International Divers Union

2020



TECHNICAL DIVER

www.idu-global.com

Технический дайвинг

Учебное пособие IDU · TECH-1 · TECH-1 Trimix · TECH-2 · TECH-3

Авторы: Владимир Поляков, Татьяна Чернова

International Divers Union · idu-global.com · 2026

Содержание

1. Технический дайвинг
2. Снаряжение
3. Газы
4. Давление и газовые законы
5. Физиология I
6. Физиология II
7. Баротравмы и медицинские аспекты
8. Стресс
9. Декомпрессионные модели
10. Подбор газовых смесей
11. Газ-менеджмент и планирование
12. Организация и командная работа
13. Аварийные ситуации
14. TECH-2
15. TECH-3

Ответы на вопросы для самопроверки

Список источников

ГЛАВА 1

Технический дайвинг

Определение технического погружения, основные правила и принцип самодостаточности.

Технический дайвинг — это погружения, при которых для возвращения на поверхность дайвер должен выполнить определённую последовательность процедур (техник). Погружение считается техническим, если оно соответствует хотя бы одному из следующих условий:

- глубина погружения более 40 м;
- превышение бездекомпрессионных лимитов, требующее обязательных декомпрессионных остановок при всплытии;
- погружение в надголовную среду (пещеры, шахты, затонувшие объекты), где прямое всплытие на поверхность невозможно;
- использование нескольких газовых смесей в течение одного погружения.

Технические погружения требуют от дайвера знаний, хорошей физической формы и высокой стрессоустойчивости. Любое техническое погружение обязательно планируется заранее.

ПЕРВОЕ ПРАВИЛО ТЕХНИЧЕСКОГО ДАЙВИНГА

Plan your dive. Dive your plan!
Планируй погружение и ныряй по плану!

Направления технического дайвинга

- глубоководный дайвинг;
- пещерный дайвинг;
- погружения и проникновение на затонувшие объекты (корабли, подводные лодки, самолёты и т. п.).

Для технических погружений применяются более сложные конфигурации снаряжения, и дайвер должен уметь грамотно ими пользоваться. Технические погружения выполняются с использованием различных газовых смесей — Nitrox, Trimix, Heliox — как на открытом, так и на закрытом цикле дыхания (ребризеры).

Цель, риск и право на отказ

У каждого технического погружения должна быть причина. Второе правило технического дайвинга гласит:

ВТОРОЕ ПРАВИЛО ТЕХНИЧЕСКОГО ДАЙВИНГА

Польза от погружения всегда должна превышать степень риска при его выполнении!

Перед любым техническим погружением дайвер должен ответить себе на три вопроса:

1. Для чего я совершаю это погружение, какова моя цель?
2. Достаточно ли у меня навыков и опыта, чтобы выполнить это погружение, не превышая разумной степени риска?
3. Оправдывает ли эта цель тот риск, на который я иду?

Оценив риски и преимущества, технический дайвер принимает решение о целесообразности погружения, руководствуясь третьим правилом:

ТРЕТЬЕ ПРАВИЛО ТЕХНИЧЕСКОГО ДАЙВИНГА

Дайвер в любой момент может отказаться от погружения или прервать погружение, подав сигнал напарнику!

Принцип самодостаточности

Один из основополагающих принципов подготовки технических дайверов — принцип самодостаточности:

> *Каждый технический дайвер должен быть в состоянии самостоятельно устранить все проблемы, возникшие во время погружения.*

Этот принцип важно понимать правильно. Он **не означает**, что технический дайвер должен погружаться в одиночку и не нуждается в напарниках. Технический дайвинг — командный вид дайвинга: взаимодействие и слаженная работа напарников лежат в основе комфортных и безопасных погружений. Принцип самодостаточности означает, что технический дайвер прежде всего не должен создавать проблем своим напарникам (членам команды). Помощь должна быть и будет оказана, но она не должна быть строго необходимой для его выживания.

> *Знания, навыки и снаряжение хорошего технического дайвера должны быть достаточными для совершения погружений в рамках уровня его сертификации.*

Теоретическая база по физике и физиологии — основа понимания процессов, которые протекают в организме человека при декомпрессионных погружениях. Эти знания помогают предотвратить серьёзные заболевания: декомпрессионную болезнь, кислородное отравление, барогипертензию и другие. Отточенные до автоматизма навыки плавания и работы со снаряжением сводят к минимуму вероятность критических ситуаций, а при поломке позволяют дайверу устранить её, не создавая новых проблем.

Вопросы для самопроверки

1. Какое из перечисленных погружений НЕ является техническим?

a. Погружение на 45 м

b. Погружение с обязательными декомпрессионными остановками

c. Погружение на 30 м в открытой воде на одном газе в пределах бездекомпрессионного лимита

d. Погружение с проникновением внутрь затонувшего корабля

2. Как звучит первое правило технического дайвинга?

a. Никогда не ныряй один

b. Планируй погружение и ныряй по плану

c. Всегда бери запасной фонарь

d. Не превышай глубину 40 м

3. Второе правило технического дайвинга гласит:

a. Польза от погружения всегда должна превышать степень риска при его выполнении

b. Газа должно хватать на погружение плюс 50 бар

c. Каждый дайвер отвечает только за себя

d. Снаряжение должно быть одинаковым у всей команды

4. Что говорит третье правило технического дайвинга?

a. Отказаться от погружения можно только до входа в воду

b. Прервать погружение может только лидер группы

c. Дайвер в любой момент может отказаться от погружения или прервать его, подав сигнал напарнику

d. Погружение прерывается, только если сработал компьютер

5. Как правильно понимать принцип самодостаточности?

a. Технический дайвер должен погружаться в одиночку

b. Технический дайвер не должен помогать напарникам, чтобы не рисковать собой

c. Технический дайвер способен сам решить свои проблемы под водой и не создаёт проблем напарникам; помощь возможна, но его выживание от неё не зависит

d. Технический дайвер должен нести больше снаряжения, чем напарники

6. Какие три вопроса дайвер задаёт себе перед техническим погружением?

a. Какая глубина, сколько газа, какая видимость

b. Какова моя цель; достаточно ли у меня навыков и опыта; оправдывает ли цель риск

c. Кто напарник, кто лидер, кто замыкающий

d. Какой алгоритм, какие градиент-факторы, какой газ

7. Какие направления относятся к техническому дайвингу?

a. Глубоководный, пещерный дайвинг и погружения на затонувшие объекты

b. Фридайвинг, подводная охота и снорклинг

c. Ночной, дрифтовый и фото-дайвинг

d. Только погружения на ребризерах

8. Какие дыхательные смеси и системы используются в техническом дайвинге?

a. Только воздух на открытом цикле

b. Только найтрокс

c. Nitrox, Trimix, Heliox — на открытом и закрытом (ребризеры) цикле

d. Только тримикс на ребризерах

ГЛАВА 2

Снаряжение

Конфигурация, дублирование и выбор снаряжения технического дайвера.

Надёжность и дублирование

Рекреационный дайвер при отказе снаряжения в крайнем случае может выполнить аварийное всплытие на поверхность. Технический дайвер выходит за пределы бездекомпрессионных лимитов или погружается в надголовную среду, поэтому при отказе снаряжения он не рассматривает прямое всплытие как выход из положения.

Закон Мерфи применительно к снаряжению технического дайвера звучит так:

> *Если что-либо из снаряжения может отказать, это обязательно произойдёт — причём в самый неподходящий момент.*

Поэтому все проблемы, возникшие на глубине, дайвер должен решать под водой. В этом ему помогает дублирование: каждый элемент снаряжения, от которого зависит жизнь, у технического дайвера есть в двух экземплярах.

Что необходимо для выживания технического дайвера?

- возможность дышать;
- возможность контролировать глубину и своё положение в воде;
- возможность знать, на какой глубине он находится и сколько времени там проводит;
- возможность видеть показания приборов и окружающую обстановку;
- возможность освободиться при запутывании в сетях или верёвках.

Соответственно, дублируется снаряжение, обеспечивающее эти функции:

- **два независимых источника газа** — спарка с изолирующим манифолдом или два отдельных баллона;
- **два регулятора для донной смеси** — основной и запасной (back-up), каждый с первой и второй ступенью;
- **двухкамерное крыло** или однокамерное крыло + сухой гидрокостюм;
- **два измерительных прибора** — боттом-таймеры и/или компьютеры;
- **две маски** и, при необходимости, как минимум два запасных фонаря;
- **два режущих инструмента** — нож, ножницы, стропорез.

К остальному снаряжению технического дайвера относятся ласты, регулятор для этапного (стейджевого) баллона, маркерный буй (SMB), катушка с линём и карабином, наручный слейт или блокнот с основным и аварийным планами погружения. Список может быть шире и зависит от условий, целей и задач погружения.

Подходите к подбору снаряжения здраво и не берите под воду десятки килограммов того, что не пригодится.

ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП

Ничего лишнего под водой, но всё необходимое — с собой.

Снаряжение должно быть надёжным, поэтому не экономьте на плановом обслуживании. Обслуживайте снаряжение в соответствии с требованиями производителя или раньше, если заметили малейшую неисправность: чем глубже вы погружаетесь, тем выше риски, связанные с отказом снаряжения.

Обтекаемость и минимизация точек зацепа

Снаряжение технического дайвера должно создавать минимально возможное сопротивление при плавании. Компактная компоновка и обтекаемый профиль — один из важнейших принципов сборки снаряжения. Снаряжение не должно мешать дайверу при прохождении узостей в пещерах и на затонувших кораблях. Неприлегающие или незакреплённые элементы создают опасность зацепа и застревания. Укладывайте (трассируйте) шланги так, чтобы не было торчащих петель и свободных концов. Дополнительное снаряжение крепите на поясном ремне, ремнях подвески или убирайте в карманы.

Баллоны для донного газа



Баллоны для дайвинга различаются по весу, материалу, плавучести и объёму. Материал баллона легко определить даже без маркировки: алюминиевые баллоны имеют плоское дно, стальные, как правило, закруглённое (некоторые производители, например BTS и Eurocylinder, выпускают стальные баллоны с частично вогнутым дном, которые можно использовать без башмака).

При одинаковом объёме алюминиевый баллон крупнее стального и обладает большей плавучестью: по мере расходования газа он становится положительно плавучим, тогда как стальной обычно остаётся отрицательным. Алюминиевые баллоны удобны в тёплой воде при минимальной термозащите. Стальные предпочтительнее при толстом мокром или сухом гидрокостюме — вес баллона компенсирует положительную плавучесть костюма.

При словах «технический дайвер» обычно представляется человек, обвешанный баллонами: два на спине, ещё несколько спереди и по бокам. Однако задача технического дайвера — не переноска тяжестей, а наличие достаточного запаса газа для запланированного погружения плюс адекватного резерва на непредвиденную ситуацию.

В техническом дайвинге используются спаренные баллоны (спарка) с изолирующим вентилем (манифолдом) или два независимых баллона, закреплённых по бокам дайвера (конфигурация

сайдмаунт). Для сборки спарки нужны два одинаковых баллона, комплект стяжных колец, специальные правый и левый вентили и манифолд, соединяющий их в одну систему. Каждый баллон соединён с отдельным регулятором. Если один регулятор выходит из строя или уходит во фри-флоу (свободную подачу газа), дайвер закрывает вентиль этого баллона и переходит на исправный регулятор, сохраняя газ.



Принцип работы вентильной группы спарки: все вентили открыты; закрыт левый вентиль; закрыт изолирующий вентиль манифолда

Умение закрывать и открывать вентили в аварийной ситуации, чтобы минимизировать потерю газа и найти точку отказа, — один из ключевых навыков выживания. Это упражнение называется **вентильный цикл** (valve drill), и вы освоите его на курсе.

Существует два типа соединения баллона с регулятором: DIN и Yoke (International). В техническом дайвинге используется только **DIN**: резьбовое соединение надёжнее и компактнее.

Наиболее распространённые объёмы баллонов для спарок донного газа — 10, 12, 15, 16, 18 и 20 литров. Классическое рабочее давление — 200 и 232 бар, значительно реже 300 бар.

Помните о правилах освидетельствования баллонов. Гидростатические испытания проводятся в сроки, установленные законодательством страны, где используются баллоны, визуальная инспекция — ежегодно. Проверку выполняют только лицензированные организации. Баллоны, не прошедшие гидростатические испытания, бракуются и утилизируются.

Этапные баллоны (стейджи)



Этапные баллоны (стейджи) служат для хранения и транспортировки декомпрессионных (deco) и этапных (travel) газов. Они располагаются сбоку и крепятся карабинами к D-кольцам подвески, что позволяет легко подсоединять и снимать баллон как на поверхности, так и под водой. Один этапный баллон технический дайвер крепит слева: верхний карабин — к D-кольцу на уровне подключичной впадины, нижний — к D-кольцу на поясном ремне. Несколько баллонов можно располагать по обе стороны тела или все слева, в том числе на нижнем левом D-кольце с помощью дополнительного крепления («шлейки»). Методы крепления для разных условий вы отработаете на практических занятиях с инструктором.

Критерии выбора этапного баллона — объём, вес и диаметр. Предпочтительный материал — алюминий: такой баллон близок к нейтральной плавучести и меньше нарушает баланс тела на плаву и на декомпрессионных остановках. Этапный баллон должен содержать газ на все декомпрессионные остановки плюс резерв. Рекомендуемое

правило газ-менеджмента для декомпрессионных газов — принцип двойного запаса (подробно — в главе «Газ-менеджмент и планирование»).

Классические этапные баллоны — S40 (≈ 5,7 л) и S80 (≈ 11,1 л) с рабочим давлением 200 или 232 бар.

Снаряжение, контактирующее со смесями с содержанием кислорода **более 40%**, должно пройти кислородную очистку, а баллон — иметь совместимый с кислородом вентиль. В ряде стран требования строже (например, очистка для любых смесей с O2 выше 21%) — соблюдайте местные нормы. Правила освидетельствования едины для всех баллонов для дайвинга.

Идентификация баллонов

Баллоны с донной смесью и этапные баллоны должны иметь чёткую маркировку. Наклейка «Nitrox», «Enriched Air Nitrox» или «Oxygen» обозначает баллоны с найтроксом или кислородом. Маркировка «Custom Mix» или «Trimix» используется для баллонов, которые могут содержать гелий. На каждом баллоне должен быть стикер с указанием максимальной рабочей глубины (MOD — Maximum Operating Depth), состава смеси, даты заправки и имени или инициалов дайвера.

Стикеры на этапных баллонах располагают так, чтобы и сам дайвер, и его напарники видели MOD во время погружения.

Баллоны, предназначенные для смесей с содержанием кислорода более 40%, дополнительно маркируются наклейкой «O2 Clean» («Обслужено для работы с кислородом»). Каждый баллон должен иметь стикер текущей визуальной инспекции.

> **ВАЖНО**
>
> Дайвер лично анализирует содержание кислорода (а для тримикса — и гелия) в каждом баллоне и рассчитывает максимальную рабочую глубину перед использованием.

