

ВОДОЛАЗНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Яхонтов Б.О.

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

В статье рассматривается приоритетность использования водолазных методов и технических средств обеспечения подводных научных исследований. Для научных водолазов с начальной квалификацией «водолаз» приоритетными являются спуски методом кратковременных погружений с партнером. Метод насыщенных погружений, хотя и является более эффективным, особенно на больших глубинах, но наименее доступен в научной сфере, так как является финансово слишком затратным и, кроме того, связан с повышенными рисками и требует более высокой квалификации водолазов, поэтому его нельзя отнести к приоритетным для подводных исследований с участием научных водолазов. Рекомендуемый для научных водолазов диапазон глубины в пределах 30 м обусловлен тем, что на этой глубине при дыхании кислородно-азотной смесью с 40% содержанием кислорода времени работы на дне (до 45 мин) достаточно для выполнения исследовательских работ. При этом соблюдаются важные условия спусков: бездекомпрессионный (безостановочный) режим выхода на поверхность и допустимое значение PO_2 на уровне 1,6 кгс/см². При дыхании сжатым воздухом глубина 30 м лимитируется также и действием азотного наркоза, который у большинства малоопытных водолазов проявляется на этой глубине. Технической основой спусков методом кратковременных погружений являются автономные подводные дыхательные аппараты с открытой схемой дыхания сжатым воздухом и кислородно-азотными смесями, а также с замкнутой схемой дыхания газовыми смесями.

Ключевые слова: подводные научные исследования, методы водолазных спусков, декомпрессия, дыхательные аппараты, научный водолаз, дыхательные газовые смеси

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024–0026).

DIVING METHODS AND TECHNICAL MEANS PROVISION OF UNDERWATER SCIENTIFIC RESEARCH

Yakhontov B.O.

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

The article considers the priority of using diving methods and technical means to ensure underwater scientific research. For scientific divers with the initial qualification of “diver”, short-term diving with a partner is a priority. The saturated diving method, although more effective, especially at great depths, is the least accessible in the scientific field, as it is financially too costly and, moreover, is associated with increased risks and requires higher qualifications of divers, therefore it cannot be considered a priority for underwater research involving scientific divers. The recommended depth range for scientific divers is within 30 m due to the fact that at this depth, when breathing an oxygen-nitrogen mixture with 40% oxygen content, the working time at the bottom (up to 45 minutes) is sufficient to perform research work. At the same time, important conditions of descents are observed: a non-decompression (non-stop) mode of access to the surface and an acceptable value of PO_2 at the level of 1.6 kgf/cm². When breathing compressed air, the depth of 30 m is also limited by the effect of nitrogen narcosis, which is manifested in most inexperienced divers at this depth. The technical basis of short-term diving descents is autonomous underwater breathing apparatus with an open breathing scheme with compressed air and oxygen-nitrogen mixtures, as well as with a closed breathing scheme with gas mixtures.

Keywords: underwater scientific research, diving descent methods, scientific diver, decompression, breathing apparatus, breathing gas mixtures

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-2024–0026).

Все подводные научные исследования (фундаментальные, прикладные, поисковые) направлены на изучение и в перспективе на освоение океана. Из многих способов проведения подводных исследований к настоящему времени выделились три:

– с участием водолаза – человека, работающего в специальном снаряжении под водой в условиях воздействия на его организм гидростатического давления и дыхания измененной газовой средой;

– с участием гидронавта – человека, находящегося под водой в прочном корпу-

се подводного обитаемого аппарата (ПОА) и работающего в относительно нормальных условиях окружающего давления и дыхательной среды;

– с использованием подводных технических средств – телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА), автономных аппаратов, роботов.

Все эти способы более или менее развиваются в исследовательской практике в зависимости от доступности каждого.

