрессионного выхода на поверхность. На меньших глубинах допустимое бездекомпрессионное время работы, естественно, будет больше. Кроме того, при пониженном до 60% содержании азота в смеси даже на глубине 40 м его наркотическое действие практически не будет проявляться [11, п. 2.2.2], а на больших глубинах будет ослабляться по сравнению с дыханием сжатым воздухом. Гипероксический уровень КАС поддерживает физическую работоспособность водолаза.

Следует обратить внимание на то, что если определять допустимое время пребывания на глубине 30 м при дыхании КАС не по вышеупомянутым таблицам, а через «эквивалентную воздушную глубину», рассчитываемую по азоту и равную 20 м, то время экспозиции на глубине 30 м для бездекомпрессионного выхода на поверхность, определяемое по таблице отечественных режимов декомпрессии для воздуха и по зарубежной, известной как таблица А. Бюльмана (A. Bühlman), совпадает и составляет 35 мин против 45 мин в первом случае. Такая временная разница заставляет усомниться в достоверности одной из этих величин, определяемых разными способами, относительно определения бездекомпрессионной экспозиции водолаза на грунте. Значительное несовпадение величин этих параметров водолазного спуска указывает на необходимость проведения исследований, направленных на разработку бездекомпрессионных режимов спусков для научных водолазов.

Несмотря на кажущуюся простоту этой технологии (использование в аппарате вместо воздуха кислородно-азотной ДГС), она пока не является легкодоступной для широкого использования при подводных научных исследованиях. Возникает одно важное обстоятельство: такая дыхательная смесь полностью обеспечивает по времени исследовательскую работу под водой в бездекомпрессионном режиме во всем диапазоне глубин до 30 м. Но объем ДГС в баллонах

дыхательного аппарата (например, в отечественном аппарате АВМ-15, который обеспечивает возможность работы с КАС, объем смеси, приведенный к нормальному давлению, составляет 2800 л), ограничивает возможности водолаза по времени работы под водой. Водолаз еще может находиться под водой и работать без проведения ступенчатой декомпрессии, но должен выходить на поверхность, потому что запас дыхательной смеси в аппарате заканчивается. Надо или заменять аппарат, или работать с аппаратом в шланговом варианте. Первое для научного водолаза нежелательно, хотя для квалифицированных водолазов возможно, второе проблематично по понятным причинам, особенно в экспедиционных условиях. Но главное состоит в том, что реального времени дыхания из аппарата с объемом ДГС в баллонах 2800 л на глубинах в диапазоне до 30 м при легочной вентиляции в среднем 20 л/мин (это соответствует нашим экспериментальным данным для научного водолаза, работающего на грунте в основном на месте при невысокой физической активности) водолазу-океанологу все равно достаточно для решения многих исследовательских задач под водой при использовании объема 40%-ной КАС в баллонах одного аппарата, учитывая даже, что в баллонах должен оставаться резервный запас ДГС для выхода на поверхность. Некоторые ограничения по времени пребывания под водой (примерно 26 мин) могут быть лишь на глубинах порядка 30 м. В этом случае при планировании спусков следует учитывать этот лимит времени работы на грунте. На глубинах 10 и 20 м бездекомпрессионный лимит времени работы при использовании для дыхания основного запаса дыхательной смеси в одном аппарате составит приблизительно 53 и 35 мин соответственно, хотя водолаз мог бы продолжать работать под водой на этих глубинах практически неограниченное время на 10 м и до 3 ч на 20 м при условии подачи на дыхание необходимого объема ДГС. Надо отметить, что ограничений, связанных с недостатком объема ДГС, при использовании аппаратом с замкнутым циклом дыхания (ребризером) нет.

Таким образом, при использовании объема КАС в баллонах одного аппарата научный водолаз при строгом соблюдении правил спуска не подвергнется декомпрессионной болезни, потому что он явно не выходит за бездекомпрессионный предел времени при работе под водой. Это является главным преимуществом технологии водолазных погружений не только в научных, но и в любых целях.