Регуляторы для донной смеси



К регуляторам для донной смеси предъявляются повышенные требования: это основной элемент вашей системы жизнеобеспечения. От их надёжности и лёгкости дыхания зависят комфорт и безопасность. Выбор непрост, но вам помогут информация производителей, независимые тесты в профильных изданиях и советы технического инструктора. Каталог производителя — лишь отправная точка; подходите к выбору критично и объективно. Руководствуйтесь следующими принципами:

- известный бренд с историей эксплуатации;

- соответствие конструкции вашим задачам (количество и расположение портов, поворотная турель, сухая камера и т. п.);
- простота и надёжность конструкции — ничего лишнего, ведь каждый элемент является потенциальной точкой отказа;
- доступность запчастей и сервисных центров.

Важные конструктивные особенности: сбалансированность первой и второй ступени; пригодность для холодной воды (на глубине вода может быть значительно холоднее); достаточное количество портов высокого и среднего давления (HP и LP) и их удобное расположение для укладки шлангов.

Классическая конфигурация регуляторов для спарки:

- **Правая стойка:** первая и вторая ступень на длинном шланге (рекомендуемая длина — 2,0–2,1 м). При использовании двухкамерного крыла или сухого костюма — дополнительный шланг поддува.
- **Левая стойка:** первая и вторая ступень на шланге стандартной длины, шланг инфлятора крыла, подводный манометр.

На правой стойке манометра нет: при открытом манифолде манометр левой стойки показывает давление в обоих баллонах спарки.

Классическая конфигурация регуляторов для двух независимых баллонов в системе сайдмаунт:



- **Правая стойка:** первая и вторая ступень на длинном шланге (2,0–2,1 м), манометр на коротком шланге (15–22 см), шланг поддува.
- **Левая стойка:** первая и вторая ступень на шланге стандартной длины, шланг поддува камеры сайдмаунта, манометр на коротком шланге (15–22 см).

Конфигурация сайдмаунт отличается от спарочной: баллоны независимы, поэтому нужны два манометра — по одному на каждом баллоне.

Регуляторы для этапных баллонов

Требования к стейджевым регуляторам практически те же, что и к регуляторам для донной смеси: надёжность и лёгкость дыхания.



Дополнительное требование — совместимость с кислородом. Как вы помните из курса Nitrox Diver, всё снаряжение, контактирующее со смесями с содержанием кислорода более 40%, должно быть очищено для работы с кислородом. Выбор таких регуляторов на рынке достаточно широк. Не используйте кислородно-очищенный регулятор с баллонами, содержащими

воздух или найтрокс с низким содержанием кислорода (заправленные через обычный компрессор), — это может загрязнить регулятор.

Классическая конфигурация стейджевого регулятора: первая и вторая ступень на шланге стандартной длины или длиной около 90 см, подводный манометр на коротком шланге (15–22 см).

Системы контроля плавучести



Системы контроля плавучести в техническом дайвинге существенно отличаются от рекреационных. Рекреационные жилеты и однокамерные крылья малого объёма для технических погружений не подходят.

Техническая система плавучести для спарки состоит из:

- **жёсткой спинки** из нержавеющей стали (или алюминия, титана, композитных материалов), которая прикручивается к шпилькам стяжных колец спарки;
- **компенсатора плавучести в виде крыла** — с гораздо большей подъёмной силой и размерами, чем у рекреационных моделей;
- **подвесной системы** (моностропы) со специальными D-кольцами.



Жёсткая спинка обеспечивает надёжное крепление спарки к спине дайвера. Её вес и толщина зависят от целей и условий погружений. Если вы много путешествуете, удобнее лёгкая титановая или алюминиевая спинка. Если вы часто ныряете в сухом костюме рядом с домом, тяжёлая стальная спинка поможет уменьшить количество груза.

Технические крылья бывают разной формы (подкова или «бублик»), с утягивающими бандажами или без них, с одной или двумя воздушными камерами. Главный параметр — **подъёмная сила**. Распространённые значения: 18 кг (40 lbs), 20 кг (45 lbs), 22,5 кг (50 lbs), 27 кг (60 lbs), 36 кг (80 lbs), 45 кг (100 lbs). Для погружений в тёплой воде на начальные технические глубины в тонком гидрокостюме с алюминиевой спаркой и одним стейджем достаточно крыла на 40–45 lbs. Для более глубоких погружений с более тёплой термозащитой, спаркой большего объёма и несколькими этапными баллонами нужны крылья с большей подъёмной силой.

Подвесная система крепит всю конструкцию к дайверу, а её D-кольца позволяют надёжно закрепить этапные баллоны и другое снаряжение. Мягкие накладки на плечи и спину добавляют комфорта без ущерба для функциональности. Классическая подвеска для технического дайвинга — **система Хогарта**: неразъёмная стропа (моностропа) шириной 50 мм с пятью D-кольцами, металлической пряжкой, пластиковой пряжкой для фиксации канистры фонаря и паховым ремнём.

Другой вид технических компенсаторов плавучести — системы сайдмаунт. Их на рынке также множество, и они различаются подъёмной силой. Выбирайте систему, отвечающую требованиям ваших погружений.



Компьютеры и цифровые измерительные приборы



Цифровые измерительные приборы нужны и на тренировочных погружениях курса, и в дальнейшем. Минимальные требования к приборам для технического дайвинга — измерение и отображение глубины и времени погружения. Такие приборы называют **боттом-таймерами** (от англ. bottom — дно). Они только фиксируют текущие параметры и не рассчитывают декомпрессию. **Наличие двух приборов — минимальное требование для технических погружений.**

Особый интерес для технических дайверов представляют мультигазовые декомпрессиметры: они рассчитывают погружения с использованием нескольких (до 10) газовых смесей, позволяют выбирать алгоритм и настраивать консерватизм, хранят журнал и профили погружений, планируют погружения с учётом накопленных декомпрессионных обязательств. Посоветуйтесь с техническим инструктором, прежде чем покупать мультигазовый компьютер для курса, и потренируйтесь переключать газы на компьютере до начала декомпрессионных погружений.

Система термозащиты



Главная задача термозащиты — минимизировать теплопотери дайвера. **Переохлаждение (гипотермия)** — результат воздействия низкой температуры на организм в целом: возникает спазм периферических сосудов и нарушается питание тканей. Причиной может стать неправильно подобранный гидрокостюм или длительное пребывание в воде. Различают лёгкую и тяжёлую степень переохлаждения.

Лёгкая степень — тепловая саморегуляция организма работает. Признаки: озноб, мышечная дрожь, судороги икроножных мышц, общая слабость, «гусиная кожа», посинение носогубного треугольника. Нужно выйти из воды, переодеться в сухую одежду, выпить тёплый сладкий напиток.

Тяжёлая степень — саморегуляция нарушена: дрожь прекращается, температура тела снижается, кожа резко синеет, появляются сонливость и нарушение координации; дальнейшее охлаждение ведёт к потере сознания и коме. Тяжёлое переохлаждение требует немедленной медицинской помощи. Обращайтесь с пострадавшим бережно, держите его в горизонтальном положении, изолируйте от холода и ветра, согревайте прежде всего туловище (грудь, подмышки, пах), не растирайте конечности.

Гидрокостюм должен подходить для всего диапазона температур на всех этапах погружения. Переохлаждение:

- увеличивает риск декомпрессионной болезни;
- усиливает газовый наркоз;
- повышает риск кислородной интоксикации ЦНС;
- повышает уровень стресса.

Мокрые гидрокостюмы подходят для технических погружений в тёплых морях, но на глубине неопрен сжимается и теряет теплоизоляцию как раз там, где вода обычно холоднее всего. Сжатие неопрена также уменьшает плавучесть, и для её компенсации нужно больше газа в крыле. Если вы выбираете мокрый костюм для глубоких погружений, выбирайте более толстые модели и/или полусухие костюмы.

Сухие гидрокостюмы полностью изолируют тело от воды (подробнее — на курсе Dry Suit Diver). Технические дайверы часто используют для поддува сухого костюма **аргон**: его теплопроводность примерно в 1,5 раза ниже, чем у воздуха, и в 8,6 раза ниже, чем у гелия. **Гелийсодержащие смеси для поддува сухого костюма не используют** — из-за высокой теплопроводности гелия.

Грузовые системы



Технические дайверы, выполняющие декомпрессионные погружения, предпочитают встроенную систему грузов вместо грузовых поясов или карманов со сбросом. Принцип аварийного сброса груза в техническом дайвинге не применяется: потеря груза при декомпрессионных обязательствах может привести к неконтролируемому всплытию, тяжёлой травме и гибели. Поэтому груз жёстко фиксируют на спарке или используют систему, исключающую его случайную потерю.

Самый распространённый вариант для спарки — **V-образный груз** (V-weight), который устанавливается между баллонами и фиксируется спинкой подвески — стяжными болтами или просто вкладывается. Допустимо крепить грузы баллонными ремнями непосредственно на баллоны спарки, но это нарушает обтекаемость, что особенно критично в пещерах и на затонувших кораблях.

Режущий инструмент



Нож, стропорез, ножницы и другой режущий инструмент нужны, чтобы освободиться при запутывании. Располагайте их на поясном или плечевом ремне подвески — там, где их легко достать **любой рукой**. Рекомендуется иметь не менее двух режущих инструментов в разных местах, желательно разного типа, например стропорез и нож.

Выбор инструмента зависит от возможных опасностей: стропорезы хорошо режут леску и старые ходовые концы, ножи с серрейтором — толстые верёвки, ножницы или секатор — рыболовные сети и провода.

Шпули и катушки



Шпули и катушки используются для маркировки маршрута в надголовной среде (вместе с указателями, по которым дайвер возвращается к точке входа или выхода) и для запуска маркерных буёв. Их классифицируют по количеству линя и назначению: основные ходовые катушки вмещают 60–300 м линя, шпули — от 12 до 45 м.

Маркерные буи и подъёмные мешки



Поверхностный маркерный буй (SMB) обозначает место всплытия, служит ориентиром при декомпрессионных остановках и сигнализирует обеспечивающему персоналу о местонахождении дайвера. Его используют в открытой воде, когда декомпрессия проходит без визуальных ориентиров, и при технических погружениях в дрейфе. Буй запускают с разной глубины в зависимости от обстоятельств.

Главное правило при запуске буя со дна — убедиться, что на катушке достаточно линя, чтобы буй достиг поверхности. Линь стравливают, пока буй не выйдет на поверхность, затем сматывают по мере всплытия до глубины остановки. Существуют разные соглашения о том, какой цвет буя означает «всё в порядке», а какой — «проблема внизу»; ваш инструктор расскажет, какие цвета приняты в вашем регионе.

Слейты и блокноты

Составление плана погружения со всеми декомпрессионными остановками — обязательный этап подготовки. План переносится в водостойкий блокнот (wet notes) или на слейт. Записи должны быть легко читаемыми и доступными в любой момент погружения. Слейт и блокнот служат также для общения в команде (записи и рисунки) и для фиксации наблюдений.



Подводный свет: основные и запасные фонари



Основной фонарь выбирают по времени работы, яркости, фокусировке луча, габаритам, массе и удобству. Время работы должно превышать продолжительность всех фаз погружения, включая декомпрессию.

Фонари традиционной компоновки (моноблоки или с пистолетной рукояткой) неудобны, когда нужны обе руки — например, при запуске буя или работе с этапными баллонами. Решение — **ручка Гудмана** (мягкая или жёсткая), которая используется как с моноблочными, так и с канистровыми фонарями.

Долгое время основным светом в техническом дайвинге были почти исключительно канистровые фонари. Сегодня благодаря развитию аккумуляторов и светодиодов всё шире применяются моноблоки.

Канистровый фонарь состоит из канистры с аккумулятором (обычно на поясном ремне) и световой головки с ручкой Гудмана, соединённых кабелем. Это уменьшает размер и массу головки, увеличивает ёмкость аккумулятора и не позволяет потерять фонарь, если он выпадет из рук.

Запасные фонари (их количество зависит от условий) обычно крепятся карабином к грудным D-кольцам и фиксируются на ремне резиновыми кольцами, чтобы прилегать к телу. Время работы запасного фонаря должно быть не меньше продолжительности всего запланированного погружения, а яркость и параметры луча — отвечать задачам погружения. **Перед каждым погружением все фонари должны быть полностью заряжены** (или с новыми элементами питания).

Размещение снаряжения

Размещение снаряжения определяется его доступностью и удобством использования. Ни одно пособие не может описать оптимальную конфигурацию для любых условий; здесь рассмотрены основные виды и принципы использования базового технического снаряжения.

> **ИТОГ ГЛАВЫ**
>
> Вы узнали, какое снаряжение нужно для технических погружений, чем оно отличается от рекреационного и как его конфигурировать, чтобы погружения были удобными и безопасными. Самый важный элемент снаряжения технического дайвера — голова: способность думать, анализировать и принимать решения.

Вопросы для самопроверки

1. Как технический дайвер обеспечивает два независимых источника донного газа?

a. Одним баллоном с двумя регуляторами на Y-вентиле
b. Спаркой с изолирующим манифолдом или двумя отдельными баллонами (сайдмаунт)
c. Одним баллоном большого объёма
d. Запасным мини-баллоном (pony) на 1,5 литра

2. Почему в техническом дайвинге используется только соединение DIN?

a. Оно дешевле
b. Оно подходит к любому компрессору
c. Резьбовое соединение надёжнее и компактнее
d. Оно легче соединения Yoke

3. Какова рекомендуемая длина длинного шланга основного регулятора?

a. 90 см
b. 1,5 м
c. 2,0–2,1 м
d. 3,0 м

4. Почему в классической конфигурации спарки на правой стойке нет манометра?

a. Манометр мешает длинному шлангу
b. При открытом манифолде манометр на левой стойке показывает давление в обоих баллонах
c. Правый баллон всегда резервный и его давление не контролируют
d. Манометр устанавливается только на стейдж

5. Сколько манометров нужно в конфигурации сайдмаунт с двумя баллонами?

a. Один, на правом баллоне

b. Один, на левом баллоне

c. Два — по одному на каждом баллоне

d. Манометры не нужны, давление показывает компьютер

6. Для смесей с каким содержанием кислорода снаряжение должно пройти кислородную очистку (общее правило; местные нормы могут быть строже)?

a. Более 21%

b. Более 32%

c. Более 40%

d. Только для 100% кислорода

7. Почему для этапных баллонов предпочитают алюминий?

a. Алюминий прочнее стали

b. Алюминиевый баллон близок к нейтральной плавучести и меньше нарушает баланс дайвера

c. Алюминиевые баллоны не требуют освидетельствования

d. В алюминиевый баллон помещается больше газа

8. Каково минимальное требование к измерительным приборам для технических погружений?

a. Один мультигазовый компьютер

b. Два прибора (боттом-таймеры и/или компьютеры), показывающие глубину и время

c. Компьютер и механический глубиномер

d. Только часы и таблицы

9. Почему сухой гидрокостюм не поддувают гелиевыми смесями?

a. Гелий взрывоопасен

b. Гелий токсичен при контакте с кожей

c. Гелий обладает высокой теплопроводностью и усиливает теплопотери

d. Гелий повреждает клапаны сухого костюма

10. Почему в техническом дайвинге не используют сбрасываемые грузы?

a. Они дороже встроенных

b. Потеря груза при декомпрессионных обязательствах может привести к неконтролируемому всплытию, травме и гибели

c. Сбрасываемые грузы запрещены производителями крыльев

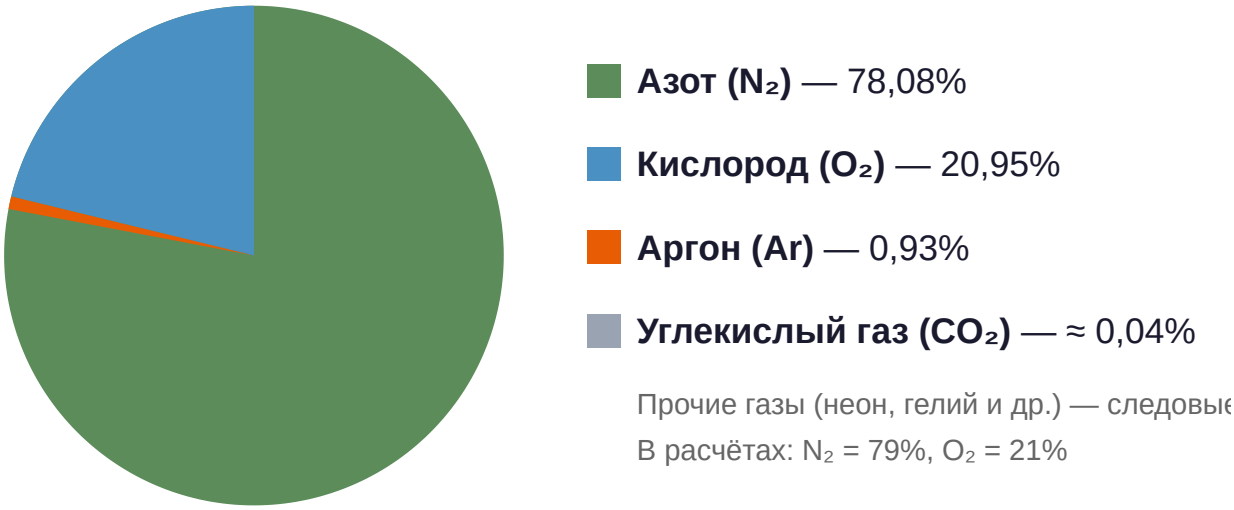
d. Они мешают подключать стейджи

ГЛАВА 3

Газы

Кислород, азот, гелий, аргон, углекислый и угарный газ — их свойства и действие на организм.