Между водолазом и гидронавтом есть одно принципиальное отличие – работа во-

долаза строго лимитируется по глубине и времени работы под водой, работа гидронавта лимитируется только техническими характеристиками ПОО. Конечно, проведение подводных исследований с использованием водолазных методов более доступно по сравнению с подводными обитаемыми аппаратами, однако их вряд ли можно отнести к наиболее безопасным, хотя рабочие глубины водолаза малы по сравнению с подводными аппаратами. Но корректность результатов и в целом эффективность подводных научных исследований, проводимых водолазами, во многих случаях может быть выше выполняемых с помощью технических средств, потому что водолаз проводит исследования в прямом контакте с изучаемыми объектами. Человек всегда был и остается основным звеном научно-исследовательского процесса, ему должен быть доступен подводный объект для исследования [1]. Вероятно, должно быть разумное сочетание этих технологий в зависимости от задач и глубины, на которой планируются подводные исследования. Поэтому совместное использование водолазов, ТНПА различного класса при выполнении работ под водой только повышает эффективность их выполнения [2].

Мировой опыт изучения океана и исследования отечественных авторов показывают, что подводные исследования и другие работы не должны исключать применения водолазных методов, так как при этом могут решаться многие важные задачи и научного, и производственного характера [3].

В отличие от подводных аппаратов и роботов, с помощью которых осуществляется наблюдение и измеряются многие физические и химические параметры водной среды, производится отбор и транспортировка образцов для их изучения на поверхности [4, 5], водолаз под водой, кроме того, может проводить исследования, хотя и на ограниченных глубинах, и получать предварительный результат на месте. Это важно при изучении гидробионтов и других донных объектов, потому что при подъеме их на поверхность под влиянием в основном снижения давления и изменения других параметров водной среды происходит газообразование в тканевых структурах гидробионтов, что приводит к общему их повреждению и разрушению в зависимости от исходной глубины. На этом фоне результаты измерений каких-либо параметров будут некорректными и бесполезными [6]. Поэтому многие исследования должны выполняться на месте, в условиях подводной среды. Для этого необходима специальная, адаптированная к подводным условиям научная аппаратура. Работать под водой с та-

кой аппаратурой и с использованием других методов подводных исследований может обученный этому классный водолаз-профессионал или ученый, имеющий начальную квалификацию «водолаз». Однако возможности профессионала и научного водолаза сильно различаются. Научный водолаз в связи с его невысокой квалификацией ограничен в использовании методов погружений, снаряжения, технических средств, а также в глубинах спусков.

Целью данной работы является оценка приоритетности водолазных методов погружений и технических средств для обеспечения подводных научных исследований.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на результатах водолазных погружений в период научной работы на водолазных объектах различных ведомств России и опыте проведения исследований с участием водолазов. Для сравнительного анализа водолазных методов и технических средств обеспечения подводных исследований (дыхательных аппаратов и оборудования) использовались результаты водолазных спусков методом кратковременного погружения (КП) и методом длительного (многосуточного) пребывания под повышенным давлением (ДП, или насыщенные погружения) в подводной лаборатории и в барокамерах водолазных комплексов. В спусках для проведения подводных научных исследований принимали участие научные водолазы не классной, начальной квалификации «водолаз», которые являлись штатными научными и инженерно-техническими работниками, прошедшими курс обучения в водолазной школе или учебном центре. Водолазные спуски методом КП осуществлялись с водолазных и научно-исследовательских судов по водолазному трапу и со шлюпки. Спуски проводились под руководством водолазных специалистов. Использовались дыхательные аппараты с открытой схемой дыхания воздухом и кислородно-азотными смесями, а также с замкнутым циклом дыхания газовыми смесями.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведение водолазных спусков для обеспечения подводных научных исследований показало, что подводные, особенно придонные, исследования с участием научных водолазов эффективны. Водолаз под водой в отличие от подводного аппарата или робота может действовать не только по утвержденной программе работ, но и по обстановке, что связано с обеспечением его безопасности.

