

УДК 551.46.073:626.02

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОЛАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА

Яхонтов Б.О.*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: giper28@ocean.ru*

Представлен анализ проблемы подводных океанологических исследований с использованием водолазных технологий. Дается обоснование эффективности использования водолазных спусков для выполнения научных исследований на дне. Обсуждается эффективность методов и методик водолазных погружений в научных целях с использованием различных типов водолазного снаряжения. По результатам сравнительной апробации снаряжения делается вывод, что для океанологических исследований наиболее эффективной, безопасной и экономичной является методика спусков в автономном режиме с применением современных дыхательных аппаратов с замкнутым циклом дыхания и электронной регулировкой состава дыхательной газовой смеси. Эта методика позволяет расширить диапазон рабочих глубин, увеличить время работы под водой и оптимизировать режимы декомпрессии.

Ключевые слова: океанологические исследования, эффективность водолазных технологий, методика погружений, водолазный дыхательный аппарат, автономный режим погружений, декомпрессия

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DIVING TECHNOLOGY OCEAN RESEARCH

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

The analysis of the problem of underwater oceanological research using diving technologies is presented. The substantiation of efficiency of use of diving for performing scientific researches at the bottom is given. The effectiveness of methods and techniques of diving for scientific purposes with the use of various types of diving equipment is discussed. According to the results of the comparative testing of equipment, it is concluded that for oceanographic studies the most effective, safe and economical method is the method of descents in the autonomous mode with the use of modern breathing apparatus with a closed breathing cycle and electronic adjustment of the composition of the respiratory gas mixture. This technique allows to extend the range of operating depths, increase the time of underwater works and to optimize the decompression modes.

Keywords: oceanographic research, the efficiency of diving technology, the technique of diving, diving breathing apparatus, autonomous mode of diving, decompression

При современном уровне развития технологий некоторые виды подводно-технических работ могут эффективно выполняться машинами (роботами), но научно-исследовательские работы под водой без участия в них человека (водолаза) вряд ли могут быть высокорезультативными. Человек всегда был и остается основным звеном научно-исследовательского процесса, и ему должен быть доступен подводный объект исследования. Но для глубин в несколько сотен метров это пока не менее сложная проблема, чем практическое освоение таких глубин.

Главным ограничением использования водолазных методов является глубина погружения, что связано с физиологическими возможностями организма, так как водолаз под водой или в барокамере находится под постоянным воздействием повышенного давления и измененной дыхательной газовой среды, что приводит к выраженным сдвигам в системах организма [2–4]. Решение этих проблем требует усилий крупных научных коллективов и больших материальных затрат. Однако перспектива освоения

ресурсов океана оправдывает эти затраты и стимулирует подводные исследования и развитие технологий погружения человека на различные глубины.

Мировой опыт изучения глубин континентального шельфа показывает, что при подводных, и особенно придонных, исследованиях требуется выполнение многих работ с участием водолазов [10]:

- установка, обслуживание и демонтаж исследовательских буйев, донных приборов и станций, седиментационных ловушек и других устройств;

- выполнение ручных экспериментов, исследований и измерений *in situ* с применением специальных научных приборов и аппаратов;

- сбор водолазами различных донных геологических и биологических образцов;

- наблюдение и подсчет представителей донной фауны, отлов придонного планктона специальными ловушками;

- обследование целостности и безопасности установленных и затонувших подводных объектов, подводная фото- и видеосъемка и другие работы.

Априори можно считать, что водолазные методы и технологии наиболее эффективны при подводных биологических и химических исследованиях. Это связано с тем, что вынос на поверхность различных проб, образцов и живых организмов с глубины с помощью специальных устройств приводит к их биохимической и физико-химической трансформации. При подъеме проб и организмов для изучения их на поверхности изменяется давление, температура и другие физические параметры водной среды. Это приводит к «декомпрессионным расстройством» у этих объектов и неизбежным сдвигам, особенно в системах организма, по некоторой аналогии с последствиями неадекватного режима декомпрессии водолаза [10]. Поэтому научные исследования донных объектов в идеале должны выполняться на месте (*in situ*) с помощью специальной аппаратуры, адаптированной к работе на глубине, обученным водолазом или ученым, имеющим профессиональную водолазную подготовку и опыт работы под водой.