Дыхательные смеси технического дайвера состоят из нескольких газов, и у каждого из них — своя роль и свои опасности. Понимание свойств газов — основа их правильного выбора и безопасного использования.



Состав сухого атмосферного воздуха

Кислород

Кислород — 8-й элемент периодической системы Д. И. Менделеева, обозначается символом **O** (лат. Oxygenium). Это химически активный элемент. При нормальных условиях кислород — газ без цвета, вкуса и запаха; его молекула состоит из двух атомов (**O_2**).

Кислород необходим для выработки энергии в организме: в клетках он участвует в **клеточном дыхании** — окислении питательных веществ (углеводов и жиров), при котором высвобождается энергия. При снижении парциального давления кислорода во вдыхаемом газе снижается его содержание в крови и падает активность организма на клеточном уровне. Головной мозг потребляет около 20% всего кислорода, поэтому при его нехватке в первую очередь страдают самочувствие, внимание и работоспособность. Именно поэтому медики дают кислород пострадавшим в тяжёлом состоянии.

Однако избыток кислорода тоже опасен. **Кислородное отравление** возникает при дыхании чистым кислородом или смесями с повышенным парциальным давлением кислорода. Его выраженность зависит от парциального давления и от времени воздействия (экспозиции).

Основной механизм — **окислительный стресс**: при избытке кислорода в тканях образуется много активных форм кислорода (свободных радикалов), которые повреждают мембраны клеток, ферменты и нервную ткань. Поражаются в первую очередь центральная нервная система и лёгкие.

Различают две формы кислородной интоксикации: **интоксикацию ЦНС** (центральной нервной системы) и **общую (лёгочную) кислородную интоксикацию**. Обе подробно рассмотрены в главе «Физиология I».

Азот

Азот — 7-й элемент периодической системы, обозначается символом **N** (лат. Nitrogenium), молекула — **N_2**. Это двухатомный газ без цвета, вкуса и запаха, один из самых распространённых элементов на Земле. Название «азот» («безжизненный») предложил в 1787 году Антуан Лавуазье — уже тогда было известно, что азот не поддерживает ни горения, ни дыхания.

В воздухе около 78% азота. При нормальном давлении азот физиологически инертен — он не участвует в обмене веществ. Однако с ростом давления растёт его парциальное давление и, согласно закону Генри, его растворимость в крови и тканях. Количество растворённого азота зависит от глубины (давления) и времени пребывания на ней. Дыхание азотом при повышенном парциальном давлении может вызвать **азотный (газовый) наркоз** и **декомпрессионную болезнь**.

Углекислый газ

Диоксид углерода (углекислый газ, CO_2) — бесцветный газ без запаха. В атмосферном воздухе его около **0,04%** (≈ 420 ppm, и эта величина постепенно растёт). В организме CO_2 образуется как конечный продукт окислительных процессов.

Организм поддерживает уровень CO_2 в крови постоянным. Дыхательный центр в продолговатом мозге получает сигналы от периферических хеморецепторов (в сонных артериях и дуге аорты) и центральных хеморецепторов и очень чувствителен к росту CO_2: даже небольшое повышение CO_2 в альвеолярном воздухе (на 0,2%) почти вдвое увеличивает лёгочную вентиляцию. Именно уровень CO_2, а не нехватка кислорода, вызывает желание сделать вдох.

Накопление CO_2 (гиперкапния) усиливает газовый наркоз и повышает риск кислородных судорог и декомпрессионной болезни — подробнее в главе «Физиология II».

Угарный газ

Монооксид углерода (угарный газ, окись углерода, CO) — бесцветный, чрезвычайно токсичный газ без вкуса и запаха, чуть легче воздуха. Он образуется при неполном сгорании топлива и содержится в выхлопных газах двигателей и сигаретном дыме.

Для дайвера главный источник опасности — **загрязнённый газ в баллоне**: неисправный фильтр компрессора, перегрев компрессора или забор воздуха рядом с выхлопом двигателя. Концентрация, безвредная на поверхности, на глубине становится опасной: парциальное давление CO растёт пропорционально абсолютному давлению.

Сродство CO к гемоглобину примерно в **200–250 раз выше**, чем у кислорода. Гемоглобин, связанный с угарным газом (карбоксигемоглобин), не переносит кислород, и развивается кислородное голодание тканей — прежде всего головного мозга.

Гелий

Гелий — второй элемент периодической системы, обозначается символом **He** (лат. Helium). Это инертный одноатомный газ без цвета, вкуса и запаха, второй по распространённости элемент во Вселенной после водорода и второй по лёгкости. Гелий получают из природного газа методом низкотемпературного разделения.

В дайвинге гелий используют как компонент дыхательных смесей (тримикс, гелиокс) для **снижения наркотического действия** смеси — это его главное преимущество. Гелий также намного легче азота, поэтому смесь с гелием легче вдыхать на глубине. У гелия есть и недостатки.

Во-первых, гелий насыщает и покидает ткани быстрее азота: его молекулы легче, и скорость диффузии примерно в 2,65 раза выше. Поэтому для гелиевых смесей нужны собственные декомпрессионные расчёты; современные алгоритмы (например, ZH-L16) используют для гелия отдельные времена полунасыщения тканей.

Во-вторых, гелий обладает высокой теплопроводностью: при дыхании им дайвер быстрее теряет тепло, а для поддува сухого костюма гелиевые смеси не используют.

В-третьих, гелий дорог и доступен не во всех регионах мира.

В-четвёртых, при очень глубоких погружениях проявляется **нервный синдром высокого давления (НСВД, HPNS)** — расстройство центральной нервной системы, которое возникает на глубинах более 130–150 м и проявляется тремором, головокружением, тошнотой, нарушением координации. Чем быстрее спуск (рост давления), тем сильнее симптомы. Для снижения HPNS добавляют в смесь небольшое количество азота (в экспериментах — водорода) и уменьшают скорость спуска, иногда с остановками. Подробнее — в главе «Физиология II».

Аргон

Аргон (Ar) — 18-й элемент периодической системы, инертный газ, около 0,93% атмосферного воздуха. В дайвинге аргон используют не в дыхательных смесях, а для **поддува сухого гидрокостюма**: низкая теплопроводность и невысокая цена делают его хорошим теплоизолятором.

Как компонент дыхательной смеси аргон обладает **сильным наркотическим действием** — сильнее азота, так как хорошо растворяется в липидах. Поэтому дышать аргоном нельзя:

баллон с аргоном для поддува костюма должен быть маленьким, чётко промаркированным и подключённым только к клапану сухого костюма.

> **ЗАПОМНИТЕ**
>
> Кислород — жизненно необходим, но токсичен при высоком парциальном давлении. Азот — наркотичен и ответственен за декомпрессионную болезнь. Гелий — снижает наркоз, но холодит и требует отдельных декомпрессионных расчётов. Аргон — только для сухого костюма. CO_2 и CO — опасные примеси, которых в дыхательной смеси быть не должно.

Вопросы для самопроверки

1. Каков основной механизм кислородной токсичности?

a. Вытеснение азота из тканей
b. Окислительный стресс: образование активных форм кислорода (свободных радикалов), повреждающих клетки
c. Связывание кислорода с гемоглобином вместо углекислого газа
d. Повышение плотности дыхательной смеси

2. От чего зависит выраженность кислородного отравления?

a. Только от глубины погружения
b. Только от температуры воды
c. От парциального давления кислорода и времени воздействия
d. От процентного содержания азота в смеси

3. Сколько углекислого газа содержится в современном атмосферном воздухе?

a. ≈ 0,04%
b. ≈ 0,4%
c. ≈ 1%
d. ≈ 4%

4. Что в первую очередь вызывает у человека желание сделать вдох?

a. Снижение уровня кислорода в крови
b. Рост уровня углекислого газа в крови
c. Рост парциального давления азота
d. Снижение температуры тела

5. Почему угарный газ в баллоне опасен на глубине даже в малой концентрации?

a. Он вызывает азотный наркоз

b. Его парциальное давление растёт пропорционально абсолютному давлению, а сродство CO к гемоглобину в 200–250 раз выше, чем у кислорода

c. Он делает смесь гипоксической

d. Он вызывает HPNS

6. Какое главное преимущество даёт гелий в дыхательной смеси?

a. Уменьшает теплопотери

b. Снижает наркотическое действие смеси и облегчает дыхание на глубине

c. Ускоряет декомпрессию в любом случае

d. Позволяет поддувать сухой костюм

7. Почему для гелиевых смесей нужны отдельные декомпрессионные расчёты?

a. Гелий токсичен для нервной системы

b. Гелий насыщает и покидает ткани быстрее азота (скорость диффузии примерно в 2,65 раза выше)

c. Гелий не растворяется в крови

d. Гелий повышает парциальное давление кислорода

8. Для чего в техническом дайвинге используют аргон?

a. Как компонент донной смеси для снижения наркоза

b. Как декомпрессионный газ

c. Для поддува сухого гидрокостюма благодаря низкой теплопроводности

d. Для снижения HPNS на больших глубинах

ГЛАВА 4

Давление и газовые законы

Давление, единицы измерения, законы Бойля–Мариотта, Шарля, Гей-Люссака, Дальтона и Генри.

Большинство теоретических и практических аспектов дайвинга так или иначе связаны с давлением. Прежде чем говорить о газовых законах, определим, что такое давление и как оно действует на дайвера.

Понятие давления

Давление — физическая величина, равная отношению силы к площади поверхности, перпендикулярно которой эта сила действует. Если сила равномерно распределена по поверхности, давление характеризует силу, приходящуюся на каждую единицу площади.

```
P = F / S
P — давление, F — сила, S — площадь
Единица давления в СИ — паскаль: 1 Па = 1 Н/м²
```

Давление, действующее на дайвера

Давление, действующее на дайвера, складывается из двух величин: **атмосферного давления** и **давления водяного столба** (гидростатического давления).

Атмосферное давление

Атмосферное давление — давление воздуха на все находящиеся в нём тела. Оно существует благодаря притяжению атмосферы к Земле. Впервые его экспериментально измерил в **1643 году** итальянский физик и математик Эванджелиста Торричелли.

Опыт Торричелли: стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца, заполняют ртутью, закрывают отверстие, переворачивают и опускают в чашку с ртутью. Часть ртути выливается, а в трубке остаётся столб определённой высоты, над которым образуется пустота («торричеллиева пустота»). Давление столба ртути уравновешивает давление атмосферы. Давление, уравновешиваемое столбом ртути высотой 760 мм при 0 °C, называют **нормальной (физической) атмосферой** — 1 атм.

Высота ртутного столба, а значит, и атмосферное давление зависят от погоды и высоты над уровнем моря. Вблизи уровня моря при подъёме давление падает примерно на 1 мм рт. ст. на каждые 10–12 м высоты. Это важно при погружениях в высокогорных водоёмах.

Единицы измерения давления

Единица	Определение и соотношение
Паскаль (Па, Pa)	Единица СИ: давление силы 1 Н, равномерно распределённой по площади 1 м². 1 Н — сила, сообщающая телу массой 1 кг ускорение 1 м/с².
Бар (bar)	1 бар = 10^5 Па = 100 000 Па
Физическая атмосфера (атм, atm)	1 атм = 101 325 Па = 760 мм рт. ст. ≈ 1,013 бар
Техническая атмосфера (ат, at)	Давление силы 1 кгс на площадь 1 см²; 1 ат ≈ 0,98 бар
Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст., торр)	1 мм рт. ст. = 101 325 / 760 ≈ 133,3 Па
Psi (фунт на кв. дюйм)	1 psi ≈ 6895 Па; 1 бар ≈ 14,5 psi

В практике дайвинга с достаточной точностью принимают: **1 атм ≈ 1 бар ≈ 1 ата**.

Гидростатическое давление

Давление покоящейся жидкости на дно, стенки сосуда или погружённое в неё тело называется **гидростатическим**. Оно прямо пропорционально плотности жидкости и высоте её столба. Согласно **закону Паскаля**, давление в жидкости или газе передаётся во всех направлениях одинаково.

```
P = ρ · g · h
ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения (≈ 9,81 м/с²), h — высота столба
```

Высота водяного столба, давление которого равно одной атмосфере:

```
ρртути · g · 0,760 м = ρводы · g · h
Пресная вода (ρ = 1000 кг/м³):  h = 13 595 × 0,760 / 1000 ≈ 10,3 м
Морская вода (ρ ≈ 1030 кг/м³):  h = 13 595 × 0,760 / 1030 ≈ 10,0 м
```

Следовательно, гидростатическое давление, действующее на дайвера:

```
Ргидр = глубина / 10       — морская вода
Ргидр = глубина / 10,3     — пресная вода
```

Абсолютное давление

Абсолютное давление (давление окружающей среды, ата) равно сумме атмосферного и гидростатического давления:

```
Рабс = глубина / 10 + 1       — морская вода
Рабс = глубина / 10,3 + 1     — пресная вода
```

Когда речь идёт о давлении, действующем на дайвера, всегда имеется в виду абсолютное давление. **Большинство травм и заболеваний в дайвинге связаны с воздействием повышенного давления.**

Газовые законы

Состояние газа описывается четырьмя параметрами: давлением (P), объёмом (V), массой (m) и температурой (T). Связь между ними выражают газовые законы — законы Бойля–Мариотта, Шарля, Гей-Люссака, Дальтона, Генри. Строго они справедливы для **идеального газа** — модели, в которой молекулы не притягиваются друг к другу, считаются материальными точками и взаимодействуют только упругими столкновениями. Воздух и дыхательные смеси не являются идеальными газами, но в диапазоне давлений дайвинга эти законы хорошо объясняют происходящее при погружении.