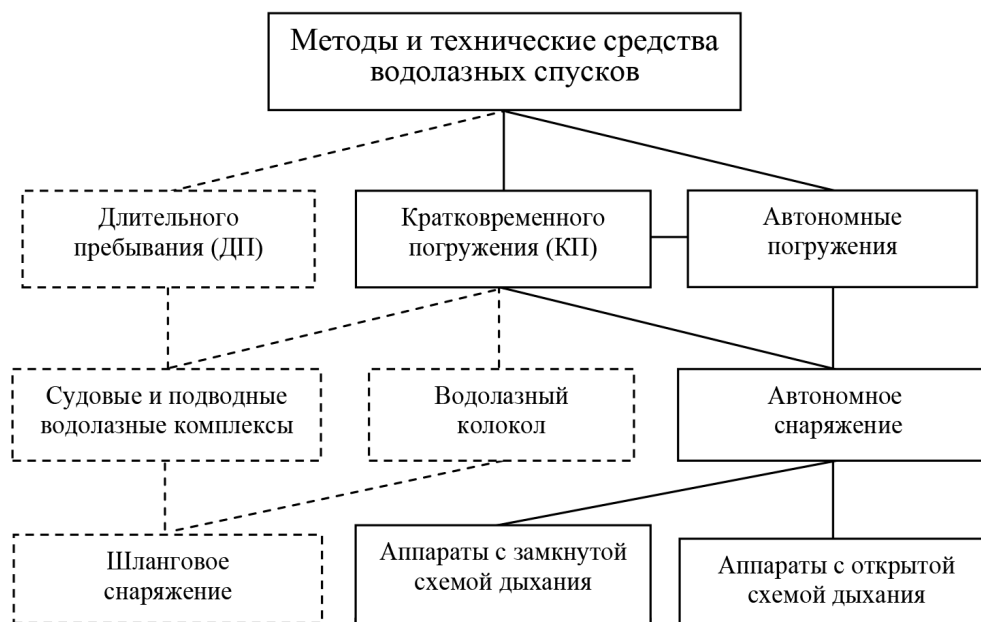


Рис. 1. Структура методов и технических средств водолазных спусков для проведения подводных научных исследований (методы и технические средства, выделенные штрихом, не являются приоритетными для научных водолазов)

Для решения научных задач при океанологических исследованиях водолазам обычно требуется выполнение работ по организации и проведению исследований под водой (установка донных приборов, аппаратов и других устройств исследовательского назначения, различные измерения, сбор проб и образцов изучаемых объектов, наблюдение, подводная фото- и видеосъемка). Эти и другие исследовательские работы могут выполняться научными и обученными этим работам профессиональными водолазами с использованием выбранного метода погружений в совокупности с техническими средствами (рис. 1).

Однако не все указанные на рис. 1 методы водолазных спусков и технические средства их обеспечения одинаково приемлемы для научных водолазов независимо от их квалификации. К сожалению, многое зависит от практической доступности методов, что связано в основном со стоимостью их реализации. Метод ДП, хотя и является однозначно наиболее эффективным, особенно на больших глубинах, наименее доступен, и не только в научной сфере. Кроме того, что он финансово является наиболее затратным, его использование связано с повышенными рисками и трудностями с обеспечением жизнедеятельности водолазов в условиях длительного пребывания в барокамере водолазного комплекса или в подводной лаборатории и полного насыщения орга-

низма инертным газом, соответствующего данной глубине. Отдаленные последствия длительного (многосуточного) и неоднократного пребывания в условиях повышенного давления искусственной дыхательной среды также могут быть неблагоприятными для здоровья водолазов, это в основном относится, конечно, к большим глубинам [7]. Все это не позволяет в настоящее время считать метод ДП приоритетным для использования при подводных научных исследованиях. Для этого необходима развитая водолазная инфраструктура, обеспечивающая возможность проведения подводных научных исследований, по крайней мере в пределах средних глубин (до 60 м), но для этого начальный уровень квалификации научного водолаза недостаточен. На меньших глубинах (в пределах 20–30 м) использование метода ДП для научных исследований малоэффективно, в основном по финансовым соображениям, поскольку общие затраты на обеспечение многосуточного пребывания и работы в условиях гипербарии несоизмерны с общим результатом исследований. На таких глубинах научная эффективность использования метода КП для подводных исследований мало отличается от эффективности метода ДП при несравнимо меньших затратах в первом случае. Надо отметить, что погружения в научных целях методом КП в принципе возможны и за предел средних глубин с применением водолазного

