

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СПУСКОВ НАУЧНЫХ ВОДОЛАЗОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б. О. Яхонтов

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: giper28@ocean.ru*

Целью исследования является оптимизация режима погружений научных водолазов для повышения их безопасности и эффективности океанологических исследований под водой. Исследование выполнено на основе анализа результатов спусков водолазов на российских морских акваториях в период многолетней работы по программам развития методов водолазных спусков в научных и иных целях. Дано обоснование предела рабочих глубин для научных водолазов. Оптимизация режима спусков реализуется с соблюдением нескольких условий: ограничение глубины и времени работы под водой, безостановочная декомпрессия водолаза, спуски с напарником и исключение повторных спусков в течение дня. Эти условия должны являться режимными обязательствами для руководителя спусков и самих научных водолазов. Наиболее важным обязательством являются режимы кратковременной безостановочной декомпрессии, которая сводится к 2–4 минутам перехода с грунта на поверхность. Режимы предназначены для их практического использования научными водолазами после работы на глубинах в диапазоне 30 м при дыхании из аппарата воздухом или 40 % кислородно-азотной смесью. Этими декомпрессионными режимами определяется и предельно допустимое время пребывания научного водолаза под водой в исследовательских целях. Оптимизированный принятием всех этих обязательств общий режим спусков обеспечивает повышение безопасности малоопытных научных водолазов, а также эффективности исследований при изучении океана и прибрежной зоны шельфа.

Ключевые слова: подводные океанологические исследования, научный водолаз, оптимизация режима спусков, безостановочная декомпрессия, кислородно-азотная смесь, безопасность водолазных спусков

Введение

Изучение океана основано на использовании трех основных способов исследований: судовой – исследования с судна с применением различных технических средств, включая автономные необитаемые и буксируемые подводные аппараты (Войтов, 2015; Анисимов и др., 2023); подводный – исследования, проводимые в толще воды или на грунте гидронавтами-исследователями из подводного обитаемого аппарата, а также научными водолазами, использующими специальные научные приборы, аппараты и устройства; дистанционный – активно развивающийся в настоящее время спутниковый метод зондирования Мирового океана из космоса. Все эти исследования

направлены на изучение геологических, геофизических, гидрохимических, биологических и других процессов в океане. Современная методология таких исследований в граничащих с океаном странах непременно включает использование водолазных технологий с различными исследовательскими техническими средствами. Водолазное дело, и в частности водолазные спуски в научных целях, напрямую связано с морской техникой и базируется на трех науках – технике, физике и физиологии. Проведение человеком подводных исследований *in situ* во многих случаях более эффективно для получения корректного научного результата, поскольку человек может работать в зоне происходящих в толще воды и на дне процессов, в среде нахождения или обитания изучаемых объектов, и в прямом контакте с ними (Яхонтов, Римский-Корсаков, 2016; Яхонтов, 2024). Однако оптимальным вариантом является, конечно, сочетание всех этих способов и методов изучения океана, поскольку каждый из них не универсален для решения всех научных задач под водой.

Водолазный метод научной работы, в отличие от других, имеет больше ограничений, которые связаны в основном с глубиной и временем пребывания под водой. Ограничения обусловлены физиологическими причинами: на организм водолаза действует комплекс экстремальных факторов, который формируется под влиянием повышенного давления (гипербарии) водной и измененной дыхательной газовой среды (ДГС) (Зальцман, Кучук, Гургенидзе, 1979). При работе водолаза под водой гипербария есть всегда, ее уровень зависит только от глубины погружения, тогда как основные физические параметры ДГС (давление, плотность) зависят и от глубины, и от газового состава дыхательной смеси, а температура и влажность еще и от особенностей конструкции водолазного дыхательного аппарата (с открытой или замкнутой схемой дыхания). От повышения давления (компрессия) с увеличением глубины зависит уровень насыщения тканей организма физиологически инертным газом (азотом, гелием), который является наибольшим компонентом ДГС. При снижении давления (декомпрессия) во время перехода с грунта на поверхность происходит насыщение, которое при нарушении режима декомпрессии сопровождается небезопасным высвобождением газа в тканях организма. В связи с этим водолаз должен соблюдать режим спуска, который включает 3 фазы: непосредственно сам спуск на заданную глубину, пребывание (работа) под водой и декомпрессия. При нарушении режима спуска у водолаза могут возникнуть специфические заболевания и травмы, которые требуют немедленного применения лечебной рекомпрессии в барокамере. Нежелательные последствия даже при использовании отработанных и общепринятых режимов могут зависеть и от уровня физической формы водолаза – тренированности. Научный водолаз, в отличие от производственного, хотя и имеет профессиональную подготовку (квалификация «водолаз» вне классов), но при эпизодических погружениях может оставаться малоопытным водолазом. Для научного водолаза, который является штатным научным работником, эта дополнительная профессия только функционально совмещается с основной, так как она позволяет проводить исследования под водой в пределах доступных ему глубин (Яхонтов, 2023а). Главная особенность работы научного водолаза-океанолога (геолога, физика, химика, биолога) состоит в том, что он

работает под водой нерегулярно – по мере необходимости и в зависимости от проведения морских научных экспедиций. Этим может определяться его невысокая квалификация как водолаза и небольшой опыт работы под водой. Поэтому научный водолаз должен соблюдать определенные лимиты по режимам спусков, что напрямую связано с обеспечением его безопасности.

