

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.46.07(626.02)

ВОДОЛАЗНЫЕ МЕТОДЫ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2021 г. Б. О. Яхонтов*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: giper28@ocean.ru

Поступила в редакцию 21.07.2020 г.

После доработки 29.07.2020 г.

Принята к публикации 20.11.2020 г.

Обсуждаются прогрессивные технологии, методы и методики водолазных погружений, которые по результатам сравнительной апробации наиболее пригодны для использования в практике океанологических исследований *in situ* научными водолазами, включая самих океанологов, имеющих профессиональную водолазную подготовку. При этом решается более широкий спектр научных задач, повышается методический уровень, эффективность и качество океанологических исследований. Для погружений в научных целях наиболее пригодным является метод кратковременных погружений в автономном режиме с использованием дыхательных аппаратов с замкнутым циклом дыхания газовыми смесями с электронной регулировкой состава смесей и технологии погружений с использованием для дыхания кислородно-азотных смесей. Эти технологии могут быть приоритетными для дальнейшего развития и внедрения в практику океанологических исследований.

Ключевые слова: водолазные методы исследований, методы водолазных спусков, погружения в автономном режиме, дыхательные аппараты, дыхательные смеси, эффективность водолазных технологий

DOI: 10.31857/S0030157421030175

Одним из способов изучения океана является использование водолазных технологий, включающих основанные на физиологических и технических принципах водолазные методы погружений в целях проведения под водой океанологических исследований. Это научно-технологическое направление в значительной степени способствует развитию инновационного потенциала в области изучения океана и решению фундаментальных проблем океанологии.

В отличие от технических управляемых систем (необитаемые подводные аппараты и роботы) водолаз может под водой решать поставленные задачи не только по заданной программе, но и по обстановке. Это исследовательская работа *in situ*, что является важным условием для получения корректной научной информации. Конечно, глубина погружения и работа водолаза-исследователя на грунте лимитируется его физиологическими возможностями, методами и режимами погружений, что связано в основном с дыханием измененной газовой средой под влиянием повышенного давления (гипербарии). Известно, что работа водолаза под водой или в барокамере под воздействием давления дыхательной газовой среды приводит к выраженным изменениям во всех физиологических системах организма [2, 5, 7]. Это требует более тщательного отбора или разработки специальных методик погружений в науч-

ных целях с учетом того, что водолаз-исследователь (океанолог) может иметь профессиональную водолазную подготовку, но уровень его профессионализма по понятным причинам не может быть высоким.

При современном развитии методов, технических средств погружений и обеспечения водолазных спусков высокая эффективность подводных исследований распространяется, по крайней мере, до глубин континентального шельфа. Поэтому океанологи уделяют наибольшее внимание актуальным проблемам физики, геологии и биологии океана именно в шельфовой зоне [1]. Основные задачи океанологии, при решении которых применение водолазных методов в сочетании с другими техническими средствами является целесообразным, в настоящее время направлены в основном на проблемы экологии и придонной океанологии шельфа. Опыт специалистов в области изучения шельфовой зоны внутренних морей и Мирового океана показывает, что придонные исследования без использования водолазных методов неполноценны. Остаются нерешенными задачи, выходящие за возможности подводных аппаратов и роботов, требующие экспериментов под водой, прецизионного отбора образцов и проб, подсчета их водолазами-исследователями на месте. Использование водолазных методов при обследовании доступной человеку придон-

ной области океана позволит изучить состояние дна и процессы, происходящие на границе вода—дно, так как именно в этом придонном слое в значительной степени формируется экологическая обстановка данной области шельфа.

Кроме того, при подводных, и особенно придонных, исследованиях требуется установка по заданному месту донных научных приборов, различных устройств, в частности седиментационных ловушек, требующих контроля работы на течениях, обследование целостности и безопасности установленных и затонувших объектов, подводная фото- и видеосъемка и другие работы.