Заключение

Основными исходными данными для построения водолазных технологий океанологических исследований являются: невысокая квалификация научных водолазов-исследователей, небольшой опыт погружений, эпизодический характер водолазных спусков для проведения исследований под водой. Это требует соблюдения повышенных мер безопасности научных водолазов и в этой связи накладывает ряд ограничений на их водолазную практику: глубины спусков в пределах 30 м, выполнение спусков с напарником, по бездекомпрессионным режимам, без изменения глубины во время работы под водой, а также исключение повторных спусков в течение суток.

Из наиболее доступных для проведения подводных океанологических исследований рассматриваются только технологии кратковременных погружений в автономном режиме, основанные на методе КП. Приемлемой для практического применения является технология спусков с использованием дыхательного аппарата с открытым циклом дыхания сжатым воздухом в пределах глубин до 20 м. Этот предел обусловлен тем, что при достаточном для решения научных задач времени работы на этой глубине (35 мин) соблюдается бездекомпрессионный (безостановочный) режим выхода на поверхность. Но более эффективными и относительно безопасными технологиями являются погружения с использованием в дыхательном аппарате кислородно-азотных смесей, обогащенных кислородом, а также спуски с аппаратом с замкнутым циклом дыхания типа ребризер, но без смены ДГС под водой, если используется «смесевой» аппарат. Для спусков в научных целях это наиболее прогрессивные технологии. При проведении подводных исследований они имеют ряд объективных достоинств по сравнению с обычным аквалангом. Однако спуски с использованием ребризера требуют знаний, навыка и опыта водолаза и не рекомендуются для использования неподготовленными научными водолазами с начальной квалификацией. Для пользования ребризером, особенно смесевым с электронной регулировкой состава ДГС, научному водолазу следует иметь квалификацию выше начального уровня, пройти курсовую подготовку и получить допуск к выполнению спусков с таким аппаратом.

Технология водолазных спусков для проведения подводных океанологических исследований с использованием кислородно-

азотных смесей с повышенным относительно воздуха содержанием кислорода до 40% и пониженным содержанием азота является не менее перспективной и, пожалуй, более доступной с учетом стоимости специального дыхательного аппарата. Априори можно утверждать, что использование таких смесей в аппарате приводит к снижению уровня насыщения тканей организма азотом, а следовательно, к уменьшению риска развития декомпрессионного газообразования и сокращению времени декомпрессии водолазов в целом, а также к увеличению времени пребывания на грунте, не требующего ступенчатой декомпрессии. Такая технология имеет важные для практики подводных океанологических исследований преимущества в связи с предлагаемыми ограничениями для научных водолазов минимальной квалификации.

Список литературы

1. Яхонтов Б.О. Оценка эффективности водолазных технологий изучения океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10-1. С. 111–115.
2. Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А. Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 167–171.
3. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2004. Т. 2. 723 с.
4. Яхонтов Б.О. Принципы организации водолазных спусков для проведения океанологических исследований *in situ* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 4. С. 36–42.
5. Алпатов В.Н., Ганапольский В.П., Родичкин П.В., Ганапольская М.В. Математическая модель прогноза болевого течения декомпрессионной болезни у спортивных дайверов // Теория и практика физической культуры. 2020. № 11. С. 32–34.
6. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 1. Правила водолазной службы. РД 31.84.01–90. М.: Моркнига, 2022. 304 с.
7. Правила по охране труда при проведении водолазных работ. Утв. Приказом Минтруда России от 17.12.2020 № 922н. М.: Моркнига, 2022. 232 с.
8. Черкашин С.В. Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития. В кн.: «Подводные технологии и средства освоения Мирового океана». М.: Оружие и технологии, 2011. С. 518–527.
9. Мясников А.А., Ефиценко Е.В., Зверев Д.П., Кленков И.Р. Хроническая декомпрессионная болезнь и ее диагностика // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2018. № 4 (64). С. 26–31.
10. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. М.: ЦРИА Морфлот, 1980. 184 с.
11. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Слово, 2013. 608 с.
12. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. II. Медицинское обеспечение водолазов. РД 31.84.01–90. М.: Мортехинформреклама, 2022. 132 с.