Целью данного исследования является оптимизация режима спусков научных водолазов для повышения их безопасности и эффективности подводных океанологических исследований на грунте и в толще воды.

Средства и методы

Исследование выполнено на основе анализа результатов рабочих (выполнение научных заданий – наблюдение и описание подводных объектов и процессов) и экспериментальных (проверка режимов, методов) спусков научных водолазов и водолазов других специализаций и квалификаций. Погружения в научных целях проводились на российских морских акваториях в условиях в основном прибрежных экспедиций в период многолетней научной работы по программам развития методов и технологий водолазных погружений для исследовательской работы под водой. Спуски выполнялись по результатам оценки рисков на глубины в пределах 30 метров с научно-исследовательских, водолазных и маломерных судов под руководством и при участии высококвалифицированных специалистов водолазного дела.

Страховка работающего под водой водолаза осуществлялась водолазом-напарником, контроль их местонахождения и обеспечения связи – с поверхности обеспечивающим водолазом. Для спусков использовались автономные подводные дыхательные аппараты (SCUBA) с открытым циклом дыхания (OCR) воздухом или кислородно-азотной смесью, содержащей 40 % кислорода, и с замкнутым циклом дыхания (CCR) аналогичной смесью. Главным при обосновании режима спусков было соблюдение требований российских правил, направленных на обеспечение безопасности и сохранение здоровья водолазов ([Единые правила, Ч. 1, 2025](#); [Единые правила, Ч. 2, 2025](#)).

Результаты и обсуждение

Анализ результатов организации и проведения водолазных спусков для обеспечения подводных исследований показал, что режим спусков научных водолазов требует оптимизации в связи с вышеотмеченной невысокой их квалификацией и небольшим опытом погружений, а также необходимостью повышения их безопасности и эффективности подводных исследований. Оптимизация, являющаяся элементом развития техники подводных океанологических исследований, сводится в основном к ограничению рабочих глубин и времени работы под водой, что обеспечило бы условно бездекомпрессионный, точнее безостановочный, и намного сокращенный по

времени переход с места работы под водой на поверхность. Соблюдение этих лимитов приводит к уменьшению риска возникновения декомпрессионного газообразования в организме, так как уровень насыщения тканей организма азотом при этом не повышается до необходимости проведения традиционной декомпрессии с выдержками на остановках. Этому же способствует и исключение повторных в течение суток спусков на глубины до 30 м, которые приводят к повышению уровня декомпрессионного внутрисосудистого газообразования и риску развития острой декомпрессионной болезни (Зверев, 2011) из-за накопления в организме азота во время повторного спуска на фоне остаточного азота после первого спуска. Важно, что при проведении повторных спусков в течение суток декомпрессия с выдержками на остановках не исключается, так как время пребывания под водой при первом и последующих спусках суммируется (Единые правила, Ч. 2, 2025), что потребует проведения традиционной ступенчатой декомпрессии. А безостановочная декомпрессия как раз и является основным условием построения режима спусков малоопытных научных водолазов. Кроме того, повторные спуски с использованием смесей, обогащенных кислородом, могут угрожать интоксикацией организма этим газом. Не менее важным условием оптимизации является и наличие под водой напарника, который должен находиться в непосредственной близости от водолаза-исследователя и страховать его от возникновения опасных ситуаций. Все эти ограничительные аспекты спусков направлены на оптимизацию режима работы научных водолазов и являются необходимыми, так как они напрямую связаны с обеспечением их безопасности (Яхонтов, 2023б; Diving safety, 2018), и поддерживаются самими водолазами.

Глубина спуска, время научной работы на грунте и время безостановочной декомпрессии, входящие в общий режим спуска, зависят в большой степени от дыхательной смеси, которая поступает к водолазу из дыхательного аппарата. Поскольку диапазон рабочих глубин для научных водолазов предлагается ограничить 30 метрами (Яхонтов, 2023б), учитывая при этом возможность дыхания в период погружений сжатым воздухом или кислородно-азотной смесью, следует обосновать необходимость этого ограничения, потому что глубина является одной из важнейших составляющих общего режима водолазного спуска.