Очевидно, что водолазные методы научной работы наиболее эффективны при подводных биологических и химических исследованиях. Это связано с тем, что вынос на поверхность различных проб, образцов и живых организмов с глубины даже с помощью специальных устройств приводит к их биохимической и физико-химической трансформации. При подъеме проб и живых организмов для изучения их на поверхности изменяется давление, температура и другие физические параметры водной среды, что приводит к неизбежным сдвигам в их структуре вплоть до тканевых повреждений. Поэтому научные исследования донных объектов в идеале должны выполняться на месте с помощью специальной подводной аппаратуры обученным водолазом или ученым, имеющим профессиональную водолазную подготовку и опыт работы под водой [11, 12].

Актуальность использования и развития водолазных методов изучения океана представляется очевидной, так как при этом решается более широкий спектр научных задач, повышается методический уровень, эффективность и качество океанологических исследований.

В данной статье рассматриваются технологии, методы и методики водолазных погружений, которые по результатам сравнительной апробации пригодны для практического использования, поскольку эффективны при проведении подводных исследований.

При водолазных спусках и работах использовались методы изучения эффективности и пригодности: сравнительная апробация и оценка методик водолазных спусков на акваториях Черного моря на средние (до 60 м) глубины, анализ и оценка технологий и методик погружений по опросам и результатам выполнения заданий под водой. При спусках использовались автономные водолазные дыхательные аппараты (SCUBA) с открытым и замкнутым циклом дыхания. Водолазные спуски проводились под руководством и при участии водолазного специалиста С.В. Черкашина.

Современные технологии водолазных погружений базируются на двух методах: кратковре-

менного погружения (КП) и длительного пребывания (ДП) под повышенным давлением. Они различаются тем, что при КП ткани организма частично насыщаются инертным газом, поэтому время декомпрессии зависит от времени пребывания на данной глубине. При ДП происходит полное насыщение тканей организма инертным газом. При этом время декомпрессии не зависит от длительности пребывания при данном повышенном давлении. Эти методы основаны на физиологических принципах построения методики спуска на глубину (компрессия), работы на грунте (работоспособность) и выхода на поверхность (декомпрессия) [11]. От их строгого соблюдения зависит безопасность всего цикла погружения.

Следует отметить, что в настоящее время метод ДП в мировой научно-исследовательской практике почти не используется по причине высокой стоимости организации и обеспечения длительного пребывания под повышенным давлением в барокамерах судового водолазного комплекса и научной работы под водой, хотя его эффективность признается самой высокой.

Метод КП для погружений в научных целях приобретает большое значение благодаря развитию и внедрению высокотехнологичного и надежного водолазного снаряжения (дыхательные аппараты), которое перспективно для использования при проведении подводных исследований даже, при определенных условиях, самими океанологами. В настоящее время можно выделить три основных типа водолазного снаряжения, независимо от целей их использования, которые преобладают в отечественной практике водолазных спусков и работ на средних и частично на больших глубинах:

- дыхательные аппараты с открытым циклом дыхания (OCR) сжатым воздухом и газовыми смесями для спусков на глубины до 60 м;

- дыхательные аппараты разных модификаций с замкнутым циклом дыхания (CCR) газовыми смесями для спусков в автономном режиме на глубины приблизительно до 100 м;

- вентилируемое воздухом шланговое снаряжение (гидрокомбинезон со шлемом) для спусков на глубины до 60 м.

Шланговые типы снаряжения, включая шланговые дыхательные аппараты, не пользуются популярностью при спусках в научных целях, потому что они лишают водолаза мобильности под водой, что важно при проведении исследований. Аппараты с открытым циклом дыхания (OCR) сжатым воздухом являются объектом лишь сравнительного анализа, но не отдельных исследований. Это классическое снаряжение, прошедшее всестороннюю проверку на протяжении десятилетий, которое до сих пор успешно применяется при решении многих задач, в том числе научных,