Закон Бойля–Мариотта (давление — объём)

Закон установлен английским учёным Робертом Бойлем (1662) и независимо от него французом Эдмом Мариоттом (1676):

> *Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления на объём есть величина постоянная.*

```
P₁ · V₁ = P₂ · V₂ = const
1 × 1 = 2 × 0,5 = 4 × 0,25
```

Во сколько раз увеличилось абсолютное давление, во столько раз уменьшился объём газа. Закон Бойля–Мариотта объясняет уменьшение плавучести гидрокостюма с глубиной, обжим маски и сухого костюма, «закладывание» ушей при спуске и баротравмы.

Давление и плотность. Во сколько раз возрастает давление, во столько же раз возрастает плотность газа (число молекул в единице объёма). Объём лёгких дайвера под водой остаётся прежним, но газ подаётся под давлением окружающей среды, и за каждый вдох в лёгкие поступает больше молекул. Поэтому **расход газа растёт пропорционально абсолютному давлению**: на 30 м (4 ата) дайвер расходует газ в 4 раза быстрее, чем на поверхности.

Закон Шарля (давление — температура)

> *Для данной массы газа при постоянном объёме давление прямо пропорционально абсолютной температуре.*

```
P₁ / T₁ = P₂ / T₂        (m = const, V = const)
```

При нагревании давление в жёстком сосуде (баллоне) растёт, при охлаждении — падает. В расчётах давление и температура берутся только в **абсолютных** величинах.

Абсолютная температура. Шкала Кельвина начинается от абсолютного нуля. Один кельвин равен одному градусу Цельсия по величине, а 0 °C соответствует 273,15 K:

```
T (K) = t (°C) + 273,15 ≈ t (°C) + 273
```

Абсолютное давление в баллоне. Манометр показывает избыточное давление, поэтому к его показанию прибавляют атмосферное:

```
Рабс = Рманометр + 1
```

Пример. Баллон заправлен до 210 бар при температуре 37 °C, а вода имеет температуру 20 °C. Каким будет давление после охлаждения баллона в воде?

```
P₁ = 210 + 1 = 211 бар (абс.),  T₁ = 37 + 273 = 310 K,  T₂ = 20 + 273 = 293 K
P₂ = P₁ × T₂ / T₁ = 211 × 293 / 310 ≈ 199,4 бар (абс.)
Показание манометра ≈ 199,4 − 1 ≈ 198 бар
```

Закон Шарля объясняет, почему нельзя нагревать заполненные баллоны и почему давление в баллоне падает при погружении в холодную воду.

Закон Гей-Люссака (объём — температура)

> *Для данной массы газа при постоянном давлении объём прямо пропорционален абсолютной температуре.*

```
V₁ / T₁ = V₂ / T₂        (m = const, P = const)
```

Если гибкий герметичный контейнер перенести из тёплого помещения на холод, его объём уменьшится, а давление в нём останется прежним.

Газовые смеси. Закон Дальтона

Дайвер дышит газом, подаваемым под давлением окружающей среды. Воздух — это смесь газов: азота, кислорода, аргона, углекислого газа, водяного пара и примесей. Давление смеси — это суммарное давление всех входящих в неё газов, и каждый газ оказывает давление пропорционально своей доле в смеси.

> *Закон Дальтона: давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов, входящих в смесь.*

```
P = pp₁ + pp₂ + pp₃ + … + ppₙ
```

Парциальное давление — давление, которое имел бы газ из смеси, если бы он один занимал весь её объём при той же температуре.

```
pp газа = (доля газа в %) / 100 × Рабс
```

Примеры.

```
Азот на поверхности:        ppN₂ = 0,78 × 1 = 0,78 ата
Кислород на 40 м (воздух):  Рабс = 40/10 + 1 = 5 ата;  ppO₂ = 0,21 × 5 = 1,05 ата
```

Для упрощения расчётов состав воздуха принимают N_2 = 79%, O_2 = 21%. Рост парциальных давлений с глубиной:

Глубина	Рабс, ата	ppN_2, ата	ppO_2, ата
0 м	1	0,79	0,21
10 м	2	1,58	0,42
20 м	3	2,37	0,63
30 м	4	3,16	0,84
40 м	5	3,95	1,05

С глубиной растёт абсолютное давление, а вместе с ним — парциальные давления всех газов смеси. Процентный состав смеси при этом не меняется. Каждый газ имеет пороговые значения парциального давления, при превышении которых он начинает оказывать вредное действие.

Растворимость газов. Закон Генри

Способность газа растворяться в жидкости описал английский учёный Уильям Генри (1803).

> *Закон Генри: растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна его парциальному давлению.*

Чем выше парциальное давление газа, тем больше его растворяется в жидкости. Тело взрослого человека примерно на 55–60% состоит из воды, и с ростом внешнего давления газы дыхательной смеси активнее растворяются в крови и тканях.

Насыщение, ненасыщение, перенасыщение

Газ, растворённый в жидкости, тоже оказывает давление — его называют **напряжением (упругостью) газа**.

- **Насыщение (равновесие)** — давление газа над жидкостью равно напряжению газа в ней. *У дайвера, долго находящегося на поверхности, напряжение азота в тканях равно парциальному давлению азота в воздухе (≈ 0,79 ата).*

- **Ненасыщение** — давление газа над жидкостью больше напряжения газа в ней, газ растворяется. *При погружении напряжение газов в тканях ниже их парциального давления во вдыхаемой смеси — ткани насыщаются.*
- **Перенасыщение** — давление газа над жидкостью меньше напряжения газа в ней, газ выходит из раствора. *При всплытии напряжение инертного газа в тканях становится выше давления окружающей среды — ткани рассыщаются.*

Ненасыщение или перенасыщение сохраняются, пока напряжение газа в жидкости не сравняется с давлением газа над ней. На этих процессах основана вся теория декомпрессии.

> **ИТОГ ГЛАВЫ**
>
> Абсолютное давление = глубина / 10 + 1 (морская вода). Бойль–Мариотт: P·V = const — объём газа и его расход зависят от давления. Шарль: P/T = const — давление в баллоне зависит от температуры. Дальтон: pp = доля × Рабс. Генри: растворимость газа пропорциональна его парциальному давлению.

Вопросы для самопроверки

1. Каково абсолютное давление на глубине 30 м в морской воде?

a. 3 ата
b. 3,3 ата
c. 4 ата
d. 5 ата

2. Каково абсолютное давление на глубине 20 м в пресной воде?

a. ≈ 2,0 ата
b. ≈ 2,94 ата
c. 3,0 ата
d. ≈ 3,3 ата

3. Из чего складывается абсолютное давление, действующее на дайвера?

a. Только из давления водяного столба
b. Из атмосферного давления и давления водяного столба
c. Из давления в баллоне и давления водяного столба
d. Из парциальных давлений кислорода и азота

4. Эластичный мешок содержит 6 л воздуха на поверхности. Каким будет его объём на глубине 20 м в морской воде?

a. 1 л
b. 2 л
c. 3 л
d. 4 л

5. Почему расход газа дайвером растёт с глубиной?

a. Дайвер больше устаёт
b. С ростом давления растёт плотность газа, и за каждый вдох в лёгкие поступает больше молекул
c. Регулятор работает хуже на глубине
d. Растёт парциальное давление азота

6. В каких единицах берутся давление и температура в расчётах по закону Шарля?

a. Избыточное давление и градусы Цельсия
b. Абсолютное давление и абсолютная температура (кельвины)
c. Избыточное давление и кельвины
d. Абсолютное давление и градусы Цельсия

7. Баллон заправили тёплым и опустили в холодную воду. Что произойдёт с давлением в нём?

a. Возрастёт
b. Уменьшится
c. Не изменится
d. Сначала возрастёт, потом уменьшится

8. Каково парциальное давление кислорода при дыхании воздухом на глубине 40 м?

a. 0,84 ата
b. 1,05 ата
c. 1,26 ата
d. 1,4 ата

9. О чём говорит закон Генри?

a. Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонентов смеси
b. Растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна его парциальному давлению
c. Объём газа обратно пропорционален давлению
d. Давление газа пропорционально температуре

10. В каком состоянии находятся ткани дайвера при всплытии после погружения?

a. Насыщение (равновесие)
b. Ненасыщение — ткани поглощают газ
c. Перенасыщение — напряжение газа в тканях выше давления окружающей среды
d. Газ в тканях отсутствует

ГЛАВА 5

Физиология I

Барогипертензия, гипоксия, гипероксия, кислородная интоксикация ЦНС и всего организма.

Дыхание газовыми смесями при повышенном давлении означает дыхание более плотным газом. Это меняет механику дыхания: растёт сопротивление и работа дыхания, при физической нагрузке снижается вентиляция лёгких, задерживается выведение углекислого газа (CO_2), растёт нагрузка на сердечно-сосудистую систему. Организм тратит дополнительный кислород на работу дыхательных мышц, а при тяжёлой нагрузке почти весь дополнительно потребляемый кислород уходит на обеспечение дыхания, а не на полезную работу. Это происходит как под водой, так и в «сухой» барокамере.

Барогипертензия

Барогипертензия (барогипертензионный синдром) — патологическое состояние, которое возникает из-за дыхания при избыточном давлении в дыхательных путях и ведёт к повышению давления в сосудах и внутричерепного давления.

Подводное снаряжение всегда создаёт дополнительное сопротивление дыханию: трение в клапанах регулятора, аэродинамическое сопротивление газа, разница уровней между регулятором и грудной клеткой. С глубиной сопротивление растёт из-за увеличения плотности газа. Следствие — повышенное давление в дыхательных путях.

При вдохе под повышенным давлением грудная клетка расширяется, диафрагма опускается, вдох облегчается, а выдох затягивается и затрудняется. Растянутые лёгочные капилляры сужаются, растёт сопротивление кровотоку в **малом круге кровообращения (от сердца к лёгким)**, в правом желудочке и венах. В результате нарушается кровоснабжение органов и тканей, прежде всего головного мозга.

Типичные симптомы (часто через 3–4 часа после погружения): сильная головная боль, першение в горле, носовые кровотечения, ощущение пульсации в висках, учащение пульса, мелкая сыпь на коже шеи и груди с лёгким зудом, кровоизлияния в белки глаз.

Частая причина — действия самого дайвера: пытаясь экономить газ, он намеренно реже дышит, задерживая вдох. Глубокий вдох и сдерживание дыхания затрудняют кровоток в лёгких и отток крови от головы. Это вызывает застой в сосудах мозга, пропотевание жидкости из сосудов в ткани, риск отёков и кровоизлияний, повышение внутричерепного давления и нарушение насыщения крови кислородом.

Дополнительное сопротивление дыханию около 200–250 мм рт. ст. переносится с трудом; при 350–400 мм рт. ст. дыхание возможно не дольше 10–15 минут, а при 1000 мм рт. ст. возникает острая дыхательная недостаточность.

Факторы, способствующие барогипертензии:

- общее переохлаждение (спазм сосудов);
- низкий уровень физической подготовки;
- значительные физические нагрузки под водой;
- «экономный» режим дыхания с длительной задержкой;
- сильное натуживание при продувании ушей;
- неправильная настройка регулятора, увеличивающая усилие на вдох;
- пережатие вен шеи слишком тугой шейной манжетой сухого костюма;
- стресс.

Первая помощь:

- прекратить погружения;
- при носовом кровотечении — усадить пострадавшего с наклоном головы **вперёд**, плотно прижать крылья носа на 10–15 минут, приложить холод к переносице;
- при головной боли — обезболивающее, покой в горизонтальном положении;
- при тяжёлых симптомах (бледное или отёчное лицо, синюшность губ, заторможенность, нарастающая головная боль, тошнота и рвота, слабость, одышка, боль в сердце) — срочная госпитализация.

Гипоксия (кислородное голодание)

Гипоксия — пониженное содержание кислорода в организме или отдельных органах и тканях. Она возникает при недостатке кислорода во вдыхаемом газе, в крови или при нарушении его использования тканями. Если гипоксия превышает адаптационные возможности организма, развиваются необратимые изменения. Наиболее чувствительны к нехватке кислорода центральная нервная система, сердечная мышца, почки и печень. Уже через 8–12 секунд острой гипоксии возможна потеря сознания, а без восстановления снабжения кислородом через 4–5 минут наступает гибель клеток головного мозга.

Основные признаки: учащённое и глубокое дыхание, одышка, учащённое сердцебиение, головокружение, потеря сознания, кома, нарушение функций органов. Важно: гипоксия может развиваться незаметно — человек нередко теряет сознание без предшествующего дискомфорта.

Виды гипоксии:

- **гипоксическая (экзогенная)** — низкое парциальное давление кислорода во вдыхаемом газе (высокогорье, гипоксическая смесь на мелкой глубине);
- **дыхательная** — нарушение поступления кислорода из лёгких в кровь;
- **гемическая** — снижение кислородной ёмкости крови (анемия, отравление угарным газом);
- **циркуляторная** — недостаточность кровообращения;
- **тканевая** — нарушение использования кислорода клетками (например, при отравлении цианидами);
- **перегрузочная** — чрезмерная нагрузка на орган (мышцы при тяжёлой работе);

- **смешанная** — любая тяжёлая или длительная гипоксия со временем приобретает тканевой компонент.

Для технического дайвера наиболее реальна **гипоксическая гипоксия**: дыхание гипоксической донной смесью на поверхности или на мелкой глубине. На ребризере с закрытым контуром (CCR) причиной может быть неисправность клапана подачи кислорода, закрытый или пустой кислородный баллон. Потеря сознания под водой ведёт к утоплению, поэтому на CCR необходимо постоянно контролировать парциальное давление кислорода в контуре.

Гипероксия

Гипероксия — повышенное содержание кислорода в тканях вследствие дыхания газом с повышенным парциальным давлением кислорода. Сначала организм реагирует приспособительными реакциями: урежаются дыхание и пульс, сужаются сосуды головного мозга и сетчатки, уменьшается объём циркулирующей крови — всё это ограничивает поступление избытка кислорода в ткани, особенно в мозг. При более высоких дозах развивается кислородная интоксикация.

Факторы, усугубляющие гипероксию:

- перегревание или переохлаждение;
- физическая нагрузка;
- индивидуальная чувствительность;
- примеси вредных газов в смеси, в том числе CO_2;
- накопление CO_2 в организме.

Гипероксия ведёт к двум проблемам: **кислородной интоксикации ЦНС** (эффект Поля Бера) и **общей (лёгочной) кислородной интоксикации** (эффект Лоррен-Смита). Наибольшую опасность для дайвера представляет интоксикация ЦНС.

Кислородная интоксикация ЦНС

Для запоминания симптомов используют акроним **CONVENTID**:

- **CON**vulsions — судороги;
- **V**isual — нарушения зрения (в том числе «туннельное» зрение);
- **E**ars — нарушения слуха, звон в ушах;
- **N**ausea — тошнота;
- **T**witching — подёргивания мышц, особенно лица и губ;
- **I**rritability — раздражительность, беспокойство;
- **D**izziness — головокружение.