При дыхании сжатым воздухом глубину для научных водолазов целесообразно ограничить 20 метрами. Этот предел обусловлен тем, что время работы на такой глубине для соблюдения безостановочного декомпрессионного режима перехода на поверхность составляет 35 минут (Единые правила, Ч. 2, 2025), что достаточно для выполнения научного задания под водой. Помимо этого, водолазные спуски с маломерных судов (лодки, шлюпки, катера), что характерно для спусков водолазов в научных целях, особенно в прибрежной зоне, при дыхании воздухом ограничиваются глубинами тоже до 20 м по правилам охраны труда водолазов (Правила по охране, 2025). На таких глубинах у водолазов незаметно действие азотного наркоза, который, при увеличении глубины до 30 м, при дыхании сжатым воздухом начинает проявляться у малотренированных водолазов. Конечно, спуски на глубины более 20 м при дыхании воздухом также возможны, но при значительном сокращении времени пребывания

на грунте, чтобы водолаз мог соблюсти безостановочный переход на поверхность. Например, время работы на глубине 30 м должно быть сокращено до 15 минут, что отражается на объеме и качестве выполняемой водолазом научной работы. Сохранение эффективности работы научных водолазов на глубинах в пределах 30 м возможно при дыхании кислородно-азотной смесью (КАС) с 40 % содержанием кислорода (Яхонтов, 20176). Это обеспечивает безостановочный переход на поверхность после работы под водой в течение 45 минут, то есть время работы водолаза на глубине 30 м при дыхании КАС увеличивается в три раза. После работы на этой глубине водолаз может переходить с грунта на поверхность всего за 3 минуты вместо 41 минуты при дыхании воздухом, причем с декомпрессионными остановками (Единые правила, 1980, прил. 17, табл. 1 и 3). На глубине 30 м при дыхании КАС снимается проблема азотного наркоза в связи с пониженным содержанием азота в смеси и, что не менее важно, предельное значение парциального давления кислорода (PO_2) не превышает $1,6 \text{ кгс/см}^2$, установленное национальным управлением США по исследованию океанов и атмосферы (NOAA) и принятое во всех странах с развитой водолазной практикой. Большие величины (до 3 кгс/см^2), хотя и допускаются российскими ведомственными правилами водолазной службы (ПВС ВМФ-2002) и руководствами (Смолин, Соколов, Павлов, 2003, С. 391) при ограниченном 20 минутами времени работы, но они, очевидно, приемлемы только для высокотренированных водолазов с повышенной устойчивостью к такому уровню гипероксии. Выявлено, что уровень сдвигов в функционировании физиологических систем водолазов после дыхания кислородом даже при меньшем парциальном давлении ($2,5 \text{ кгс/см}^2$) сохраняется не менее суток после «спуска» в барокамере (Зверев и др., 2022). Погружения научных водолазов на глубины, превышающие 30 м, при дыхании 40 % КАС при ограничении времени работы на грунте в принципе возможны с последующей безостановочной декомпрессией, однако проблема кислородной интоксикации при этом не позволяет однозначно говорить о гарантии их безопасности.

Главным условием обеспечения эффективности водолазных спусков в автономном режиме с использованием КАС является повышение по сравнению с воздухом содержания кислорода в ДГС в пределах нетоксичной зоны (с учетом продолжительности дыхания на глубине) и снижение содержания азота (Яхонтов, 2021). В этой связи можно утверждать, что такая смесь является более эффективной, чем воздух, что выражается в увеличении времени исследовательской работы под водой без последующего проведения традиционной ступенчатой декомпрессии. Сравнительный анализ указанного в режимах декомпрессии водолазов времени пребывания под водой, после которого соблюдается безостановочный переход на поверхность (Единые правила, 1980), показал, что допустимое время работы на грунте в несколько раз больше при дыхании 40 % КАС, чем воздухом (рисунок 1).

На глубинах до 21 м при дыхании 40 % КАС предельное время отсутствия токсического действия кислорода практически не исчерпывается, поскольку выражается в нескольких часах. Так, на глубине 15 м, где PO_2 равно 1 кгс/см^2 , оно составляет 5 часов, на меньших глубинах и того больше, что при научной работе под водой

использовать в течение рабочего дня при однократном спуске почти нереально, даже если применять аппарат с замкнутой схемой дыхания (ребризер) с ресурсом дыхания порядка 3 часов. При спусках в автономном режиме время пребывания под водой сильно ограничивается запасом воздуха или газовой смеси в баллонах дыхательного аппарата, хотя продолжать работу без нежелательных последствий водолаз еще мог бы (Яхонтов, 2023б). Альтернативой может быть использование аппарата в шланговом варианте для подачи водолазу и его напарнику ДГС с поверхности, что, однако, кроме риска кислородной интоксикации, снижает его мобильность под водой, требует специальной подготовки научного водолаза и более строгой организации парного спуска со шланговыми аппаратами. Лимитирующим время пребывания водолаза в воде фактором является и температура воды, особенно при отсутствии на нем гидрокостюма. Но главное, как показала практика, многочасовая исследовательская работа под водой обычно не является необходимой. Следует также отметить, что время работы водолаза определяется не столько возможностями ДГС и ресурсом аппарата, сколько условием режима спуска – безостановочной декомпрессией при подъеме на поверхность. Это условие является основной причиной ограничения глубины и времени работы научного водолаза под водой.