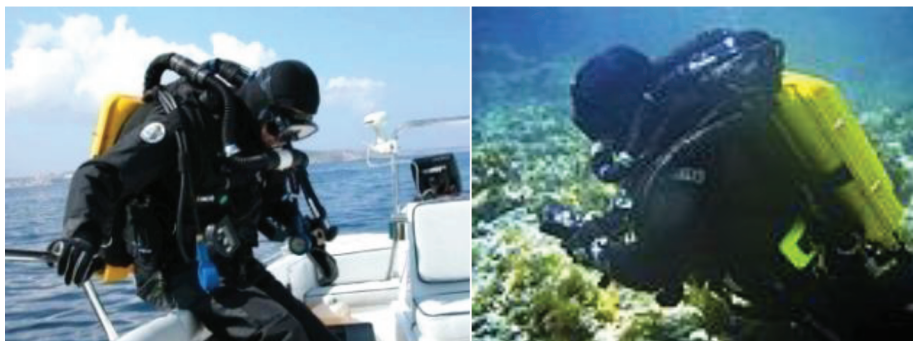


Рис. 1. Водолаз перед спуском в автономном режиме (слева) и работа на грунте (справа) (фото из архива С.В. Черкашина).

на небольших глубинах и при ограниченном времени работы под водой. Погружения на большие глубины (свыше 60 м) с использованием аппаратов с открытым циклом дыхания непрактичны в связи с большим расходом дыхательных газовых смесей (ДГС) и необходимостью нести дополнительные баллоны с дыхательными смесями, поэтому такие спуски в научных целях неперспективны.

Из современных систем с замкнутым циклом дыхания наибольший интерес представляют так называемые “смесевые” аппараты с электронной регулировкой состава дыхательной смеси и поддержанием постоянного уровня парциального давления кислорода (PO_2) независимо от глубины. Результаты водолазных спусков в автономном режиме с использованием таких аппаратов (рис. 1) показали, что эта методика является наиболее эффективной, экономичной и относительно безопасной при океанологических исследованиях.

Это новая и прогрессивная методика погружений в научных целях, которую можно считать и технологией, позволяющей водолазу при использовании дыхательных смесей работать и в зоне глубоководных спусков, то есть на глубинах свыше 60 м по российской градации глубин. При выполнении специальных требований безопасности и наличии опыта работы такие аппараты позволяют работать на глубинах до 100 и более метров, но при этом время пребывания на грунте сильно ограничивается необходимостью длительной декомпрессии в воде, поэтому эффективность таких спусков невелика [9]. Однако в пределах средних глубин эта методика эффективна, имеет большие преимущества по сравнению с традиционными спусками, поскольку обеспечивает выполнение как научных, так и производственных, и поисково-спасательных задач, включая специальные, направленные на решение под водой конфиденциальных заданий [8, 10].

К основным организационным и экономическим преимуществам автономного метода можно отнести следующие:

- высокая автономность и мобильность;
- возможность работы практически с любых плавсредств, а также с берега и из подводных носителей с системами выхода в воду типа “Lock Out”;
- низкий расход газов на одну заправку аппарата, достаточную для 3 ч дыхания под водой;
- сравнительно невысокая стоимость спусков и работ в пределах средних глубин по сравнению с работами, проводимыми традиционными методами КП.

Основной целью применения данного метода кратковременного погружения в автономном режиме (КПАР) является повышение эффективности подводных исследований на грунте. В этой связи “смесевые аппараты” с замкнутым циклом дыхания (ребризер) и электронной регулировкой состава дыхательной смеси наилучшим образом подходят для решения научных задач под водой. Это наиболее технически совершенные аппараты. Из них наиболее хорошо зарекомендовали себя представленные на российском рынке аппараты “Inspiration” и “Evolution” (AP Diving-Великобритания), а также отечественные, из которых следует выделить новый аппарат компании AV Underwater Technologies “Бриз” (CCR BRIZ). За счет современной электроники в таких аппаратах повышаются их функциональные возможности. Это обеспечивает оперативное управление параметрами ребризера, такими, например, как выбор установочного давления и поддержание постоянного значения PO_2 на глубинах, автоматическое переключение его на заданном горизонте глубины, текущий расчет декомпрессионного режима в реальном времени, тревожные сигналы о превышении величин безопасных параметров и другие. В таких аппаратах для формирования ДГС в качестве разбавителя (дилюента) смеси на средних глубинах обычно используется воздух, на боль-

ших глубинах — смеси на основе азота и гелия (тримикс) или на основе гелия (гелиокс) в заданных соотношениях в зависимости от глубины.