колокола, шлангового снаряжения и специальных дыхательных смесей, но это приемлемо только для профессиональных водолазов-глубоководников. Такие спуски требуют продолжительной декомпрессии после работы на грунте. Например, после работы в течение 30 мин на глубине 100 м времени рабочего дня водолаза недостаточно для безопасного выхода на поверхность. То есть эффективность кратковременных погружений на большие глубины неприемлема. Для низкоквалифицированных, малоопытных водолазов, какими являются научные водолазы, следует соблюдать условия организации погружений, главные из них: ограничение глубины, спуски по бездекомпрессионным (безостановочным) режимам и выполнение спусков с напарником [8, 9]. Эти ограничения обусловлены необходимостью обеспечения главного – безопасности научных водолазов.

Диапазон эффективности и безопасности кратковременных погружений для научных водолазов целесообразно ограничить 30 м [8]. Это связано с тем, что при условии дыхания кислородно-азотной смесью с 40% кислорода водолаз может работать на этой глубине до 45 мин без соблюдения ступенчатого режима декомпрессии. При этом выход водолаза на поверхность ограничивается только трехминутным безостановочным режимом подъема [10, прил. 17, табл. 3]. Кроме этого, при дыхании такой смесью парциальное давление кислорода (PO_2) не превысит токсический уровень $1,6 \text{ кгс/см}^2$.

Но надо иметь в виду, что время работы водолаза на глубине может быть ограничено объемом дыхательной смеси в баллонах аппарата.

При дыхании сжатым воздухом на такой глубине также возможен бездекомпрессионный выход, но при сокращении времени работы до 15 мин. Глубина 30 м при дыхании сжатым воздухом может лимитироваться также и азотным наркозом, который у многих малоопытных водолазов проявляется на этой глубине. Однако в ряде случаев и этого времени работы на грунте достаточно для выполнения некоторых работ. Следовательно, в диапазоне погружений до 30 м при соблюдении вышеуказанных и других условий сводится к минимуму возможность подвергнуться декомпрессионной болезни.

Таким образом, для проведения подводных исследований научными водолазами рассматривается только метод КП и его разновидность – автономные погружения, или спуски в автономном режиме, который означает свободное плавание под водой и работу на грунте без обеспечения воздухом или дыхательной смесью с поверхности. Технической основой таких спусков являются автономные подводные дыхательные аппараты (SCUBA):

- рециркуляционные аппараты (ребризеры) с полузамкнутой и замкнутой схемой дыхания газовыми смесями;
- с открытой схемой дыхания воздухом и кислородно-азотными смесями (рис. 2).