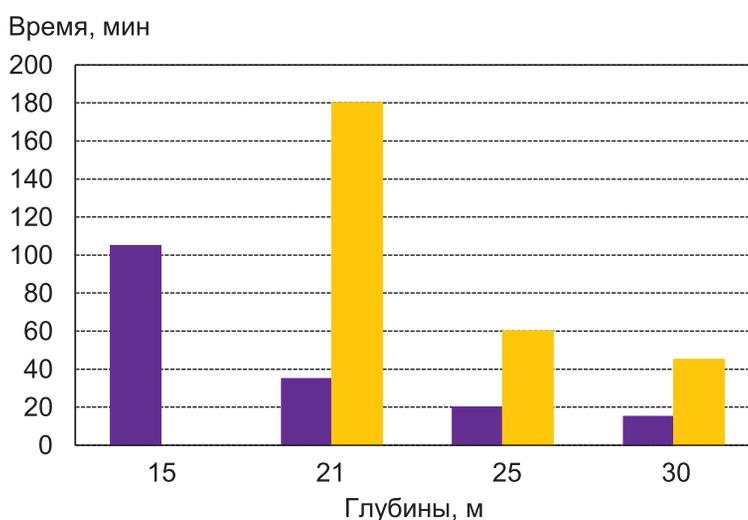


Рис. 1 – Время пребывания водолазов на различных глубинах при дыхании из аппарата воздухом (лиловый) и 40 % КАС (желтый) для обеспечения перехода с грунта на поверхность без декомпрессионных остановок.

На глубине 15 м при дыхании КАС время пребывания под водой не показано, так как режимы декомпрессии для такой смеси начинаются с глубины 21 м

В случае проведения ступенчатой декомпрессии из-за превышения времени пребывания под водой, ее продолжительность при дыхании КАС намного меньше, чем при дыхании воздухом, так как уменьшается насыщение организма азотом. Декомпрессия после спуска на глубину, например, 30 м и увеличения времени работы на грунте до 60 мин при дыхании КАС сокращается в 7,7 раза по сравнению с дыханием воздухом.

Погружения в автономном режиме с КАС показали, что эта технология эффективна и перспективна для использования при океанологических исследованиях *in situ*, потому что в определенном диапазоне глубин и времени работы под водой не требуется или минимизируется традиционный ступенчатый режим декомпрессии, и не проявляется азотный наркоз (Яхонтов, 2021). При этом даже априори можно утверждать, что при таких спусках физическая работоспособность научного водолаза не будет заметно снижаться при исследовательской работе на грунте, так как он дышит гипероксической газовой смесью.

Таким образом, ограничения и условия для погружений в научных целях, которые направлены на повышение безопасности водолазов, должны быть режимными обязательствами для руководителя водолазных спусков и самих научных водолазов.

Оптимизированный принятием этих обязательств режим спусков обеспечивает повышение не только безопасности водолазов, но и эффективности подводных научных исследований *in situ*, которая выражается в результатах, иногда недоступных для получения неводолажными методами. Наиболее важным оптимизирующим условием является безостановочная кратковременная декомпрессия, которая сводится, в зависимости от глубины, времени пребывания под водой и дыхательной смеси, к 2–4 минутам перехода с грунта на поверхность. Учитывая эффективность этого условия, на основе актуальных рабочих режимов декомпрессии водолазов при дыхании воздухом и КАС (Единые правила, 1980; Смолин, Соколов, Павлов, 2003; Единые правила, Ч. 2, 2025) построены режимы безостановочной декомпрессии для научных водолазов (таблица 1). Из этой таблицы видно, что после работы на глубинах 12 м и более при дыхании воздухом, а также 21 м и более при дыхании КАС водолаз должен соблюдать безостановочный режим декомпрессии, указанный в таблице. С глубин соответственно менее 12 и 21 м малотренированный водолаз-океанолог должен переходить на поверхность по режиму этих глубин, то есть погружение на меньшие глубины следует считать условным погружением на 12 и 21 м.