Внедрение этой технологии, основанной на принципе возвратного дыхания (rebreathing), позволяет решать многие необходимые при подводных исследованиях задачи. Многофункциональность “смесевых аппаратов” при определенных условиях обеспечивает:

- увеличение времени работы на глубине (до 3–4 ч на одной заправке смесью независимо от глубины);
- расширение диапазона рабочих глубин;
- применение и смена различных по составу дыхательных газовых смесей (ДГС) в процессе спуска — главное достоинство метода и аппарата;
- минимизацию времени декомпрессии;
- повышение уровня комфортности дыхания водолаза (в результате химической реакции в патроне поглотителя CO_2 газовая смесь поступает на дыхание подогретой и увлажненной).

Для внедрения этой технологии в исследовательскую практику при водолазных спусках необходимо:

- освоение надежных компьютерных программ расчета режима погружений, в том числе расчета режима декомпрессии с учетом состава используемых ДГС;
- развитие системы подготовки и обучения водолазов, включая категорию научных сотрудников.

Наиболее сложной проблемой при внедрении данной методики является декомпрессия. Без ее решения водолазные спуски небезопасны. Эта проблема заключается в том, что существующие для традиционных спусков декомпрессионные таблицы рассчитаны на дыхание какой-либо одной смесью (воздухом или кислородно-азотной смесью) и не учитывают возможность переключения на дыхание различными дыхательными смесями в период всего цикла спуск—подъем водолаза на поверхность. Но компьютерные программы расчета режимов декомпрессии позволяют использовать преимущества применения различных смесей, их эффективную смену, тем самым минимизируя декомпрессионные и другие расстройства физиологического характера.

Для повышения эффективности и безопасности водолазных спусков на средние и большие глубины методом КПАР возникает необходимость использовать разные по составу ДГС на различных глубинах. Это жестко связано с необходимостью поддержания в безопасных пределах уровня PO_2 ($1.4\text{--}1.6\text{ кгс/см}^2$) и азота ($4\text{--}5\text{ кгс/см}^2$). В зависимости от диапазона рабочих глубин при данном погружении для оптимизации общего режима спуска могут использоваться до 4-х и более

смесей: чистый кислород, воздух, различные азотно-кислородные (АКС — Nitrox), гелио-кислородные (ГКС — Heliox), гелио-азотно-кислородные (ГАКС — Trimix) и гелио-воздушные смеси (ГВС — HeliAir).

При спусках в автономном режиме вся декомпрессия обычно проходит в воде, то есть без выхода на поверхность, поэтому общая продолжительность пребывания под водой является одним из лимитирующих погружение факторов. Для сокращения времени декомпрессионных остановок смена ДГС производится чаще, чем при обычных спусках методом КП. Это положительно влияет на легочный газообмен, что уменьшает возможность появления декомпрессионных расстройств у водолаза.

Современные аппараты, работающие по замкнутой схеме дыхания, имеют высокий уровень надежности, поэтому они особенно перспективны для водолазов-исследователей, что прямо связано с их безопасностью. Мировой опыт эффективного использования таких аппаратов позволяет признать преимущества замкнутых (рециркуляционных) систем (CCR) перед аппаратами с открытой схемой дыхания (OCR) при погружениях в научных целях.

Ярким примером эффективности “смесевых” аппарата с замкнутым циклом дыхания является примерно двукратное увеличение времени пребывания под водой на средних глубинах, после которого отпадает необходимость проведения ступенчатой декомпрессии. Это происходит за счет оптимизации под водой состава дыхательной смеси.

Еще больший эффект наблюдается относительно времени декомпрессии, которое снижается более, чем в два раза после пребывания на глубинах примерно до 50 м по сравнению с дыханием из аппарата с открытым циклом дыхания сжатым воздухом.

Немаловажным является расход ДГС при использовании ребризера. При дыхании под водой на постоянной глубине расхода смеси на всех рабочих глубинах нет, потому что дыхательный контур замкнут, выброса выдыхаемой смеси в воду нет. Инертный газ (азот, гелий) при дыхании не расходуется, а потребляемый организмом кислород пополняется из штатного баллона.