Водолазные спуски в зависимости от целей и задач подводных работ могут осуществляться двумя методами. Традиционный метод кратковременных погружений (КП), при котором ткани организма насыщаются инертным газом частично. При этом продолжительность декомпрессии (выхода на поверхность) зависит от времени пребывания при данном повышенном давлении на глубине. Метод длительного пребывания (ДП) под повышенным давлением, при котором происходит полное насыщение тканей организма инертным газом (азотом, гелием) в зависимости от его парциального давления в дыхательной среде. При этом время декомпрессии не зависит от длительности пребывания при данном повышенном давлении, но во много раз превышает время декомпрессии по сравнению с методом КП [10]. Однако это компенсируется эффективностью метода ДП, поскольку полезное время пребывания в условиях повышенного давления и работы под водой также значительно превышает время декомпрессии.

Эти два базовых метода основаны на физиологических принципах построения методики спуска, работы на грунте и выхода на поверхность. Они отличаются друг от друга по многим параметрам: временным, глубинным, физиологическим, техническим, технологическим, экономическим. Единственное что объединяет эти методы – действие на водолаза опасных и вредных факторов гипербарической газовой и водной среды, что вызывает приспособительные, или компенсаторные, реакции

организма, а при исчерпании компенсаторных возможностей – патологические реакции [5]. Естественно, что последнее связано с уровнем и/или длительностью действия вредных факторов, поэтому метод ДП требует более ответственного отношения к построению систем медицинского контроля и обеспечения безопасности водолазов. Кроме этого, метод ДП по понятным причинам является финансово более затратным, что сильно ограничивает его применение для научных исследований под водой.

Естественно, что при отсутствии возможности использовать наиболее эффективный, но более дорогой, метод длительного пребывания (до месяца) в условиях повышенного давления может рассматриваться только метод кратковременных погружений с техническими и методическими разновидностями.

Метод КП в научных целях может реализовываться в основном использованием водолазного снаряжения трех типов:

- дыхательные аппараты с открытым циклом дыхания сжатым воздухом (акваланг – выдох в воду) в автономном и шланговом вариантах – рабочие глубины до 60 метров;

- дыхательные аппараты с замкнутым циклом дыхания газовыми смесями, обеспечивающие спуски в автономном режиме на глубины до 100 и более метров;

- вентилируемое воздухом шланговое снаряжение (гидрокомбинезон со шлемом) – рабочие глубины до 60 метров.

Дыхательные аппараты с полузамкнутым циклом дыхания газовыми смесями относятся к шланговому типу снаряжения (подача смеси с поверхности на аппарат по шлангу), используются в основном для спусков на большие (до 200 и более метров) глубины и по ряду причин вряд ли могут быть приемлемыми при океанологических исследованиях.

Из этих типов снаряжения следует выделить как наименее эффективные шланговые типы и варианты, поскольку они лишают водолаза мобильности, подвижности и концентрации внимания на научной работе, что требуется при проведении исследований. Они используются в основном профессиональными коммерческими водолазами (особенно вентилируемое снаряжение) и научными водолазами лишь при некоторых подводных работах, не требующих большой мобильности.

Выбор наиболее эффективных и безопасных методов и методик водолазных спусков при океанологических исследованиях в значительной степени зависит от планируемых работ на дне. Современные

исследовательские технологии и методы водолазных спусков обеспечивают высокую эффективность научных изысканий, по крайней мере в диапазоне глубин континентального шельфа, где стекаются и научные, и экономические интересы страны. Не случайно океанологи уделяют наибольшее внимание решению актуальных проблем физики, геологии и биологии океана именно в шельфовой зоне [1].

Актуальность развития водолазных технологий изучения океана определяет **цель данной работы** – дать оценку эффективности использования водолазных методов и технологий для подводных океанологических исследований. При этом использовались **методы исследования**: сравнительная оценка методик водолазных спусков на морских акваториях на средние (до 60 метров) глубины с использованием автономных подводных дыхательных аппаратов (SCUBA) с открытым циклом дыхания (OCR – акваланг) и с замкнутым циклом дыхания (CCR – ребризер), анализ и оценка эффективности погружений по опросам и результатам выполнения заданий под водой. Водолазные спуски с последующим анализом результатов проводились под руководством и при участии водолазного специалиста Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН С.В. Черкашина.

Результаты сравнительной оценки методик водолазных спусков показали, что для подводных исследований наиболее эффективной, безопасной и экономичной является методика погружений в автономном режиме с применением дыхательных аппаратов с замкнутым циклом дыхания и электронной регулировкой состава дыхательной газовой смеси (рисунок). Это развивающаяся, и для научных исследований прогрессивная, методика кратковременных погружений, позволяющая водолазу работать не

только на средних глубинах, но и в зоне глубоководных спусков, то есть свыше 60-ти метров [6, 7].