Табл. 1 – Безостановочные режимы декомпрессии научных водолазов при спусках на глубины до 30 м с использованием для дыхания воздуха и 40 % кислородно-азотной смеси

Глубина спуска, м	При дыхании воздухом		При дыхании 40 % КАС	
	Время пребывания на грунте, мин	Время перехода на поверхность, мин	Время пребывания на грунте, мин	Время перехода на поверхность, мин
12	360	2	–	–
15	105	2	–	–
18	45	3	–	–
21	35	3	180	2
24	25	3	105	2
27	20	4	60	2
30	15	4	45	3

Выигрыш при использовании КАС заключается в многократно большем времени пребывания под водой при практически одинаковом с воздухом времени безостановочной декомпрессии. В этих режимах время пребывания водолаза на глубинах более 15 м при дыхании воздухом, по сравнению с режимами зарубежных агентств (PADI, NAUI, NDL и другие) по подготовке дайверов (водолазов), приблизительно на 15–20 % меньше. Но поэтому они и более надежны для снижения рисков развития декомпрессионного газообразования, так как организм водолаза в течение меньшего времени меньше насыщается азотом.

Понятно, что данные режимы декомпрессии не зависят от типа дыхательного аппарата – в шланговом варианте, с открытой или замкнутой схемой дыхания, а зависят только от дыхательной газовой смеси. При этом нельзя не отметить большую эффективность спусков с аппаратом с замкнутой схемой дыхания и относительную безопасность его использования научными водолазами. По мнению отечественных и зарубежных авторов, эффективность спусков с такими аппаратами и безопасность при строгом соблюдении режима спусков могут обеспечиваться даже при глубоководных (примерно до 100 м) погружениях водолазов (Черкашин, 2011; Norro, 2016; Яхонтов, 2017а).

После апробации безостановочных режимов декомпрессии в реальных условиях выполнения научных работ под водой и оценки их безопасности, а также разработки нормативной документации, они могут быть рекомендованы для использования научными водолазами. Выбор общего режима спуска и декомпрессии должен проводить руководитель водолазного спуска с учетом конкретных условий: прибрежная зона или открытое море, метеорологические условия спуска, рабочая глубина, время пребывания на грунте, интенсивность предстоящей работы водолаза.

Несмотря на соблюдение вышеотмеченных лимитов при спусках в пределах 30 м, они возможны лишь при условии, что руководителем спусков будет высококвалифицированный (1 класса) водолаз. Это непростая проблема для научного учреждения в процессе организации работ на дне с использованием водолазных методов. Но при комплектовании водолазной станции (группы) полностью научными водолазами правила (Единые правила, Ч.1, 2025) допускают руководство спусками на глубины до 20 м водолазом начальной квалификации «водолаз», прошедшим специальную подготовку и получившим допуск к руководству спусками. Однако целесообразность руководства спусками малоопытных водолазов даже на небольшие глубины водолазом такого же уровня подготовки сомнительна, так как он должен принимать решения, связанные с обеспечением безопасности работающих под водой исследователей.

Заключение

Данная работа направлена на оптимизацию режима погружений научных водолазов для проведения подводных океанологических исследований. Оптимизация режима спусков для научных водолазов реализуется соблюдением ряда условий:

ограничение глубины погружений, времени работы под водой, безостановочная декомпрессия водолаза, спуски с напарником и исключение повторных спусков в течение дня. Все эти ограничения и условия должны являться режимными обязательствами для руководителя водолазных спусков и самих научных водолазов, поскольку они напрямую связаны с обеспечением безопасности малоопытных научных водолазов и повышением научной эффективности океанологических исследований *in situ*.

Большой вклад в оптимизацию общего режима спусков научных водолазов вносит безостановочный режим декомпрессии, который практически вне зависимости от дыхательной смеси (воздух или кислородно-азотная смесь, содержащая 40 % кислорода) сводится к 2–4 минутам подъема на поверхность. Такая кратковременная декомпрессия обуславливает допустимое время научной работы водолаза под водой в зависимости от глубины в пределах 30 м, которое сокращается с увеличением глубины. Условие проведения спусков с безостановочной декомпрессией (условно бездекомпрессионных) является главной причиной ограничения глубины и времени работы научного водолаза под водой. Но, как показала практика, в многочасовой научной работе на дне обычно нет необходимости. Поэтому при эпизодических водолазных работах приемлемыми являются спуски до 30 м в автономном режиме с использованием аппаратов с открытым и замкнутым циклом дыхания воздухом и 40 % кислородно-азотной смесью.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024–2026). Автор глубоко признателен водолазному специалисту Черкашину С. В. за многолетнее сотрудничество, руководство водолажными спусками и непосредственное участие в погружениях.