Таким образом, апробация методики спусков в автономном режиме (рис. 2) убеждает в ее высокой эффективности при использовании “смесевых” аппаратов с замкнутым циклом дыхания во всем диапазоне доступных научному водолазу глубин и подводных исследований. Особенно это проявляется в диапазоне средних (30–60 м) глубин.

Высокая автономность и отсутствие необходимости обеспечения с поверхности делают данный метод максимально мобильным, экономически и

научно более эффективным в широком спектре подводных работ, носящих эпизодический характер, что характерно для океанологических исследований. Отсутствие газовых пузырей при выдохе и тишина при дыхании под водой являются большим плюсом при исследованиях с использованием метода наблюдения за подводной фауной.

Специфика погружений в автономном режиме предъявляет особые требования к подготовке водолазов-исследователей. Следует признать, что в настоящее время технология и методика водолазных погружений в научных целях методом КПАР еще недостаточно отработаны. Отсутствует нормативная и регламентирующая документация на выполнение спусков и исследовательских работ на грунте. Основными принципами организации и проведения спусков являются пока водолазный опыт, исследовательские навыки работы под водой и личная ответственность водолаза за безопасность проведения спуска. Но этим не ограничиваются сложности, связанные с использованием “смесевых” аппаратов с замкнутым циклом дыхания. Дело в том, что при спусках с такими аппаратами декомпрессия, как было отмечено выше, осуществляется в соответствии с расчетными режимами декомпрессии с помощью подводного компьютера, а не по стандартным таблицам. Такая особенность спусков на данном этапе развития методики требует контроля под водой состояния водолаза-исследователя, особенно из числа научных работников, что по своему значению превосходит его личную ответственность.

Более простой, но не менее эффективной технологией выполнения водолазных работ в автономном режиме является использование в дыхательном аппарате вместо сжатого воздуха обогащенных кислородом дыхательных смесей. Содержание кислорода в смеси выбирается в зависимости от глубины погружения.

Эти смеси могут быть кислородно-азотными (КАС), воздушно-гелиевыми (ВГС) и кислородно-азотно-гелиевыми (КАГС).

Дыхательные смеси на основе гелия и азота, особенно КАГС, являются более сложными в приготовлении. Кроме того, стоимость гелия и дыхательного аппарата для гелийсодержащих смесей существенно ограничивают их практическое использование, хотя такие смеси более комфортны для дыхания и позволяют водолазу работать на больших глубинах. Поэтому на данном этапе разработки технологии водолазных спусков в научных целях целесообразно ограничиться спусками с использованием кислородно-азотных смесей с содержанием кислорода до 40%.

Главный принцип обеспечения большей эффективности водолазных спусков с использованием КАС заключается в повышении (относительно воздуха) содержания кислорода в ДГС в

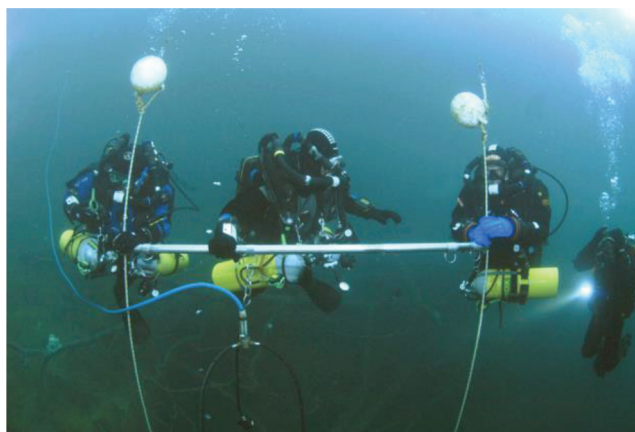


Рис. 2. Водолазы на декомпрессионной остановке после спуска в автономном режиме (фото из архива С.В. Черкашина).

пределах нетоксичной зоны (с учетом продолжительности дыхания на глубине) и снижении за счет этого содержания азота.