Строгой последовательности симптомов нет: **судороги могут начаться без каких-либо предвестников**. Самое опасное — судорожный приступ. Во время судорог дайвер не

контролирует себя, голосовая щель смыкается (ларингоспазм), дыхание прекращается, загубник часто выпадает или его перекусывают.

> **ПОМОЩЬ ДАЙВЕРУ С СУДОРОГАМИ ПОД ВОДОЙ**
>
> Если загубник во рту — удерживайте его там, контролируйте плавучесть пострадавшего и начинайте контролируемый подъём после окончания судорожной фазы, когда дыхание восстановится. Подъём во время судорог при сомкнутой голосовой щели опасен баротравмой лёгких. Если загубник выпал и вставить его не удаётся — начинайте контролируемый подъём сразу: риск утопления выше риска баротравмы.

Кислородная интоксикация ЦНС накапливается, и скорость накопления прямо зависит от парциального давления кислорода. Её учитывают в процентах от предельно допустимой дозы (CNS%).

Накопление кислородной нагрузки на ЦНС (по таблицам NOAA)

ppO_2, ата	CNS, % в минуту	ppO_2, ата	CNS, % в минуту
0,6	0,14	1,2	0,48
0,7	0,18	1,3	0,56
0,8	0,22	1,4	0,67
0,9	0,28	1,5	0,83
1,0	0,33	1,6	2,22
1,1	0,42	выше 1,6 — недопустимо	

ПРАВИЛО IDU

Кислородная нагрузка на ЦНС не должна превышать 80% за погружение или серию погружений.

Снижение нагрузки на поверхности. При дыхании воздухом на поверхности CNS% уменьшается вдвое примерно за каждые 90 минут (период полувыведения — 90 минут). В IDU принят консервативный подход: если интервал на поверхности меньше 90 минут, снижение нагрузки в расчётах не учитывается.

Пример: после погружения CNS = 60%. Через 90 минут на поверхности — 30%, через 180 минут — 15%.

На ребризерах (CCR) дайвер большую часть погружения дышит при более высоком ppO_2, чем на открытом цикле, — это нужно учитывать при планировании.

Общая (лёгочная) кислородная интоксикация

Лёгочная форма кислородной интоксикации (эффект Лоррен-Смита) зависит от парциального давления кислорода и времени воздействия и проявляется прежде всего в лёгких. Раздражающее действие кислорода вызывает сухость в горле, отёк слизистой носа («заложенность»), затем нарастающий сухой кашель с жжением за грудиной. Может повышаться температура, появляться онемение кончиков пальцев. После прекращения дыхания обогащённой смесью симптомы уменьшаются за 2–4 часа, полное восстановление занимает 2–4 суток. Длительное дыхание кислородом при повышенном парциальном давлении действует на весь организм: растёт число свободных радикалов, которые повреждают мембраны клеток.

Симптомы:

- сухость в горле;
- сухой кашель;
- жжение и дискомфорт в груди;
- затруднённое дыхание, ощущение сопротивления на вдохе;
- одышка.

Общую кислородную интоксикацию тоже необходимо учитывать — по лимитам NOAA и в единицах OTU.

Лимиты времени при разных ppO_2 (NOAA)

ppO_2, ата	Разовый лимит, мин	Суточный лимит, мин
1,6	45	150
1,5	120	180
1,4	150	180
1,3	180	210
1,2	210	240
1,1	240	270
1,0	300	300
0,9	360	360
0,8	450	450
0,7	570	570
0,6	720	720

Если превышен разовый лимит, NOAA рекомендует интервал на поверхности не менее 2 часов; если превышен суточный — не менее 12 часов.

Накопление общей кислородной интоксикации, OTU в минуту

ppO_2	OTU/мин	ppO_2	OTU/мин
0,55	0,15	1,10	1,16
0,60	0,26	1,15	1,24
0,65	0,37	1,20	1,32
0,70	0,47	1,25	1,40
0,75	0,56	1,30	1,48
0,80	0,65	1,35	1,55
0,85	0,74	1,40	1,63
0,90	0,83	1,45	1,70
0,95	0,92	1,50	1,78
1,00	1,00	1,55	1,85
1,05	1,08	1,60	1,93

При ppO_2 ниже 0,5 ата OTU не накапливаются. Допустимая доза при однодневном воздействии — **не более 850 OTU в сутки**; при погружениях несколько дней подряд суточная норма снижается (таблицы REPEX).

На CCR дайвер дольше находится при повышенном ppO_2, поэтому OTU накапливаются быстрее, чем на открытом цикле.

> **ИТОГ ГЛАВЫ**
>
> Не экономьте газ задержками дыхания — это путь к барогипертензии и накоплению CO_2. Гипоксия опасна внезапной потерей сознания. Кислородная токсичность ЦНС — главная угроза: судороги могут начаться без предупреждения. Контролируйте CNS% (не более 80%) и OTU (не более 850 в сутки) при каждом погружении.

Вопросы для самопроверки

1. Какая частая ошибка дайвера ведёт к барогипертензии?

a. Слишком частое дыхание

b. «Экономный» режим дыхания с длительной задержкой вдоха

c. Использование длинного шланга

d. Погружение в мокром гидрокостюме

2. Как правильно оказать помощь при носовом кровотечении?

a. Запрокинуть голову назад

b. Уложить на спину и поднять ноги

c. Усадить с наклоном головы вперёд, прижать крылья носа на 10–15 минут, приложить холод

d. Вставить в нос тампоны с перекисью водорода

3. Какой вид гипоксии наиболее реален для технического дайвера на открытом цикле?

a. Тканевая — при отравлении цианидами

b. Гипоксическая — при дыхании гипоксической смесью на поверхности или мелкой глубине

c. Гемическая — при анемии

d. Перегрузочная — при тяжёлой работе

4. Чем особенно опасна гипоксия под водой?

a. Вызывает сильную боль

b. Может привести к внезапной потере сознания без предшествующего дискомфорта и к утоплению

c. Вызывает ДКБ

d. Усиливает теплопотери

5. Что верно о симптомах кислородной интоксикации ЦНС?

a. Судорогам всегда предшествуют нарушения зрения

b. Судороги могут начаться без каких-либо предвестников

c. Первым симптомом всегда бывает тошнота

d. Симптомы появляются только после всплытия

6. У напарника кислородные судороги, загубник у него во рту. Как действовать?

a. Немедленно поднимать его на поверхность

b. Удерживать загубник во рту, контролировать плавучесть и начать контролируемый подъём после окончания судорожной фазы

c. Вынуть загубник, чтобы он не перекусил его

d. Ждать на глубине, пока он сам придёт в себя

7. Какой предел кислородной нагрузки на ЦНС установлен в IDU?

a. 50%

b. 80%

c. 100%

d. 120%

8. После погружения CNS = 60%. Какой будет нагрузка через 180 минут на поверхности?

a. 0%

b. 15%

c. 30%

d. 45%

9. Какой разовый лимит времени NOAA при ppO_2 = 1,6 ата?

a. 45 минут

b. 120 минут

c. 150 минут

d. 240 минут

10. Какова допустимая доза общей кислородной интоксикации при однодневном воздействии?

a. 300 OTU

b. 500 OTU

c. 850 OTU

d. 1500 OTU

ГЛАВА 6

Физиология II

Газовый наркоз, декомпрессионная болезнь, HPNS, гиперкапния, гипокапния, отравление угарным газом.

Газовый (азотный) наркоз

Азотным наркозом называют комплекс нарушений функций центральной нервной системы, который может возникнуть у дайверов при погружениях глубже 30 метров. Первое описание необычного действия сжатого воздуха относится к **1826 году**: швейцарский учёный Жан-Даниэль Колладон, спустившись в водолазном колоколе, отметил у себя возбуждённое состояние, похожее на опьянение. Значительно позже было установлено, что именно азот при повышенном давлении вызывает реакции, похожие на действие алкоголя.

Эйфория — не главный признак наркоза. Чаще всего наркоз проявляется заторможенностью, замедлением реакции, потерей концентрации внимания и ухудшением моторики. Состояние эйфории может и не наступить: эффект бывает противоположным — тревога и страх. Снижение внимания и ухудшение координации могут привести к несчастному случаю, а техническому дайверу необходима способность быстро и адекватно оценивать ситуацию.

Другие газы тоже растворяются в тканях и тоже обладают наркотическим действием. Согласно закономерности, установленной Г. Мейером (1899) и Ч. Овертоном (1901), вещество, химически инертное, но растворимое в жирах (липидах), обладает наркотическим действием, и чем выше растворимость в липидах, тем сильнее наркоз. Липиды — важнейший компонент мембран нервных клеток; по современным представлениям, растворяясь в мембранах, газ нарушает передачу нервных импульсов между нейронами.

Растворимость газов в липидах исследовали с помощью оливкового масла. Коэффициенты растворимости (мл газа на мл масла): **азот — 0,07, кислород — 0,11, углекислый газ — 1,34, гелий — 0,015**. Поэтому корректнее говорить не об азотном, а о **газовом наркозе**. Наркотическое действие гелия ничтожно. Кислород растворяется в липидах лучше азота и теоретически может быть наркотичен, но он расходуется организмом, и экспериментальные данные противоречивы. Поэтому при расчёте эквивалентной наркотической глубины (END) в IDU принят консервативный подход: кислород считается таким же наркотичным, как азот (подробно — в главе «Подбор газовых смесей»).

Углекислый газ значительно усиливает наркоз. Этот эффект описали Кейс и Холдейн в 1941 году, а в 1963 году его трагически «переоткрыл» Эдвард Ланфиер: при испытании велоэргометра в сухой барокамере на сжатом воздухе (около 7,8 ата) с дыхательной системой, обеспечивающей лишь половину потребности, выраженная одышка быстро сменилась потерей сознания. Под водой такой случай вряд ли закончился бы благополучно. Вывод для дайвера: всё, что ведёт к накоплению CO_2 (тяжёлая работа, плотный газ, «экономное» дыхание), усиливает наркоз.

Степень наркоза трудно оценить объективно: нет точных критериев, а индивидуальная чувствительность сильно различается.

При уменьшении давления (всплытии) или переходе на смесь с меньшим содержанием азота наркоз быстро ослабевает, но не исчезает мгновенно — его действие ещё некоторое время сохраняется.

Для уменьшения наркоза при погружениях глубже 40 метров (а при сложных условиях — и на меньших глубинах) применяют смеси с гелием: гелий плохо растворяется в липидах и почти не обладает наркотическим действием.

Декомпрессионная болезнь (ДКБ)

Декомпрессионная болезнь — комплекс патологических явлений, связанных с образованием пузырьков газа в крови и тканях. Пузырьки раздражают нервные окончания, нарушают кровообращение и механически повреждают клетки. Болезнь возникает при декомпрессии — переходе из области повышенного давления в область более низкого, то есть при всплытии, когда напряжение растворённого газа в тканях превышает давление окружающей среды.

Количество пузырьков зависит от разницы между напряжением газа в тканях и давлением окружающей среды. Лёгкие способны отфильтровать и вывести определённое количество микропузырьков. Если их слишком много, они не успевают выводиться, а по мере всплытия растут и притягивают растворённый газ — возникает эффект «снежного кома». К пузырькам прикрепляются тромбоциты и другие клетки крови, образуются сгустки, которые повышают вязкость крови и могут закупорить мелкие сосуды; повреждается стенка сосудов, нарушается кровоснабжение органов.

Внесосудистая форма возникает, когда пузырьки образуются непосредственно в тканях — суставах, сухожилиях, связках — плохо снабжаемых кровью, откуда газ выводится медленно. Именно она вызывает боли в суставах — классический симптом ДКБ. Растущие пузырьки давят на нервные окончания и окружающие ткани.

Традиционно ДКБ делят на два типа:

- **I тип** — «только боль»: боли в мышцах, суставах, костях, кожные проявления (зуд, мраморность кожи). Непосредственной угрозы жизни нет.
- **II тип** — неврологическая, лёгочная или кардиальная форма: поражение головного и спинного мозга, дыхательной и сердечно-сосудистой системы. Несёт угрозу жизни.

С точки зрения современных данных такое деление условно: симптомы обоих типов могут проявляться одновременно, а I тип может переходить во II — по сути это проявления одного процесса. Поэтому любая ДКБ требует одинаково серьёзного отношения.

Факторы, повышающие риск ДКБ

- избыточный вес (в жировой ткани растворяется больше азота, и он выводится дольше);
- возраст;
- обезвоживание (в том числе из-за алкоголя, мочегонных средств, жары);
- заболевания сердца и сосудов, нарушения кровообращения;

- алкоголь до или после погружения;
- переохлаждение, особенно на декомпрессии (замедляется кровоток и выведение газа);
- тяжёлая физическая нагрузка во время погружения (растёт поглощение азота) и сразу после него;
- перелёт на самолёте или подъём в горы вскоре после погружения;
- погружения в высокогорных водоёмах;
- открытое овальное окно (см. главу «Баротравмы и медицинские аспекты»).

Признаки и симптомы ДКБ

Большинство симптомов проявляется в первые 6 часов после погружения, но они возможны и до 24 часов (а после авиаперелёта — и позже). Тяжёлые формы часто развиваются быстро — в первые минуты и десятки минут после всплытия.

Лёгкие проявления:

- изменение кожной чувствительности — мурашки, покалывание;
- кожный зуд;
- пятна на коже от светло-розового до синюшного цвета («мраморность»);
- ноющие, тянущие боли в мышцах, суставах, костях, усиливающиеся при движении.

Среднетяжёлые проявления:

- выраженные приступообразные боли в мышцах и суставах;
- онемение конечностей, потеря чувствительности участков тела;
- учащённое сердцебиение;
- затруднённое дыхание;
- боли в животе;
- кратковременные нарушения зрения и слуха.

Тяжёлые проявления:

- парезы и параличи, потеря сознания, судороги;
- нарушения дыхания и сердечной деятельности;
- поражение внутреннего уха — сильное головокружение, тошнота, рвота.

При оказании помощи важно собрать сведения о пострадавшем (страховка, аллергии, хронические заболевания, лекарства) и о погружении (глубина, время, газы, соответствие плану), а позже передать их врачу.

Первая помощь при подозрении на ДКБ

- уложить пострадавшего горизонтально: **в сознании** — в восстановительное положение на боку с поддержкой головы или в удобное полусидячее положение; **без сознания, но дышит** — в восстановительное положение на боку, чтобы сохранить проходимость дыхательных путей и не допустить попадания рвотных масс в лёгкие (при поражении вестибулярного аппарата рвота весьма вероятна); **без сознания и не дышит** — на спину для проведения

сердечно-лёгочной реанимации. Положение с опущенной головой не применять. Обеспечить покой и тепло;

- сторона значения не имеет: по современным рекомендациям ILCOR и DAN преимуществ положения на левом боку перед правым нет;
- как можно раньше дать дышать **100% кислородом** и продолжать до передачи медикам;
- если пострадавший в сознании и может глотать — давать пить негазированные безалкогольные жидкости (вода, изотонические напитки);
- вызвать помощь, связаться с DAN или ближайшей барокамерой;
- опросить пострадавшего и выполнить быструю неврологическую проверку (полевой 5-минутный неврологический тест), повторять её по ходу наблюдения;
- контролировать дыхание и пульс, при необходимости начать сердечно-лёгочную реанимацию;
- доставить пострадавшего в лечебное учреждение с барокамерой.