Список литературы

1. Анисимов И. М., Золота А. К., Лесин А. В., Муравья В. О. Особенности исследования биологических и техногенных объектов с использованием глубоководных буксируемых аппаратов // *Океанология*. 2023. Т. 63. № 5. С. 840–852. EDN: XUZZGK. <https://doi.org/10.31857/S0030157423050027>
2. Войтов Д. В. Автономные необитаемые подводные аппараты. М.: Моркнига, 2015. 332 с. ISBN 978-5-903080-20-5. <https://www.morkniga.ru/p825893.html?ysclid=mhc7ce9es3148427020>
3. Единые правила безопасности труда на водолажных работах. М.: ЦРИА «Морфлот», 1980. 184 с. <https://www.morkniga.ru/p805505.html?ysclid=mhc7ipmef392764735>
4. Единые правила безопасности труда на водолажных работах. Часть 1. Правила водолажной службы: РД 31.84.01–90. М.: Моркнига, 2025. 304 с. ISBN 978-5-903070-22-0. <https://www.morkniga.ru/p801551.html?ysclid=mhc7jrfa2k143491999>
5. Единые правила безопасности труда на водолажных работах. Часть 2. Медицинское обеспечение водолазов: РД 31.84.01–90. М.: Моркнига, 2025. 132 с. <https://www.morkniga.ru/p801552.html?ysclid=mhc7m6s2g7879506729>
6. Зальцман Г. Л., Кучук Г. А., Гургенидзе А. Г. Основы гипербарической физиологии. Л.: Медицина, 1979. 320 с. <https://www.morkniga.ru/p838110.html?ysclid=mhc7slpyss703089513>

7. *Зверев Д. П.* Состояние функций организма человека при многократных гипербарических воздействиях: Автореф. дис. на канд. медицинских наук: 14.03.08. Санкт-Петербург: ВМА им. С. М. Кирова МО РФ, 2011. 22 с. EDN: [QHMTNR](#)
8. *Зверев Д. П., Исрафилов З. М., Мясников А. А., Шитов А. Ю., Чернов В. И.* Исследование состояния функций организма водолазов с различной устойчивостью к токсическому действию кислорода: проспективное когортное исследование // *Морская медицина*. 2022. Т. 8. № 3. С. 30–39. EDN: [LGHUEU](#). <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39>
9. Правила по охране труда при проведении водолазных работ. М.: Моркнига, 2025. 232 с. ISBN 979-5-903083-60-1. <https://www.morkniga.ru/p801548.html>
10. *Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н.* Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2003. 696 с. ISBN 978-5-4348-0013-6. <https://www.morkniga.ru/p809813.html>
11. *Черкашин С. В.* Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития. В кн.: *Подводные технологии и средства освоения Мирового океана*. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. С. 518–527. EDN: [QKKJCH](#)
12. *Яхонтов Б. О., Римский-Корсаков Н. А.* Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 167–171. EDN: [VIOSKD](#). <https://doi.org/10.7868/S0030157416010226>
13. *Яхонтов Б. О.* Оценка эффективности водолазных технологий изучения океана // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017а. № 10–1. С. 111–115. EDN: [ZITKCF](#)
14. *Яхонтов Б. О.* Физиологические принципы построения технологий водолазных погружений // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017б. № 12–1. С. 132–136. EDN: [ZXJXYZ](#). <https://doi.org/10.17513/mjpf.11978>
15. *Яхонтов Б. О.* Водолазные методы океанологических исследований // *Океанология*. 2021. Т. 61. № 3. С. 491–497. EDN: [NZPPYV](#). <https://doi.org/10.31857/S0030157421030175>
16. *Яхонтов Б. О.* Принципы организации водолазных спусков для проведения океанологических исследований in situ // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2023а. № 4. С. 36–42. EDN: [VNDZUV](#). <https://doi.org/10.17513/mjpf.13528>
17. *Яхонтов Б. О.* Водолазные технологии исследований океана // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2023б. № 9. С. 5–12. EDN: [QNMROT](#). <https://doi.org/10.17513/mjpf.13572>
18. *Яхонтов Б. О.* Водолазные методы и технические средства обеспечения подводных научных исследований // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2024. № 5. С. 24–29. EDN: [BBTWMR](#). <https://doi.org/10.17513/mjpf.13629>
19. *Diving safety manual. Revision 3.2-2018* // Woods hole oceanographic institution, USA, 2018. 126 p. <https://www.whoi.edu/files/server.do?id=117404&pt=10&p=77873> (дата обращения: 15.07.2025).
20. *Norro A.* The closed circuit rebreather (CCR): is it the safest device for deep scientific diving? // *Underwater Technology*. 2016. Vol. 34. No. 1. P. 31–38. <https://doi.org/10.3723/ut.34.031>

Статья поступила в редакцию 22.07.2025, одобрена к печати 23.10.2025.