Использование на практике КАС существенно повышает эффективность водолазных спусков и научно-исследовательских работ на малых (до 12 м) и средних (по крайней мере до 45 м) глубинах. Такие смеси имеют явные преимущества по сравнению со сжатым воздухом. Это выражается в увеличении глубины и длительности научной работы под водой без проведения декомпрессии. Например, декомпрессия после 35 мин работы под водой при дыхании воздухом на глубине 35 м составляет 43 мин, а при дыхании КАС с 40% содержанием кислорода — 3 мин (время выхода на поверхность) [3]. При такой технологии уменьшается насыщение организма азотом в связи с его меньшим содержанием в дыхательной смеси и поэтому сокращается время декомпрессии. Дело в том, что при дыхании обогащенной кислородом смесью на глубине эквивалентная расчетная “воздушная” глубина условно уменьшается за счет снижения содержания азота, поэтому и время декомпрессии с этой глубины сокращается. Декомпрессия после спуска на глубину 35 м и работы на грунте в течение 90 мин при дыхании сжатым воздухом составляет 2 ч 42 мин, а при дыхании КАС с 40% содержанием кислорода время декомпрессии сокращается до 1 ч 05 мин, то есть более чем в два раза. Важно, что при дыхании гипероксической смесью минимизируется, а на малых глубинах не проявляется азотный наркоз за счет снижения содержания азота в дыхательной КАС. И главное — поддерживается физическая работоспособность под водой за счет повышенного содержания кислорода в дыхательной смеси. Такая эффективность дыхания под водой кислородно-азотными смесями является примером

удачного использования физиологических принципов построения этой технологии [13].

При использовании КАС в любом случае количество растворенного в тканях азота будет меньше, чем при дыхании воздухом, что снижает риск возникновения декомпрессионного заболевания.

При работе на глубинах до 30 м продолжительностью до 45 мин дыхание 40% КАС исключает необходимость проведения ступенчатой декомпрессии. При уменьшении времени работы на грунте бездекомпрессионная глубина может быть увеличена до 45 м. И по времени, и по глубине этого вполне достаточно для выполнения многих задач при океанологических исследованиях. Надо отметить, что данная технология по техническому аспекту принципиально отличается от выше рассмотренной. Конструктивно дыхательные аппараты не имеют почти ничего общего, но эффективность каждой из этих технологий примерно одинаково высока. Но готовность технологии с использованием КАС к внедрению в практику океанологических исследований находится лишь на начальном этапе. Отсутствует нормативная документация по охране труда при проведении подводных исследований, нет специальных дыхательных аппаратов для использования их с кислородно-азотными смесями, не решены проблемы приготовления и контроля смесей в баллонах аппарата, не апробированы, хотя и рассчитаны, режимы декомпрессии после работ под водой в зависимости от содержания кислорода в ДГС. Несмотря на высокую эффективность этой технологии, она требует повышенного контроля состояния водолаза под водой, что связано с риском развития токсического действия кислорода на организм [4, 6]. Кроме того, реализация данной технологии связана и с высоким уровнем требований по безопасности работ с применением и приготовлением КАС.

Для развития и внедрения этой технологии большое значение имеет разработка физиологических и технических требований к организации спусков и работе научного водолаза под водой. Важна и разработка новых дыхательных смесей для повышения безопасности и эффективности выполнения научных задач под водой, а также разработка специальных водолазных дыхательных аппаратов и подводных компьютеров (декомпрессиметров) для работы с использованием КАС и других технических средств обеспечения водолазных спусков.

Таким образом, результаты сравнительной апробации и анализа научной эффективности водолазных погружений в автономном режиме показали, что технология и методика с использованием аппаратов с замкнутым циклом дыхания типа “ребризер” пригодна, эффективна и перспективна для использования при океанологических

исследованиях *in situ*. “Смесевые” аппараты замкнутого типа эффективны во всем диапазоне рабочих глубин вплоть до 100 м. Но на больших глубинах допустимо работать только профессиональным водолазам.