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ НАВЫК

Умение распознать ДКБ и оказать первую помощь — обязательный навык технического дайвера уровня TECH-1.

Нервный синдром высокого давления (HPNS)

HPNS — расстройство центральной нервной системы, которое возникает на очень больших глубинах. Рекреационные дайверы с ним не сталкиваются, но технические дайверы всё чаще выполняют погружения, где эта проблема реальна.

Исходя из низкой растворимости гелия в липидах, рассчитали, что гелий не должен вызывать наркоз примерно до 425 м. Однако уже в 1965 году при погружениях в барокамере до 180–240 м со скоростью спуска 6–30 м/мин испытуемые были почти недееспособны — но не из-за наркоза, а из-за тремора, головокружения, тошноты и рвоты. В отличие от наркоза, мыслительные способности почти сохранялись и восстанавливались с течением времени на глубине. Это были первые подтверждённые случаи HPNS.

У животных при дальнейшем росте давления развиваются миоклонические подёргивания, судороги, кома и смерть. Если газовый наркоз — это угнетение функции мозга, то HPNS, по-видимому, связан с его **возбуждением**. Глубина появления и тяжесть симптомов зависят от скорости сжатия: **чем быстрее спуск, тем меньше глубина появления симптомов и тем они тяжелее**.

Наркоз связывают с «набуханием» клеточных мембран из-за растворения газа, а HPNS — с их сжатием под действием самого давления. Эти эффекты противоположны, и на этом основан способ борьбы с HPNS.

В начале 1970-х годов Питер Беннетт предложил добавлять в гелиокс азот. Добавление около 5% азота резко уменьшило симптомы HPNS при незначительном наркозе. В 1981 году в Университете Дьюка (эксперимент Atlantis IV) было достигнуто 686 м: дайверы испытывали симптомы HPNS, но сохраняли работоспособность. Лучший результат даёт сочетание очень

медленного сжатия (чем глубже, тем медленнее) и добавления азота. Позже исследовали водород вместо азота: он менее наркотичен и облегчает дыхание на больших глубинах, но в смеси с кислородом взрывоопасен, поэтому применим только там, где доля кислорода очень мала (менее 4–5%). В 1992 году на смеси с 49% водорода (гидрелиокс) было достигнуто 701 м.

Точный механизм HPNS (как и газового наркоза) до конца не изучен.

На практике для технического дайвера это означает: на очень больших глубинах контролируют **скорость спуска** и сохраняют небольшую долю азота в смеси.

Гиперкапния

Гиперкапния — повышение уровня углекислого газа в крови. В норме во вдыхаемом воздухе всего около 0,04% CO_2. Уже при 2% CO_2 во вдыхаемом газе появляется головная боль, а при 10% нарушается ясность мышления, путается сознание и возможна его потеря, что под водой ведёт к утоплению.

Причины на открытом цикле:

- тяжёлая физическая нагрузка под водой;
- дыхание плотным газом на глубине (растёт работа дыхания, CO_2 выводится хуже);
- «экономное» дыхание «через раз» и задержки дыхания;
- поверхностное, частое дыхание;
- увеличенное «мёртвое» пространство (например, полнолицевая маска);
- регулятор с высоким сопротивлением дыханию.

Дополнительные причины на ребризере (CCR): «проскок» CO_2 мимо поглотителя из-за плохой набивки картриджа, превышение ресурса поглотителя, неисправность клапанов контура. Предел для вдыхаемого газа в контуре — около 0,5% CO_2 (≈ 0,005 ата).

Симптомы: ощущение нехватки воздуха, волнение, учащённое дыхание, головокружение, головная боль, спутанность сознания, потеря сознания.

Действия: прекратить работу, остановиться, сделать несколько медленных глубоких выдохов и вдохов, восстановить нормальное дыхание. На CCR — немедленно перейти на дыхание открытым циклом (bailout), затем начать контролируемое всплытие с выполнением всех обязательных остановок.

Гипокапния

Гипокапния — снижение уровня углекислого газа в крови, чаще всего из-за чрезмерно частого и глубокого дыхания (гипервентиляции). Избыточное выведение CO_2 ведёт к нарушению кислотно-щелочного равновесия (дыхательному алкалозу), сужению сосудов мозга, головокружению, покалыванию в пальцах и мышечным судорогам. Кроме того, при низком CO_2 сигнал к вдоху запаздывает: после гипервентиляции и задержки дыхания уровень кислорода может упасть ниже критического раньше, чем появится желание вдохнуть, — и человек теряет сознание.

Отравление угарным газом

Признаки: при лёгкой форме — слабость, головокружение, головная боль, шум в ушах, пульсация в висках, мелькание перед глазами, сердцебиение, иногда тошнота. При средней тяжести эти симптомы усиливаются. При тяжёлой — потеря сознания, нарушение дыхания. Классическая «вишнёво-красная» окраска кожи встречается редко и на неё не следует полагаться.

Первая помощь:

- прекратить погружение, вывести пострадавшего на свежий воздух;
- как можно раньше дать дышать **100% кислородом**: он ускоряет выведение угарного газа из крови примерно в 4–5 раз (период полувыведения карбоксигемоглобина сокращается с 4–5 часов до 1–1,5 часов);
- срочно доставить в лечебное учреждение; при тяжёлом отравлении применяют гипербарическую оксигенацию в барокамере.

Отравление угарным газом опасно для жизни и без квалифицированной медицинской помощи может закончиться смертью.

Профилактика: заправляйте баллоны только в проверенных дайв-центрах и на сертифицированных заправочных станциях, следите за исправностью и правильной установкой компрессора (забор воздуха вдали от выхлопа). Воздерживайтесь от курения в течение 10–12 часов до погружения: курение повышает уровень карбоксигемоглобина в крови.

> ИТОГ ГЛАВЫ
>
> Газовый наркоз зависит от растворимости газов в липидах и усиливается при накоплении CO_2 — гелий снижает наркоз. ДКБ требует немедленной помощи: горизонтальное положение, 100% кислород, жидкость, барокамера. HPNS — проблема очень больших глубин и быстрого спуска. Гиперкапния и гипокапния нарушают управление дыханием. Угарный газ — повод для кислорода и срочной медицинской помощи.

Вопросы для самопроверки

1. Как чаще всего проявляется газовый наркоз?

a. Всегда эйфорией

b. Заторможенностью, замедлением реакции, потерей концентрации и ухудшением моторики

c. Болью в суставах

d. Судорогами

2. От чего, согласно закономерности Мейера–Овертона, зависит наркотическое действие газа?

a. От его теплопроводности

b. От его растворимости в липидах (жирах)

c. От его плотности

d. От его химической активности

3. Какой газ значительно усиливает газовый наркоз?

a. Гелий

b. Углекислый газ

c. Водород

d. Неон

4. Что верно о делении ДКБ на I и II тип с точки зрения современных данных?

a. I тип никогда не переходит во II

b. Деление условно: симптомы могут сочетаться, I тип может переходить во II, любая ДКБ требует серьёзного отношения

c. II тип не требует лечения в барокамере

d. I тип поражает только центральную нервную систему

5. В какой период после погружения проявляется большинство симптомов ДКБ?

a. Только во время всплытия

b. В первые 6 часов, но возможно и до 24 часов

c. Не раньше чем через сутки

d. Только после авиаперелёта

6. Какая первая помощь при подозрении на ДКБ правильная?

a. В сознании — на боку (восстановительное положение) или полусидя, без сознания и дышит — на боку; 100% кислород, негазированное питьё (если в сознании), доставка к барокамере

b. Вернуть дайвера под воду для повторной декомпрессии

c. Уложить с опущенной головой и дать алкоголь для согревания

d. Дать адсорбенты и обильное питьё, кислород не нужен

7. Как скорость спуска влияет на HPNS?

a. Не влияет

b. Чем быстрее спуск, тем на меньшей глубине и тяжелее проявляются симптомы

c. Чем медленнее спуск, тем тяжелее симптомы

d. Влияет только на скорость наркоза

8. Какая из причин гиперкапнии характерна для дайвинга на открытом цикле?

a. Проскок CO_2 мимо поглотителя

b. Тяжёлая физическая нагрузка и «экономное» дыхание «через раз»

c. Превышение ресурса картриджа

d. Неисправность клапанов контура

9. Чем опасна гипервентиляция перед задержкой дыхания?

a. Вызывает ДКБ

b. Снижает уровень CO_2, сигнал к вдоху запаздывает, и кислород может упасть ниже критического уровня раньше, чем появится желание вдохнуть

c. Повышает парциальное давление азота

d. Вызывает кислородные судороги

10. Почему при отравлении угарным газом дают 100% кислород?

a. Он нейтрализует CO в лёгких

b. Он ускоряет выведение CO из крови примерно в 4–5 раз

c. Он повышает давление в лёгких

d. Он снижает температуру тела

ГЛАВА 7

Баротравмы и медицинские аспекты

Баротравмы, открытое овальное окно, диабет и технический дайвинг.

Реакция организма на изменение давления

Тело человека в основном состоит из воды, поэтому его ткани практически несжимаемы. При погружении изменение давления ощущается только в **воздушных полостях**: лёгких, среднем ухе, придаточных пазухах носа, а также в подмасочном пространстве и под сухим гидрокостюмом. Объём газа в них меняется по закону Бойля–Мариотта.

Баротравмы и обжимы

Баротравма — повреждение тканей из-за разницы между наружным давлением и давлением в воздушной полости. Наиболее опасны с точки зрения баротравм глубины от 0 до 10 м — при спуске и при всплытии. Здесь происходит самое большое относительное изменение давления: на первых 10 метрах давление меняется в 2 раза (с 1 до 2 ата), а при переходе с 10 на 20 м — лишь в 1,5 раза (с 2 до 3 ата), и дальше относительные изменения становятся всё меньше.

Баротравма лёгких

Баротравма лёгких — повреждение или разрыв лёгочной ткани расширяющимся газом. При разрыве газ из альвеол попадает в ткань лёгкого, в кровеносное русло, в плевральную полость, в средостение и под кожу. Причины: задержка дыхания при всплытии, закупорка бронхов (погружения при бронхите, воспалении лёгких), а также слишком быстрое всплытие.

Формы баротравмы лёгких:

Артериальная газовая эмболия (АГЭ)

Пузырьки газа через повреждённые сосуды лёгких попадают в артериальную кровь и с её током — в сосуды мозга и сердца. Симптомы обычно появляются очень быстро — в течение минут после всплытия.

- сильная боль в груди;
- слабость, головокружение;
- одышка;
- синюшность лица;
- невнятная речь, нарушения зрения, параличи — признаки, похожие на инсульт;
- нередко потеря сознания;
- частое поверхностное дыхание, кашель, пенистая мокрота с примесью крови.

Пневмоторакс

Скопление воздуха в плевральной полости из-за разрыва лёгочной ткани; нарушает дыхание и кровообращение.

- колющая боль в груди на стороне разрыва, отдающая в лопатку, плечо или живот;
- нарастающая одышка, затруднённое дыхание;
- холодный пот, иногда сухой кашель;
- пострадавший принимает вынужденное полусидячее положение;
- быстро нарастающая синюшность лица;
- частое поверхностное дыхание, резко учащённое сердцебиение;
- признаки шока.

Эмфизема средостения и подкожная эмфизема

Газ в тканях средостения и под кожей груди, в подключичных и яремных ямках, на шее и лице.

- при небольшом количестве газа состояние удовлетворительное, по мере накопления ухудшается;
- боль и неприятные ощущения в груди;
- затруднённое дыхание, учащённый пульс;
- изменение голоса, изменение формы шеи и черт лица;
- характерный хруст (крепитация) при надавливании на кожу;
- резкое ухудшение состояния при сдавлении органов средостения и крупных вен.

Признаки зависят от того, где скопился газ, и могут сочетаться. Независимо от формы, **баротравма лёгких — тяжёлое состояние**, помощь нужна как можно быстрее.

Первая помощь при баротравме лёгких

- обеспечить полный покой;
- как можно раньше дать дышать **100% кислородом**;
- положение: **в сознании** — на боку (восстановительное положение) или полусидя (при пневмотораксе пострадавшему обычно легче полусидя); **без сознания, но дышит** — на боку; **не дышит** — на спину для сердечно-лёгочной реанимации. Положение с опущенной головой и приподнятыми ногами **не применяется** — оно не уменьшает риск эмболии и может усилить отёк мозга;
- быть готовым к проведению сердечно-лёгочной реанимации;
- как можно скорее доставить в лечебное учреждение с барокамерой.

Баротравма среднего уха

Баротравма уха чаще возникает при спуске. Растущее давление воды на наружную поверхность барабанной перепонки не уравновешено давлением в среднем ухе, и перепонка прогибается внутрь. Чем больше разница давлений, тем сильнее повреждение. При всплытии расширяющийся воздух обычно свободно выходит через евстахиеву трубу.

Лёгкая степень: заложенность, давление на барабанную перепонку, небольшое снижение слуха. Обычно проходит через несколько часов.

Средняя степень: острая боль в ухе (может сохраняться 1–2 дня), заметное снижение слуха, шум в ухе.

Тяжёлая степень — разрыв барабанной перепонки: острая боль на мгновение стихает, в наружном слуховом проходе появляется кровь. Попадание холодной воды в среднее ухо может вызвать сильное головокружение и потерю ориентации под водой.

Первая помощь:

- прекратить погружения;
- держать ухо сухим; ничего не закапывать и не вводить в ухо, не промывать;
- не сморкаться с силой — это может занести инфекцию из носоглотки в среднее ухо;
- при боли — обезболивающее (парацетамол, ибупрофен);
- **обратиться к врачу-оториноларингологу (ЛОР)**, а при подозрении на разрыв перепонки — обязательно.

Баротравма внутреннего уха

Баротравма внутреннего уха — разрыв мембраны круглого (или овального) окна — может произойти при слишком сильной продувке ушей методом Вальсальвы или при резком спуске без выравнивания давления.

Симптомы: сильное головокружение, тошнота и рвота, шум в ушах, нарушение равновесия, снижение слуха, сильное потоотделение, бледность.

Первая помощь: уложить пострадавшего, исключить натуживание, срочно обратиться к врачу. Симптомы баротравмы внутреннего уха похожи на ДКБ внутреннего уха, поэтому при любых сомнениях пострадавшему дают кислород и обращаются к специалисту по водолазной медицине.

Простуда и аллергия

Отёк слизистой при простуде или аллергии может перекрыть евстахиевы трубы, и выровнять давление в среднем ухе не удастся. Даже если трубы проходимы, продувка может занести слизь из носоглотки в среднее ухо и вызвать воспаление.

Обратный блок

Чтобы не пропускать погружения из-за насморка, дайверы иногда используют сосудосуживающие средства. Их действие может закончиться во время погружения — отёк вернётся, и евстахиева труба снова закроется. Тогда при всплытии расширяющийся воздух не сможет выйти из среднего уха, перепонка выгнется наружу, возникнет резкая боль и возможна баротравма. Это называется **обратным блоком**. Его можно уменьшить, замедлив или временно остановив всплытие и опустившись на пару метров, но декомпрессионные

обязательства и запас газа при этом ограничивают свободу действий — поэтому с насморком не ныряют.

Баротравма пазух (синусов)

Давление в придаточных пазухах носа выравнивается автоматически при продувке, так как пазухи соединены с полостью носа узкими каналами. При простуде или аллергии каналы отекают, и выравнивание становится невозможным. Пазухи «обжимаются», давление выравнивается за счёт пропотевания жидкости и крови из тканей.