Для цитирования: *Яхонтов Б. О.* Оптимизация режима спусков научных водолазов для проведения подводных океанологических исследований // *Океанологические исследования*. 2025. Т. 53. № 4. С. 262–274. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).15](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).15)

OPTIMIZATION OF SCIENTIFIC DIVERS DESCENTS MODE FOR CONDUCTING UNDERWATER OCEANOLOGICAL RESEARCH

B. O. Yakhontov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: giper28@ocean.ru*

The aim of the study is to optimize the diving mode of scientific divers to increase their safety and effectiveness of oceanological research under water. The study is based on the analysis of the results of divers' descents in Russian marine areas during many years of work on programs for the development of diving descent methods for scientific and other purposes. The justification of the working depth limit for scientific divers is given. The optimization of the descent mode is realized by observing several conditions: limiting the depth and time of work under water, non-stop decompression of the diver, descents with a partner and the exclusion of repeated descents during the day. These conditions should be regime obligations for the head of the descents and the scientific divers themselves. The most important obligation is short-term non-stop decompression, which is reduced to 2–4 minutes of transition from the ground to the surface. The modes are intended for their practical use by scientific divers after working at depths in the range of 30 meters when breathing air or 40 % oxygen-nitrogen mixture from the apparatus. These decompression modes also determine the maximum allowable time spent by a scientific diver underwater for research purposes. Optimized by the acceptance of all these obligations, the general regime of descents ensures an increase in the safety of inexperienced scientific divers, as well as the effectiveness of research in the study of the ocean and the coastal zone of the shelf.

Keywords: underwater oceanological research, scientific diver, optimization of the descent mode, non-stop decompression, oxygen-nitrogen mixture, safety of diving descents

Acknowledgement: The work was carried out within the framework of the State assignment to the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (topic No. FMWE-2024–0026).

References

1. Anisimov, I. M., A. K. Zolota, A. V. Lesin, and V. O. Murav'ya, 2023: Osobennosti issledovaniya biologicheskikh i tekhnogennykh ob'ektov s ispol'zovaniem glubokovodnykh buksiruemykh apparatov (Aspects of the towed underwater vehicle "Videomodule" utilization for surveying underwater objects and benthic fauna). *Oceanology*, **63** (5), 840–852, EDN: XUZQGK, <https://doi.org/10.31857/S0030157423050027>
2. Cherkashin, S. V., 2011: Glubokovodnye vodolaznye spuski v avtonomnom rezhime. Perspektivy razvitiya. (Deep-sea diving descents in offline mode. Development prospects) *Podvodnye tekhnologii i sredstva osvoeniya Mirovogo okeana*. Moscow, Izdatel'skij dom "Oruzhie i tekhnologii", 518–527, EDN: QKKJCH
3. *Diving safety manual. Revision 3.2-2018*, 2018: Woods hole oceanographic institution, USA, 126 p., <https://www.whoi.edu/files/server.do?id=117404&pt=10&p=77873/>, (last accessed in 08.07.2025).

4. *Edinye pravila bezopasnosti truda na vodolaznyh rabotah* (Uniform labor safety rules for diving operations). Moscow, CRIA “Morflot”, 1980, 184 p., <https://www.morkniga.ru/p805505.html?ysclid=mhc7ipmeft392764735>
5. *Edinye pravila bezopasnosti truda na vodolaznyh rabotah*. Chast 1. Pravila vodolaznoj sluzhby: RD 31.84.01-90 (*Uniform labor safety rules for diving operations*. Part 1. Rules of the diving service: RD 31.84.01-90). Moscow, Morkniga, 2025, 304 p., <https://www.morkniga.ru/p801551.html?ysclid=mhc7jrfa2k143491999>
6. *Edinye pravila bezopasnosti truda na vodolaznyh rabotah*. Chast 2. Medicinskoe obespechenie vodolazov: RD 31.84.01-90 (*Uniform labor safety rules for diving operations*. Part 2. Medical support for divers: RD 31.84.01-90). Moscow, Morkniga, 2025, 132 p., <https://www.morkniga.ru/p801552.html?ysclid=mhc7m6s2g7879506729>
7. Norro, A., 2016: The closed circuit rebreather (CCR): is it the safest device for deep scientific diving?. *Underwater Technology*, **34** (1), 31–38, <https://doi.org/10.3723/ut.34.031>
8. *Pravila po ohrane truda pri provedenii vodolaznyh rabot* (Labor protection regulations for diving operations). Moscow, Morkniga, 2025, 232 p., <https://www.morkniga.ru/p801548.html>
9. Smolin, V. V., G. M. Sokolov, and B. N. Pavlov, 2003: *Vodolaznye spuski do 60 metrov i ih medicinskoe obespechenie* (*Diving descents up to 60 meters and their medical support*). Moscow, Slovo, 696 p., ISBN 978-5-4348-0013-6, <https://www.morkniga.ru/p809813.html>
10. Voytov, D. V., 2015: *Avtonomnye neobitaemye podvodnye apparaty* (*Autonomous uninhabited underwater vehicles*). Moscow, Morkniga, 332 p., ISBN 978-5-903080-20-5, <https://www.morkniga.ru/p825893.html?ysclid=mhc7ce9es3148427020>
11. Yakhontov, B. O. and N. A. Rimsky-Korsakov, 2016: Razvitie giperbaricheskikh tekhnologij okeanologicheskikh issledovanij (Development of hyperbaric technologies of oceanologic research). *Oceanology*, **56** (1), 167–171, EDN: VIOSKD, <https://doi.org/10.7868/S0030157416010226>
12. Yakhontov, B. O., 2017a: Ocenka effektivnosti vodolaznyh tekhnologij izucheniya okeana (Evaluation of the efficiency of diving technology ocean research). *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **10–1**, 111–115, EDN: ZITKCF
13. Yakhontov, B. O., 2017b: Fiziologicheskie principy postroeniya tekhnologij vodolaznyh pogruzhenij (Physiological principles of constructing technologies of diving). *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **12–1**, 132–136, EDN: ZXJXYZ, <https://doi.org/10.17513/mjpf.11978>
14. Yakhontov, B. O., 2021: Vodolaznye metody okeanologicheskikh issledovanij (Diving methods of oceanologic research). *Oceanology*, **61** (3), 491–497, EDN: NZPPYV, <https://doi.org/10.31857/S0030157421030175>
15. Yakhontov, B. O., 2023a: Principy organizacii vodolaznyh spuskov dlya provedeniya okeanologicheskikh issledovanij in situ (Principles of organization of diving descents for conducting oceanological research in situ). *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **4**, 36–42, EDN: VNDZUV, <https://doi.org/10.17513/mjpf.13528>
16. Yakhontov, B. O., 2023b: Vodolaznye tekhnologii issledovanij okeana (Diving technologies for ocean research). *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **9**, 5–12, EDN: QNMROT, <https://doi.org/10.17513/mjpf.13572>
17. Yakhontov, B. O., 2024: Vodolaznye metody i tekhnicheskie sredstva obespecheniya podvodnyh nauchnyh issledovanij (Diving methods and technical means for underwater scientific research). *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **5**, 24–29, EDN: BBTWMR, <https://doi.org/10.17513/mjpf.13629>