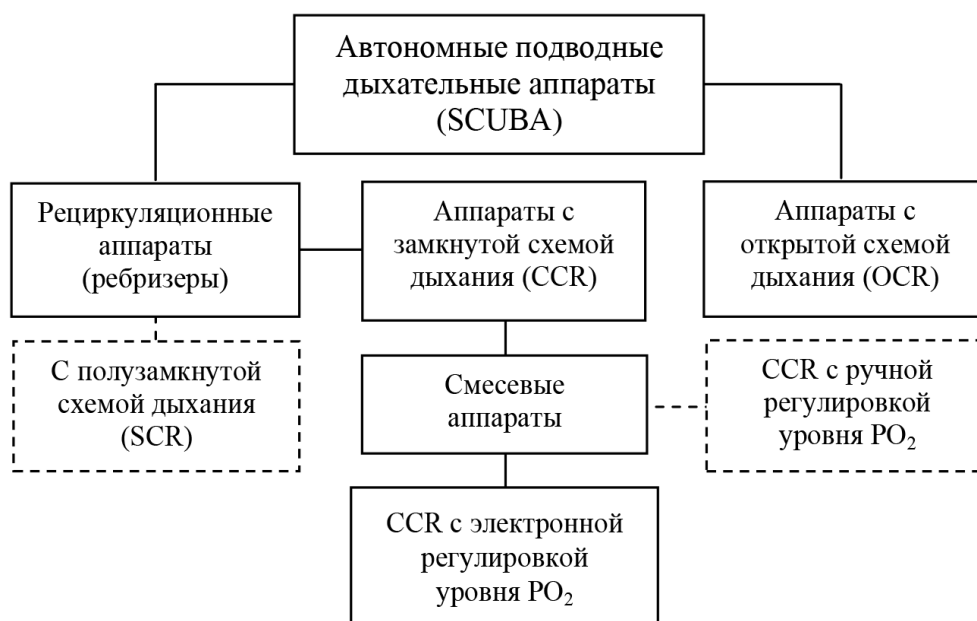


Рис. 2. Классификация автономных водолазных дыхательных аппаратов по принципу их работы (аппараты, выделенные штрихом, не являются приоритетными для научных водолазов)

Ребризеры с полузамкнутой схемой дыхания не получили распространения в научной сфере. Они хотя и относятся к рециркуляционным аппаратам, но не все их типы являются автономными, так как газовая система таких аппаратов, включая дыхательный мешок, пополняется дыхательной смесью по шлангу с поверхности. Это зависит от глубины, для которой предназначен данный тип аппарата. В связи с некоторыми сложностями использования таких аппаратов они не рассматриваются для применения научными водолазами в исследовательской практике. Аппараты с ручной регулировкой уровня PO_2 , относящиеся к аппаратам с замкнутым циклом дыхания, также не являются приоритетными для научных водолазов, так как требуют постоянного контроля этого параметра под водой, к тому же у них есть хорошая альтернатива – аппараты с автоматической (электронной) регулировкой уровня PO_2 .

По результатам апробации водолазных спусков с применением различного снаряжения установлено, что для подводных научных исследований одной из наиболее эффективных является методика спусков с использованием автономных дыхательных аппаратов с замкнутой схемой дыхания (ребризеров), в передовых моделях которых поддерживается заданное парциальное давление кислорода на всех рабочих глубинах («смесевые» аппараты), обеспечивается возможность регулировки состава дыхательных смесей и их смены под водой, что обеспечивает сокращение времени декомпрессии. Важной особенностью работы с такими аппаратами является расчет режимов декомпрессии на месте в реальном времени с помощью подводного компьютера. Но все эти новации и особенности спусков со «смесевыми» аппаратами могут быть реализованы квалифицированными, классными водолазами. Научные водолазы с минимальной квалификацией «водолаз» должны погружаться, как было отмечено выше, по бездекомпрессионным режимам. Это одна из причин ограничения для них глубины спуска и времени работы на грунте. Такие аппараты отличаются высокой автономностью (более трех часов работы на одной заправке аппарата, причем независимо от глубины погружения), а водолаз – мобильностью при работе под водой. Эта методика погружений обеспечивает водолазу-глубоководнику возможность спускаться и работать на глубинах порядка 100 м [11]. При научной работе под водой с таким аппаратом создаются условия для наблюдения подводной фауны, что обеспечивается тихим режимом его работы и отсутстви-

ем газовых пузырей при дыхании из аппарата в воде. Между тем специфика работы с ребризером обязывает научных водолазов любой квалификации пройти курс обучения по специальной программе и получить допуск к погружениям.

Аппараты с открытой схемой дыхания (OCR) сжатым воздухом типа «акваланг», хотя и являются традиционным снаряжением, до сих пор используются при спусках в научных целях на малые и частично средние глубины при соблюдении бездекомпрессионных режимов. Эффективность погружений с такими аппаратами для проведения подводных исследований можно значительно повысить, если вместо воздуха заправлять баллоны аппарата кислородно-азотными смесями, в частности с 40% кислорода, но при условии пригодности аппарата для работы с такими смесями. Кроме вышеотмеченных достоинств этой смеси, ее использование приводит к практически полному отсутствию проявлений азотного наркоза у научных водолазов на рекомендованной граничной для них глубине 30 м в связи с меньшим количеством азота в дыхательной смеси и поддержанию работоспособности вследствие повышенного содержания кислорода. Но все это относится, конечно, к преимуществам дыхательной газовой смеси, а не дыхательного аппарата.