Симптомы: острая боль в области лба, скул, вокруг глаз, сильная головная боль, иногда боль в зубах верхней челюсти. При всплытии расширяющийся воздух выталкивает кровь из пазух в нос — дайвер выходит с кровью в маске.

Первая помощь: прекратить погружение. Обычно баротравма пазух проходит самостоятельно; к врачу обращаются, если боль не стихает или усиливается, а также при повышении температуры.

Баротравма зуба

Возникает при спуске или подъёме, если в зубе есть полость (кариес, неплотная пломба). Симптом — боль в зубе, которая может отдавать в область гайморовых пазух. Это скорее повод для визита к стоматологу, чем серьёзная травма.

Баротравма желудочно-кишечного тракта

Встречается редко и связана с избыточным количеством газа в кишечнике (например, после газированных напитков или проглатывания воздуха). Симптом — дискомфорт и вздутие живота при всплытии из-за расширения газа.

Обжим маски

Подмасочное пространство — искусственная воздушная полость. Обжим возникает при быстром спуске, если дайвер не выравнивает давление, выдыхая через нос под маску.

Симптомы: при лёгкой форме — покраснение по контуру маски; при тяжёлой — боль в глазах, кровоизлияния в белки глаз, синяки вокруг глаз.

Первая помощь: при боли — обезболивающее (парацетамол, ибупрофен). Обычно медицинская помощь не требуется и последствия проходят сами, хотя и не сразу. В тяжёлых случаях рекомендуется осмотр офтальмолога.

Обжим сухого гидрокостюма

В сухой костюм нужно своевременно подавать газ. Иначе с ростом давления костюм начинает сильно обжимать тело, затрудняя движения и дыхание, и на месте складок могут появиться

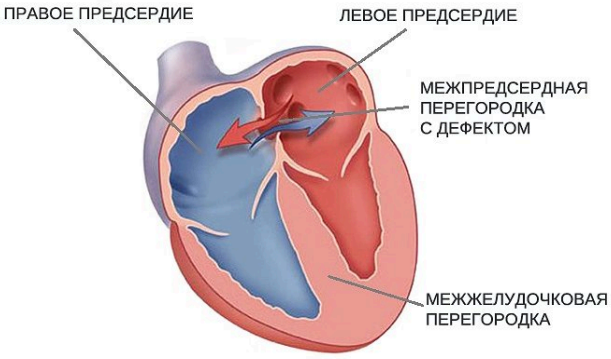
кровоподтёки.

Синокаротидный рефлекс

Слишком тугая шейная манжета сухого костюма или тугой капюшон мокрого костюма могут давить на **каротидный (сонный) синус** — расширение сонной артерии в месте её разделения на наружную и внутреннюю. В синусе расположены рецепторы давления; при их раздражении рефлекторно расширяются сосуды, падает артериальное давление и замедляется сердечный ритм. Мозг получает меньше крови — возможна потеря сознания.

Симптомы: общий дискомфорт, головокружение, потеря сознания. Профилактика — правильно подобранная по размеру шейная манжета.

Открытое овальное окно и технический дайвинг

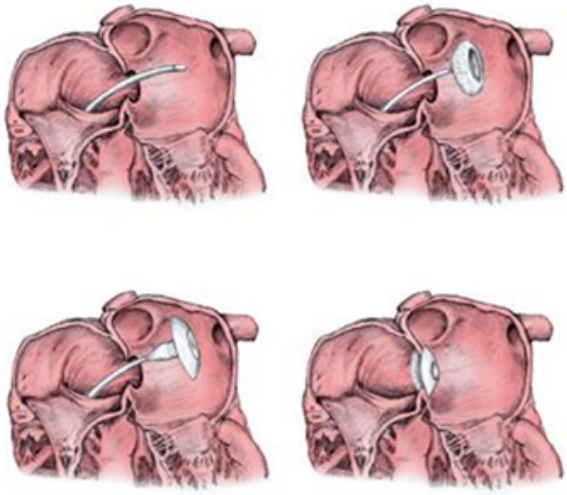


Открытое овальное окно — отверстие в межпредсердной перегородке

Овальное окно — отверстие в межпредсердной перегородке между правым и левым предсердиями. До рождения оно есть у всех: кровь плода обходит неработающие лёгкие. Обычно вскоре после рождения окно закрывается, но примерно у 25–30% взрослых остаётся частично открытым. Такое состояние называют **открытым овальным окном** (ООО, Patent Foramen Ovale, PFO). Обычное УЗИ сердца выявляет его не всегда — для этого проводят исследование с пузырьковым контрастированием (bubble test) в сочетании с пробой Вальсальвы.

Что это значит для дайвера? После погружения в венозной крови практически всегда есть микропузырьки газа. В норме кровь проходит через лёгкие, и пузырьки отфильтровываются и выводятся. При ООО часть венозной крови вместе с пузырьками может попасть из правого предсердия прямо в левое и далее в артерии — **минуя капилляры лёгких**, где пузырьки в норме задерживаются и выводятся. Это явление называют **парадоксальной газовой эмболией**. Этому особенно способствуют натуживание, кашель, подъём тяжестей и продувка ушей после погружения. Попав в артерии, пузырьки могут вызвать неврологическую, кожную или вестибулярную (внутреннего уха) ДКБ. По современным данным (Mitchell, Doolette, 2015), именно право-левый шунт через ООО играет ведущую роль в ДКБ внутреннего уха при глубоких погружениях.

Декомпрессионные алгоритмы не учитывают ООО. Наличие ООО **в несколько раз повышает риск** отдельных форм ДКБ, особенно после погружений с большим количеством венозных пузырьков, — а у технических дайверов, выполняющих глубокие и длительные декомпрессионные погружения, их обычно больше. При этом ООО не делает ДКБ неизбежной: многие дайверы с ООО ныряют много лет без проблем.



Если вы собираетесь заниматься техническим дайвингом, настоятельно рекомендуется пройти обследование на ООО. По стандартам IDU для зачисления на технические курсы нужна медицинская справка об отсутствии ООО.

Если ООО обнаружено, согласно совместной позиции SPUMS и UKSDMC (2015), возможны три варианта, выбор делается вместе с врачом:

- прекратить погружения;
- продолжать погружения по консервативным профилям, снижающим количество венозных пузырьков (ограничение глубины и времени, отказ от тяжёлой нагрузки и натуживания после погружения);
- закрыть ООО хирургическим (эндоваскулярным) путём и после контрольного обследования вернуться к погружениям.

Диабет и технический дайвинг

Диабет — хроническое заболевание, которым страдает всё больше людей. Погружения при диабете возможны, и существуют специальные рекомендации DAN и UHMS (2005). Однако эти рекомендации исключают погружения с обязательной декомпрессией, в надголовную среду, длительные погружения и погружения в сложных условиях — то есть все виды технического дайвинга.

Наибольшую опасность представляет не высокий, а **низкий уровень сахара в крови (гипогликемия)**: он может привести к почти мгновенной потере сознания, а под водой — к гибели.

Признаки гипогликемии: головная боль, чувство голода, головокружение, сонливость, холодный пот, мышечная дрожь. Далее — потеря сознания и судороги, что без помощи

приводит к утоплению.

Почему у дайвера риск гипогликемии высок:

- высокие физические нагрузки — технический дайвинг требует больших затрат энергии;
- переохлаждение — длительное пребывание в воде, холодная вода на глубине;
- отказ от еды перед погружением — в организме недостаточно углеводов.

Никакое планирование, напиток с углеводами под водой или сигналы напарнику не гарантируют безопасность при наличии декомпрессионных обязательств или надголовной среды. **При диабете технический дайвинг не рекомендуется.**

> **ИТОГ ГЛАВЫ**
>
> Самые опасные для баротравм глубины — 0–10 м. Никогда не задерживайте дыхание на всплытии. При баротравме лёгких — покой, 100% кислород, правильное положение и барокамера. При травме уха — ничего не вводить в ухо и обратиться к ЛОР-врачу. ООО повышает риск ДКБ; техническому дайверу нужно обследование. При диабете технический дайвинг не рекомендуется.

Вопросы для самопроверки

1. Почему глубины 0–10 м наиболее опасны с точки зрения баротравм?

a. Там самая холодная вода
b. Там самое большое относительное изменение давления — в 2 раза
c. Там нет течений
d. Там быстрее всего растёт парциальное давление кислорода

2. Какая главная причина баротравмы лёгких?

a. Слишком медленный спуск
b. Задержка дыхания при всплытии
c. Дыхание чистым кислородом
d. Использование сухого костюма

3. Какие признаки характерны для артериальной газовой эмболии?

a. Боль в суставах через сутки после погружения
b. Быстро появляющиеся симптомы, похожие на инсульт: невнятная речь, нарушения зрения, параличи, потеря сознания
c. Только зуд кожи
d. Только боль в зубах

4. Какое положение НЕ применяют при транспортировке пострадавшего с баротравмой лёгких?

a. На боку (восстановительное положение)

b. Полусидя

c. С опущенной головой и приподнятыми ногами

d. На спине — для сердечно-лёгочной реанимации

5. Что делать при подозрении на разрыв барабанной перепонки?

a. Промыть ухо тёплой водой

b. Закапать капли и наложить согревающий компресс

c. Держать ухо сухим, ничего не вводить в ухо и обратиться к ЛОР-врачу

d. Продолжить погружения, если боль прошла

6. Что называют обратным блоком?

a. Невозможность выровнять давление в ухе на спуске

b. Невозможность выхода расширяющегося воздуха из среднего уха при всплытии

c. Обжим маски

d. Перекрытие клапана сухого костюма

7. Как предотвратить обжим маски?

a. Затянуть ремешок маски сильнее

b. Выдыхать через нос под маску во время спуска

c. Нырять без маски

d. Использовать маску меньшего объёма без выравнивания

8. Чем опасна слишком тугая шейная манжета сухого костюма?

a. Вызывает обжим маски

b. Давит на каротидный синус — может снизиться пульс и давление, возможна потеря сознания

c. Вызывает баротравму пазух

d. Повышает парциальное давление кислорода

9. Каков механизм, по которому открытое овальное окно повышает риск ДКБ?

a. Через ООО ускоряется насыщение тканей азотом во время погружения

b. Через ООО часть венозной крови с газовыми микропузырьками сбрасывается из правого предсердия в левое и попадает в артериальное русло, минуя капилляры лёгких, где пузырьки в норме задерживаются и выводятся (парадоксальная газовая эмболия)

c. Через ООО в артериальную кровь поступает избыток кислорода, что вызывает гипероксию

d. ООО нарушает проходимость евстахиевых труб и выравнивание давления в среднем ухе

10. Какой уровень сахара в крови наиболее опасен для дайвера с диабетом?

a. Высокий — гипергликемия

b. Низкий — гипогликемия, она может вызвать почти мгновенную потерю сознания

c. Нормальный

d. Уровень сахара на погружение не влияет

ГЛАВА 8

Стресс

Причины, признаки и контроль стресса в техническом дайвинге.

Стресс — состояние нервного напряжения. Он возникает, когда человек считает предъявляемые ему требования невыполнимыми или трудновыполнимыми.

Неправильно понимать стресс только как реакцию на неприятности и сильные негативные эмоции. Стресс могут вызвать и сильные положительные эмоции — радость, триумф. Причины стресса бывают реальными и надуманными, но вызванное ими нервное напряжение в обоих случаях абсолютно реально.

Реакция на стресс условно делится на три фазы:

- фаза тревоги;
- фаза устойчивости (приспособления);
- фаза истощения.

В практике погружений мы, как правило, сталкиваемся с первой фазой — тревогой.

Психологические и физические факторы стресса

Психологические факторы:

- деятельность в условиях риска;
- необходимость быстро принимать решения в резко меняющейся обстановке;
- необходимость мгновенно реагировать на опасность;
- работа под психологическим давлением;
- недостаток информации о предстоящей деятельности.

Физические факторы:

- резко некомфортная температура (холод или перегрев);
- морская болезнь;
- травма;
- плохая освещённость и видимость;
- надголовная среда, замкнутое пространство;
- дискомфорт из-за неподходящего снаряжения;
- физическая усталость.

Признаки стресса у дайвера

- невозможность сосредоточиться;

- частые ошибки, неловкость, неспособность правильно выполнить привычные действия;
- быстрая утомляемость, изменение темпа плавания, «застывание» на месте;
- повышенная возбудимость, неспособность успокоиться;
- заторможенность в общении, апатия и безразличие;
- напряжённый, бегающий или испуганный взгляд;
- учащённое, затруднённое дыхание;
- непрерывная проверка показаний приборов.

Опасность стресса в том, что он повышает вероятность нештатной ситуации, снижает способность к самоспасению, повышает риск потери члена команды, а реакции дайвера перестают быть адекватными и могут навредить напарникам.

Различают два основных типа реакции на стресс:

- **«Уход от проблемы»** — человек не ищет решения, а старается не замечать проблему или преуменьшает её. Опасен внезапными эмоциональными срывами (вплоть до истерики) после довольно длительного внешне спокойного периода.
- **Готовность справиться с ситуацией** — проблема осознаётся и анализируется, рекомендации напарника или спасателя принимаются, стресс переходит в фазу адаптации. Такой дайвер обычно справляется сам.

ПОМНИТЕ

Неконтролируемый стресс может перейти в панику. А паника — это прямая угроза жизни!

Стресс в техническом дайвинге

Под водой реакция на стрессовую ситуацию легко проводит грань между прекрасным погружением и катастрофой. Стресс, оставленный без внимания, ведёт к панике и несчастному случаю. Технические дайверы по роду своей деятельности подвергаются большинству известных видов стресса. Погружения в пещеры и на затонувшие корабли лишают возможности прямого выхода на поверхность; темнота, необходимость выбирать путь — всё это источники стресса.

Фактор времени

Во время технического погружения дайвер постоянно следит за параметрами, от которых зависит его жизнь: глубиной, запасом газа, расстоянием до точки выхода. Все они связаны со временем: чем глубже дайвер, тем дольше всплытие и декомпрессия, тем больше нужно газа и тем большее расстояние нужно преодолеть. Необходимость постоянного контроля и осознание риска при нехватке времени — один из источников стресса. С опытом влияние этого фактора уменьшается, но не исчезает. При нарушении плана стресс возрастает даже у очень опытных дайверов.

Ещё один пример — нехватка времени на сборку и проверку снаряжения перед погружением. Желание не отстать от группы и понимание, что снаряжение проверено не до конца,

порождают сомнения в его исправности — это тоже стресс.

> *Погружение, которое плохо началось, обычно заканчивается ещё хуже.*

Удалённость от точки выхода — разновидность фактора времени. В пещере или на затонувшем корабле дайверу нужно преодолеть определённое расстояние, прежде чем появится возможность всплыть. Даже при тщательном планировании это давит на психику, хотя реальный риск при соблюдении правил часто переоценивается. Известны случаи, когда дайверы из-за этого впадали в панику и забывали о базовых правилах безопасности.

Ограниченная свобода движения

Прохождение узостей, замкнутое пространство, невозможность прямого всплытия — явный источник стресса. Мысль об этом обычно постоянно присутствует где-то в сознании и выходит на первый план, когда появляются дополнительные источники стресса.