Технология водолазных погружений в автономном режиме с использованием для дыхания КАС также пригодна, эффективна и перспективна для использования при океанологических исследованиях. В некоторых аспектах эта технология может быть даже более эффективной, чем с использованием аппаратов с замкнутым циклом дыхания, потому что в определенном диапазоне глубин и времени работы под водой исключается или минимизируется режим декомпрессии, так как уменьшается насыщение организма азотом в связи с его меньшим содержанием в дыхательной смеси. Кроме того, ослабляется азотный наркоз за счет снижения содержания азота в дыхательной КАС. И что особенно важно – поддерживается физическая работоспособность под водой за счет повышенного содержания кислорода в дыхательной смеси. Однако перспектива внедрения данной технологии не столь близка для использования в исследовательской практике в связи с наличием некоторых вышеотмеченных нерешенных проблем.

Для внедрения водолазных методов в практику океанологических исследований целесообразно создать мобильную водолазную группу и оснастить ее современными дыхательными аппаратами, позволяющими использовать преимущество дыхания под водой различными газовыми смесями, а также другим снаряжением и оборудованием, обеспечивающим погружения в научных целях. Глубину для водолазов из числа научных сотрудников независимо от рассмотренных технологий погружений целесообразно ограничивать в зависимости от квалификации, опыта, условий и задач погружений 30–40 м, без смены ДГС и предпочтительно бездекомпрессионными режимами.

Условия спуска, специфика донного рельефа, особенности природных факторов водной среды в различных регионах океана предполагают разные технические и методологические подходы к организации и проведению подводных исследований. Это влечет за собой необходимость, помимо базовой подготовки водолазов, их обучение по различным исследовательским специализациям, что обеспечило бы проведение научных работ по морской биологии, геологии, физике и другим направлениям.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН, тема № 0149-2019-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов Н.А. Визуально. М.: Наука, 2006. 172 с.
2. Гуляр С.А., Шапаренко Б.А., Киклевич Ю.Н. и др. Организм человека и подводная среда. Киев: Здоров'я, 1977. 183 с.
3. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. М.: ЦРИА Морфлот, 1980. 184 с.
4. Жиронкин А.Г. Кислород. Физиологическое и токсическое действие. Л.: Наука, 1972. 172 с.
5. Зальцман Г.Л., Кучук Г.А., Гургенидзе А.Г. Основы гипербарической физиологии. Л.: Медицина, 1979. 319 с.
6. Кларк Дж. М. Токсическое действие кислорода // Медицинские проблемы подводных погружений / Под ред. Беннетта П.Б. и Эллиотта Д.Г. М.: Медицина, 1988. С. 190–246.
7. Куренков Г.И., Яхонтов Б.О., Сыровегин А.В. и др. Действие гипербарической среды на организм человека и животных // Проблемы космической биологии / Под ред. Черниговского В.Н. М.: Наука, 1980. Т. 39. 259 с.
8. Черкашин С.В. Вопросы внедрения метода глубоководных погружений в автономном режиме в практику отечественных водолазных работ // Морские испытания. 2008. № 2. С. 4–14.
9. Черкашин С.В. Глубоководные водолазные спуски методом кратковременных погружений // Наука и транспорт. 2011. Спец. вып. С. 36–39.
10. Черкашин С.В. Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом “Оружие и технологии”, 2011. С. 518–527.
11. Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А. Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 167–171.
12. Яхонтов Б.О. Оценка эффективности водолазных технологий изучения океана // Международный журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10 (часть 1). С. 111–115.
13. Яхонтов Б.О. Физиологические принципы построения технологий водолазных погружений // Международный журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 12 (часть 1). С. 132–136.

Diving Methods of Oceanologic Research

B. O. Yakhontov[#]*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*[#]*e-mail: giper28@ocean.ru*

The article discusses advanced technologies, methods and techniques of diving, which, according to the results of comparative testing, are most suitable for use in the practice of Oceanological research in situ by scientific divers, including the oceanologists themselves, who have professional diving training. At the same time, a wider range of scientific tasks is being solved, and the methodical level, efficiency, and quality of ocean research are being improved. For diving for scientific purposes, the most suitable method is short-term autonomous dives using breathing apparatus with a closed cycle of breathing gas mixtures with electronic adjustment of the composition of mixtures and diving technology using oxygen-nitrogen mixtures for breathing. These technologies can be a priority for further development and implementation in the practice of ocean research.

Keywords: diving research methods, methods of diving descents, autonomous dives, breathing apparatus, breathing mixtures, efficiency of diving technologies