Водолазные спуски в автономном режиме с использованием ребризеров позволяют решать многие задачи как научного, так и прикладного характера. Прогресс в развитии таких дыхательных аппаратов и методики погружений позволяет увеличить глубины спусков до 100 и более метров, но из-за кратковременного пребывания на глубине во избежание последующей длительной декомпрессии в воде их эффективность для подводно-технических работ ограничена [8]. Однако, как показали результаты работы водолазов на дне, такие аппараты незаменимы для использования при спусках в научных целях.

К основным преимуществам автономного метода, которые рассматриваются и как критерии оценки его эффективности, относятся:

- высокая мобильность водолаза, автономность и надежность аппарата;
- низкий расход газов, включая дорогостоящий гелий, за счет замкнутого цикла дыхания (экономичность);
- дыхание подогретой и увлажненной газовой смесью (комфортность дыхания);
- поддержание оптимального состава дыхательной газовой смеси и постоянного уровня парциального давления кислорода независимо от глубины;
- оптимизация режимов декомпрессии (сокращение времени и безопасность);
- значительно больший диапазон рабочих глубин;
- отсутствие выдыхаемых в воду газовых пузырей.

Принципиальным отличием данной методики спусков от других является расчет режимов декомпрессии с учетом реальных условий и параметров спуска с помощью подводного компьютера.



Подготовка водолаза (слева) к спуску в автономном режиме с использованием дыхательного аппарата с замкнутым циклом дыхания и работа на дне (фото из архива С.В. Черкашина)

Положительные оценки данной методики дают основание утверждать, что она может стать основной при погружениях в научных целях. Высокая эффективность, экономичность и относительная безопасность современных «смесевых дыхательных аппаратов» с замкнутым циклом дыхания позволяют считать их перспективными для кратковременных спусков, что приемлемо для океанологических исследований. При испытаниях методики эти аппараты показали высокую эффективность во всем диапазоне рабочих глубин. Наибольшая эффективность проявляется при переключении на дыхание смесью на основе гелия [7], что обусловлено снижением плотности смеси и облегчением дыхания, а также минимизацией или снятием азотного наркоза на глубине (в зависимости от величины заменяемой фракции азота). Эти эффекты положительно отражаются на работоспособности водолаза.

Сравнительный анализ водолазных технологий и обобщение международного опыта в этой области показывают, что при прочих равных условиях наиболее приемлемыми являются те, которые обеспечивают большую безопасность и научную эффективность при работе под водой. Это главные критерии оценки любых методов и технологий водолазных спусков. Безопасность научной работы под водой обеспечивается не только соблюдением правил спусков и техническими средствами (водолазное снаряжение, оборудование), но и квалификацией водолаза. Проблема состоит в разнице уровней квалификации профессионального водолаза и водолаза-исследователя, ученого. Естественно, что во втором случае риск при работе под водой существенно выше, что нередко затрудняет выбор исполнителя исследовательской работы под водой. Приемлемой альтернативой является профессиональная подготовка водолазов по крайней мере начальной квалификации из числа научных работников, прошедших медицинский отбор и обучение в соответствии с установленным порядком. Но при этом решается проблема исследовательской работы под водой лишь на малых и средних глубинах методом кратковременных погружений.

Несмотря на явные преимущества методики спусков в автономном режиме с использованием аппаратов с замкнутым циклом дыхания, стоимость комплекта снаряжения весьма высока, хотя это компенсируется эффективностью выполнения подводных научных работ. Однако эффективность погружений в автономном режиме, как и в целом метода КП, снижается при

спусках на глубины свыше примерно 100 м, так как время декомпрессии возрастает до неприемлемых величин, и КПД такого спуска становится низким. В этом случае альтернативой является переход на метод длительного пребывания под повышенным давлением.

Метод ДП в морских условиях реализуется использованием судовых водолазных комплексов, в барокамерах которых по фактору давления имитируются глубины. Находясь в условиях полного насыщения тканей организма инертным газом, водолаз может практически в любое время выходить в воду для работы из жилой барокамеры водолазного комплекса, используя водолазный колокол, и возвращаться на место без декомпрессии, потому что давление при этом не изменяется. Декомпрессия проводится один раз по завершении всех работ под водой [9, 10].