Заключение

Для научных водолазов, имеющих начальную квалификацию «водолаз» и небольшой опыт подводных погружений, приоритетными являются спуски методом КП с напарником. Диапазон эффективности и безопасности кратковременных погружений для научных водолазов целесообразно ограничить 30 м. Это связано с тем, что при условии дыхания кислородно-азотной смесью с 40% кислорода водолаз может работать на этой глубине до 45 мин без соблюдения ступенчатого режима декомпрессии. При этом выход водолаза на поверхность ограничивается только трехминутным безостановочным режимом подъема. Кроме этого, при дыхании такой смесью парциальное давление кислорода не превысит токсический уровень 1,6 кгс/см². Глубина 30 м при дыхании сжатым воздухом может лимитироваться также и азотным наркозом, который у многих малоопытных водолазов проявляется на этой глубине.

Метод ДП, хотя и является наиболее эффективным, особенно на больших глубинах, но наименее доступен в научной сфере, так как является финансово затратным и, кро-

ме того, связан с повышенными рисками при работе даже на небольших глубинах, поэтому его нельзя считать приоритетным для подводных исследований с участием научных водолазов.

Технической основой спусков методом КП является использование автономных подводных дыхательных аппаратов с открытой схемой дыхания сжатым воздухом и кислородно-азотными смесями и аппаратов с замкнутым циклом дыхания газовыми смесями.

Современные аппараты с замкнутой схемой дыхания (ребризеры) наиболее эффективны и вполне надежны, что важно для водолазов при проведении подводных научных исследований. Такие аппараты отличаются высокой автономностью независимо от глубины, а водолаз при работе с аппаратом под водой – мобильностью. Использование ребризера обеспечивает возможность вести наблюдения подводной фауны в связи с тихим режимом его работы и отсутствием газовых пузырей в воде при дыхании.

Аппараты с открытой схемой дыхания сжатым воздухом успешно применяются научными водолазами при подводных исследованиях, но на малых и частично средних глубинах и при ограниченном времени работы под водой, чтобы избежать ступенчатой декомпрессии. Значительно повысить эффективность таких аппаратов возможно при использовании вместо воздуха кислородно-азотных смесей.

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. Илюхин В.Н. Инновационные решения по техническому облику глубоководного водолазного комплекса спасательного судна ВМФ // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2023. № 1. (Электронный ресурс). URL: <http://opr.gr-media.ru/2023/03/01> (дата обращения: 14.04.2024).
3. Куренков Г.И. Проблемы биологии, исследование и освоение человеком гидросферы как части биосферы. М.: Буки Веди, 2022. 272 с.
4. Сагалевиц А.М. Глубоководные обитаемые аппараты института океанологии РАН // *Освоение морских глубин* / Гл. ред. Н. Спасский. М.: ИД «Оружие и технологии», 2018. С. 211–221.
5. Елкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я. Телеуправляемые подводные аппараты-роботы «Гном» // *Освоение морских глубин* / Гл. ред. Н. Спасский. М.: ИД «Оружие и технологии», 2018. С. 332–336.
6. Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А. Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // *Океанология*. 2016. Т. 56, № 1. С. 167–171.
7. Чумаков А.В. Длительное пребывание человека на предельных глубинах: взгляд на изменения функциональных систем акванавтов с позиции патофизиологии критических состояний // *Клиническая патофизиология*. 2016. Т. 22, № 4. С. 118–123.
8. Яхонтов Б.О. Водолазные технологии исследований океана // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2023. № 9. С. 5–12.
9. *Diving safety manual. Revision 3.2-2018* // Woods hole oceanographic institution, USA, 2018. 126 p.
10. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. М.: ЦРИА Морфлот, 1980. 184 с.
11. Черкашин С.В. Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития // *Подводные технологии и средства освоения Мирового океана* / Гл. ред. Н. Спасский. М.: ИД «Оружие и технологии», 2011. С. 518–527.