18. Zaltsman, G. L., G. A. Kuchuk, and A. G. Gurgeniidze, 1979: *Osnovy giperbaricheskoy fiziologii (Fundamentals of hyperbaric physiology)*. Leningrad, Medicina, 320 p., <https://www.morkniga.ru/p838110.html?ysclid=mhc7slpyss703089513>
19. Zverev, D. P., 2011: Sostoyanie funktsij organizma cheloveka pri mnogokratnyh giperbaricheskikh vozdeystviyah (The state of human body functions under repeated hyperbaric influences): Avtoref. dis. na kand. medicinskih nauk: 14.03.08. Sankt-Peterburg: VMA im. S. M. Kirova MO RF. 22 p., EDN: QHMTNR
20. Zverev D. P., Z. M. Israfilov, A. A. Myasnikov, A.Yu. Shitov, and V. I. Chernov, 2022: Issledovanie sostoyaniya funktsij organizma vodolazov s razlichnoj ustojchivost'yu k toksicheskomu deystviyu kisloroda: prospektivnoe kogortnoe issledovanie (Investigation of the state of body functions of divers with different resistance to oxygen toxicity: a prospective cohort study). *Morskaya medicina*, **8** (3), 30–39, EDN: LGHUEU, <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39>

Submitted 22.07.2025, accepted 23.10.2025.

For citation: Yakhontov, B. O., 2025: Optimization of scientific divers descents mode for conducting underwater oceanological research, *Journal of Oceanological Research*, **53** (4), 262–274, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).15](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).15)

用于水下海洋学研究的科学潜水员作业制度优化

B. O. Yakhontov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 邮编: 117997,*

电子邮件: giper28@ocean.ru

为保障科学潜水员安全并提升水下海洋学考察效率·本研究旨在系统优化其潜水作业制度·研究结论基于在俄罗斯多个海域开展的·为期多年的科研潜水方法开发实践·并对大量实际下潜数据进行了分析·本文首先论证了科学潜水员的安全工作深度极限·为实现作业优化·我们确立了一套必须遵循的制度·其核心内容包括:严格限定水下作业深度与时间·采用全程不间断减压技术·实施双人协同下潜作业·以及规定每日单次下潜原则·该制度是下潜团队负责人及潜水员必须共同遵守的操作规范·其中·短期不间断减压(即从水底至水面持续2至4分钟的匀速上升)是保障安全的关键环节·本研究制定的减压方案·专供科学潜水员在30米以浅深度·使用空气或40%氮氧混合气进行科研作业后实际应用·这些方案同时明确了为满足研究需求·潜水员在水下停留的极限允许时间·实践表明·全面采纳此优化制度·能显著提升经验不足科学潜水员的安全保障·同时有效增强在开阔大洋及大陆架海岸带研究中的科研产出效能·

关键词: 水下海洋学研究·科学潜水员·下潜制度优化·不间断减压·氮氧混合气·潜水安全

致谢: 这项工作是在IO RAS的状态分配框架内进行的(主题编号)· FMWE-2024-2026)·