Существующие режимы компрессии, декомпрессии, труда и отдыха позволяют водолазам работать под водой на глубинах континентального шельфа ежедневно по 4–6 часов с общей длительностью пребывания под повышенным давлением в жилой барокамере порядка месяца. При работе в таком режиме научная и производственная эффективность этого метода намного выше эффективности метода КП. Преимущество метода ДП состоит и в том, что с помощью этого метода могут выполняться погружения на глубины, значительно превышающие возможности метода КП. Однако использование метода ДП только с целью выполнения океанологических исследований на глубинах пока не представляется возможным из-за высокой стоимости организации и обеспечения водолазных спусков и работ, поэтому на данном этапе он может рассматриваться лишь для использования в составе комплексных исследований, в том числе океанологических, с участием водолазов.

Заключение

Для проведения подводных океанологических исследований наиболее приемлемыми являются водолазные спуски в автономном режиме с использованием дыхательных аппаратов с открытым циклом дыхания сжатым воздухом (акваланг) и с замкнутым циклом дыхания (ребризер). Первая методика – наиболее доступная и мало затратная, но имеет ограничения, связанные с техническими характеристиками воздушно-баллонных аппаратов. Вторая – менее доступная и финансово более затратная, но по эффективности, надежности и безопасности является передовой. Кроме того, эта методика позволяет, по сравнению с аква-

лангом, расширить диапазон рабочих глубин, увеличить в допустимых пределах время работы под водой и оптимизировать режимы декомпрессии (включая сокращение времени с сохранением безопасности режимов) за счет электронной регулировки состава дыхательных газовых смесей, их смены во время пребывания под водой.

Основные преимущества автономного метода ставят его и методику спусков на первое место среди других. Водолазные спуски в автономном режиме с использованием «смесевых аппаратов» замкнутого цикла с компьютерным управлением параметрами спуска – это относительно новая методика водолазных погружений, позволяющая решать многие научные задачи под водой. Полная автономность аппарата, его надежность, компактность снаряжения и отсутствие необходимости обеспечения спуска с поверхности делают данный метод максимально мобильным и более безопасным.

Анализ развития и использования в мире технологий водолазных погружений показал, что в целом при освоении континентального шельфа, и вообще глубин океана, водолазные спуски в настоящее время проводятся методом ДП на глубины примерно до 300–400 метров. На меньших глубинах водолазные работы проводятся многими специализированными компаниями и на многих объектах разведки и разработки энергетических и минеральных ресурсов шельфа. Но это не означает, что все проблемы изучения и освоения глубин решены. Следует признать, что изучение шельфа и особенно его придонной зоны отстаёт от решения проблем погружения человека на различные глубины. В России человек дав-

но готов работать на глубинах по крайней мере до 300 метров в режиме длительного пребывания под повышенным давлением, но океанологические исследования *in situ*, которые имеют наибольшую научную ценность, почти не проводятся и на глубинах до 30 метров, хотя понятно, что континентальный шельф сначала должен являться объектом научного исследования, а потом объектом освоения. Это фундаментальный принцип методологии решения проблемы.

Список литературы

1. Айбулатов Н.А. Вижу дно. – М.: Наука, 2006. – 172 с.
2. Действие гипербарической среды на организм человека и животных / Г.И. Куренков, Б.О. Яхонтов, А.В. Сыроегин и др. – Вып.: Проблемы космической биологии [под ред. акад. В.Н. Черниговского]. – М.: Наука, 1980. – Т. 39. – 259 с.
3. Зальцман Г.Л., Кучук Г.А., Гургенидзе А.Г. Основы гипербарической физиологии. – Л.: Медицина, 1979. – 319 с.
4. Организм человека и подводная среда / Гуляр С.А., Шапаренко Б.А., Киклевич Ю.Н. и др. – Киев: Здоров'я, 1977. – 183 с.
5. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. – М.: Слово, 2004. – Т. 2. – 723 с.
6. Черкашин С.В. Вопросы внедрения метода глубоководных погружений в автономном режиме в практику отечественных водолазных работ // Морские испытания. – 2008. – № 2. – С. 4–14.
7. 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.
8. Черкашин С.В. Глубоководные водолазные спуски методом кратковременных погружений // Наука и транспорт. – 2011. – Спец. вып. 2011. – С. 36–39.
9. Яхонтов Б.О. Технологии глубоководных водолазных спусков // Нептун. Водолазный проект. – 2012. – № 4. – С. 24–31.
10. Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А. Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // Океанология. – 2016. – Т. 56, № 1. – С. 167–171.