Перегрузка задачами

Если задач слишком много или нужно одновременно выполнять несколько действий, да ещё и отвечать за их результат перед напарниками, дайвер теряет психическое равновесие, начинает ошибаться, и осознание ошибок усиливает стресс. С опытом и постепенным усложнением задач приходит уверенность, но любая внеплановая задача снова повышает уровень стресса.

Неправильное дыхание

Неправильное дыхание вызывает стресс, а стресс нарушает ритм и глубину дыхания — возникает порочный круг. Учащённое поверхностное дыхание ведёт к накоплению CO_2, нехватке воздуха и ещё большей тревоге. Если не принять решительных мер, ситуация быстро становится критической.

Дезориентация

Дезориентация — одна из главных проблем погружений в замкнутом пространстве, при плохой видимости и на больших глубинах, куда не проникает солнечный свет. В пещерах и на затонувших кораблях дайвер сталкивается с лабиринтом ходов и коридоров, и постоянная необходимость выбирать маршрут — фактор стресса. А на глубоководном погружении на исправление «навигационных» ошибок остаётся мало времени.

Как справиться со стрессом

Прежде всего каждый технический дайвер должен сам научиться контролировать свой уровень стресса.

ПЕРВОЕ ДЕЙСТВИЕ ПРИ СТРЕССЕ

Стоп. Прекратите любую деятельность. Медленный глубокий выдох, затем медленный вдох. Сосредоточьтесь на дыхании и повторите не менее трёх раз. Затем подумайте — и только потом действуйте.

Это один из лучших способов не дать стрессу перерасти в панику.

> *Стресс лучше предотвратить, чем бороться с ним.*

Регулярные тренировки — лучшая профилактика. Отработка действий в аварийных ситуациях до автоматизма повышает уверенность и снижает уровень стресса под водой.

Физическая подготовка добавляет уверенности, помогает контролировать дыхание и переносить нагрузки, не выходя из зоны комфорта.

Помощь напарнику в состоянии стресса

- деликатно выясните, чем вызван стресс: страхом за свою безопасность, неуверенностью в себе, плохим самочувствием или внешними факторами (холод, плохая видимость, потеря ориентации, неисправность снаряжения);
- по возможности устраните причину: успокойте и подбодрите напарника, при необходимости предложите прервать погружение, а если стресс проявился ещё на поверхности — отказаться от него.

Внимание к состоянию напарника, участливые вопросы и спокойные рекомендации помогают ему самому осознать происходящее и найти решение.

ИТОГ ГЛАВЫ

Стресс — нормальная реакция, но без контроля он ведёт к панике. Распознавайте признаки стресса у себя и у напарника. При первых признаках: стоп — дыхание — подумай — действуй. Лучшая профилактика — регулярные тренировки, физическая подготовка и тщательное планирование.

Вопросы для самопроверки

1. С какой фазой стресса дайверы сталкиваются чаще всего?

a. Фаза тревоги
b. Фаза устойчивости
c. Фаза истощения
d. Фаза восстановления

2. Какой из признаков указывает на стресс у дайвера?

a. Спокойное ровное дыхание

b. Непрерывная проверка показаний приборов, частые ошибки, «застывание» на месте

c. Точное выполнение плана

d. Хорошая плавучесть и горизонтальное положение

3. Чем опасна реакция на стресс по типу «ухода от проблемы»?

a. Дайвер быстро всплывает

b. Возможны внезапные эмоциональные срывы после длительного внешне спокойного периода

c. Дайвер слишком медленно дышит

d. Такой реакции не бывает под водой

4. Во что может перейти неконтролируемый стресс?

a. В азотный наркоз

b. В панику — прямую угрозу жизни

c. В ДКБ

d. В гипотермию

5. Почему нехватка времени на проверку снаряжения перед погружением — фактор стресса?

a. Потому что снаряжение становится тяжелее

b. Сомнения в исправности снаряжения сохраняются на всё погружение

c. Потому что дайвер дольше остаётся на поверхности

d. Это не является фактором стресса

6. Как неправильное дыхание связано со стрессом?

a. Никак не связано

b. Образуется порочный круг: неправильное дыхание вызывает стресс, а стресс ещё больше нарушает дыхание

c. Частое дыхание снижает стресс

d. Стресс делает дыхание глубже и спокойнее

7. Каково первое действие при появлении стресса под водой?

a. Немедленно всплыть на поверхность

b. Ускорить плавание к точке выхода

c. Остановиться, прекратить деятельность, сделать медленный глубокий выдох и вдох (не менее 3 раз), подумать — и только потом действовать

d. Подать сигнал «нет воздуха» напарнику

8. Что является лучшей профилактикой стресса?

a. Погружения без плана

b. Регулярные тренировки действий в аварийных ситуациях до автоматизма и хорошая физическая подготовка

c. Увеличение количества снаряжения

d. Погружения в одиночку

ГЛАВА 9

Декомпрессионные модели

Халдейн, Бульман, VPM, Ratio Deco и градиент-факторы.

Во время декомпрессионного погружения технический дайвер не может всплыть на поверхность в любой момент — это грозит декомпрессионной болезнью. Чтобы её избежать, он выполняет обязательные декомпрессионные остановки на разных глубинах. Глубину и продолжительность остановок определяют алгоритмы, которые называют **декомпрессионными моделями**.

Модель Халдейна

Первую модель создал шотландский физиолог Джон Скотт Холдейн (Халдейн); она опубликована в **1908 году** (Бойкотт, Дамант, Холдейн). Холдейн предложил математический способ расчёта количества инертного газа в тканях на каждом этапе погружения. Согласно модели, разные ткани организма насыщаются инертным газом с разной скоростью. За основу взято **время полунасыщения** ткани азотом — в то время единственной дыхательной смесью был воздух.

Время полунасыщения — время, за которое давление растворённого газа в ткани изменяется на половину разницы между исходным значением и парциальным давлением этого газа во вдыхаемой смеси.

Пример. Ткань с временем полунасыщения 20 минут, дайвер дышит воздухом на 40 м (ppN_2 = 0,79 × 5 = 3,95 ата). До погружения напряжение азота в ткани — 0,79 ата.

```
через 20 мин: 0,79 + (3,95 − 0,79) / 2 ≈ 2,37 ата
через 40 мин: 2,37 + (3,95 − 2,37) / 2 ≈ 3,16 ата
через 60 мин: 3,16 + (3,95 − 3,16) / 2 ≈ 3,56 ата
```

Используя разные времена полунасыщения для «быстрых» и «медленных» тканей, Холдейн мог теоретически отслеживать поглощение и выведение газа разными тканями и предсказывать, на какой глубине в какой ткани будет достигнута максимально допустимая разница между напряжением газа в ткани и наружным давлением.

По результатам экспериментов Холдейн определил максимально допустимое перенасыщение тканей — **отношение 2:1** (tissue ratio, TR). Иными словами, дайвер, полностью насыщенный на глубине 10 м, мог бы, по Холдейну, сразу подняться на поверхность без симптомов ДКБ. Профиль всплытия строился так, чтобы подниматься как можно ближе к поверхности, не превышая этого отношения, а затем выполнять длинные остановки на небольших глубинах. Теория не учитывала, что пузырьки газа могут образовываться и при перенасыщении меньше допустимого.

Основные положения модели Халдейна:

- ткани поглощают и выводят инертный газ по экспоненциальному закону; движущая сила — разница между давлением газа во вдыхаемой смеси и напряжением газа в ткани;
- в организме существует множество групп тканей с разной скоростью насыщения и рассыщения;
- каждая группа тканей поглощает и выводит газ с одинаковой скоростью;
- весь спектр тканей можно приближённо описать конечным числом групп («компартментов»).

Неохалдейновские модели. Алгоритм Бульмана

До 1960-х годов модель Холдейна менялась незначительно (например, увеличивалось число групп тканей). В середине 1960-х годов Роберт Воркман, выполняя исследования для ВМС США, учёл, что кислород не участвует в образовании пузырьков, и пересчитал отношение Холдейна только для азота — получилось **1,58:1**. Затем он установил, что допустимое перенасыщение зависит от типа ткани и глубины: «быстрые» ткани выдерживают большее перенасыщение, чем «медленные», а с глубиной допустимое отношение уменьшается.

Воркман ввёл понятие **M-значения** (от англ. maximum) — максимально допустимого напряжения инертного газа в данной ткани на данной глубине, при котором ещё не должно возникать симптомов ДКБ. M-значение определяет глубину, на которой нужно остановиться, чтобы напряжение газа в ткани успело снизиться. Эту глубину называют **декомпрессионным потолком**.

Наиболее значимой стала работа швейцарского профессора **Альберта Бульмана**, опубликованная в 1983 году в книге «Декомпрессия — декомпрессионная болезнь». В отличие от Воркмана, который связывал M-значения с гидростатическим давлением (глубиной), Бульман рассчитывал их по абсолютному давлению. Он представил алгоритмы **ZH-L12** (1983) и **ZH-L16** (1990). Именно алгоритм Бульмана лежит в основе большинства дайв-компьютеров и программ-планировщиков.

Времена полунасыщения групп тканей ZH-L16

Группа	Азот, мин	Гелий, мин	Группа	Азот, мин	Гелий, мин
1	4,0	1,5	9	109,0	41,1
2	8,0	3,0	10	146,0	55,1
3	12,5	4,7	11	187,0	70,6
4	18,5	7,0	12	239,0	90,2
5	27,0	10,2	13	305,0	115,1
6	38,3	14,5	14	390,0	147,2
7	54,3	20,5	15	498,0	187,9
8	77,0	29,1	16	635,0	239,6

Испытания показали, что теоретические M-значения для «средних» тканей недостаточно консервативны, и алгоритм ZH-L16 был доработан до версий **B** (для составления таблиц) и **C** (более консервативная, для дайв-компьютеров).

Глубокие остановки и микропузырьковые модели

Практика показала, что и алгоритм Бульмана не идеален: не все дайверы, выполнявшие декомпрессию по его таблицам, выходили на поверхность без признаков ДКБ.

Метод Пайла

Морской биолог Ричард Пайл с Гавайских островов регулярно погружался глубже 60 м и периодически испытывал симптомы ДКБ, выполняя декомпрессию по таблицам Бульмана. Он заметил, что симптомы не возникали, когда он поднимал с собой пойманных рыб: чтобы сохранить им жизнь, он останавливался по пути наверх и выпускал газ из их плавательного пузыря иглой — то есть делал короткие остановки глубже первой декомпрессионной остановки.

Пайл предложил правило глубоких остановок: первая остановка продолжительностью 1–2 минуты делается на половине расстояния между максимальной глубиной и первой остановкой по Бульману; затем следующая — на половине расстояния от этой остановки до первой остановки по Бульману, и так далее. Если до первой обязательной остановки остаётся **меньше 10 м**, дополнительные глубокие остановки не делаются.

Механизм действия глубоких остановок пытались объяснить двухфазные (микропузырьковые) модели, учитывающие одновременно растворённый газ и газ в форме микропузырьков.

Модель переменной проницаемости (VPM)

VPM (Varying Permeability Model) разработал Дэвид Юнт. Модель исходит из того, что в тканях всегда присутствуют газовые «зародыши» — микропузырьки, из которых при декомпрессии растут пузыри. При сжатии зародыши уменьшаются, при декомпрессии восстанавливают размер не полностью. По модели VPM существует критический объём свободного газа, который организм выводит через лёгкие без симптомов ДКБ; задача декомпрессии — не превысить его. Первые остановки по VPM глубже, чем по Бульману, а глубоких остановок больше, чем по методу Пайла.

Существуют варианты модели: **VPM-B**; **VPM-B/E** — с дополнительной консервативностью для длительной декомпрессии; **VPM-B/GFS** — гибрид, в котором мелкие остановки рассчитываются по Бульману с градиент-фактором.

> **СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ГЛУБОКИЕ ОСТАНОВКИ**
>
> В 2011 году исследование ВМС США (NEDU, Doolette и соавт.) сравнило два профиля с одинаковым общим временем декомпрессии: с глубокими остановками и с традиционными мелкими. При профиле с глубокими остановками ДКБ возникала достоверно чаще. Объяснение: на глубоких остановках «медленные» ткани продолжают насыщаться, и затем им требуется больше времени на мелких остановках. Последующие работы подтвердили этот вывод. Поэтому сегодня от избыточных глубоких остановок отказываются, а при использовании градиент-факторов не выбирают слишком низкий GF Low.

Ratio Deco (декомпрессия «на лету»)

Ratio Deco — эвристический метод, позволяющий приблизительно рассчитать декомпрессию под водой. Принцип: при переходе от глубоких остановок к мелким время на каждом следующем сегменте (группе остановок) **вдвое больше**, чем на предыдущем, более глубоком.

Пример: на каждом сегменте две остановки с шагом 3 м.

- Сегмент 1 (самый глубокий) — всего 2 минуты: по минуте на каждой остановке.
- Сегмент 2 — 4 минуты: по 2 минуты на остановке.
- Сегмент 3 — 8 минут: по 4 минуты.
- Сегмент 4 — 16 минут: по 8 минут.
- Сегмент 5 — по правилу 32 минуты на две остановки; но если до поверхности остаётся одна остановка (3 м), для сохранения характера графика делают одну остановку 16 минут.

Каждый стандартный декомпрессионный газ обычно охватывает около пяти остановок со средним ppO_2 около 1,2 ата; кислород — примерно вдвое меньше остановок при ppO_2 около 1,6 ата.

Пример для погружения на 120 м. Декомпрессия начинается значительно глубже, чем по Бульману с высоким градиент-фактором:

Газ	Глубины, м	Остановок	Время сегмента
Tx 12/60	90–75	6	5 мин
Tx 15/55	72–60	5	10 мин
Tx 21/35	57–39	7	20 мин
Tx 35/30	36–24	5	40 мин
EAN50	21–9	5	80 мин
Кислород	6–0	остановка на 6 м + медленный подъём	80 мин

Соотношения: время на кислороде равно времени на EAN50; время на EAN50 вдвое больше времени на газе с 36 м; время на газе с 36 м вдвое больше времени на газе с 57 м и так далее.

Чтобы составить план, сначала определяют время на кислороде в зависимости от глубины и донного времени, а затем — время на более глубоких сегментах:

Глубина погружения	Время на кислороде
45 м	0,5 × донное время
66 м	1,0 × донное время
81 м	1,2 × донное время
90 м	1,5 × донное время
105 м	2,2 × донное время
120 м	3,0 × донное время

Пример: погружение на 65 м, донное время 20 минут. Время на кислороде — 20 минут (коэффициент 1,0). Сегмент 21–9 м на EAN50 — 20 минут, сегмент 36–24 м — 10 минут, сегмент глубже 36 м — 5 минут. Для погружения на 65 м первая остановка выполняется на 51 м, поэтому глубокий сегмент включает пять остановок с 51 до 39 м. При равномерном распределении остановок:

Глубина, м	Остановка, мин	Время погружения, мин
65 (дно)	20	20
51 / 48 / 45 / 42 / 39	по 1	25
36 / 33 / 30 / 27 / 24	по 2	35
21 / 18 / 15 / 12 / 9	по 4	55
6	20	75

> **ВАЖНО**
>
> Ratio Deco — эвристика, а не проверенная декомпрессионная модель. Её используют для понимания структуры декомпрессии и как запасной вариант при отказе приборов. Любой план, составленный по Ratio Deco, необходимо проверять в программе-планировщике.

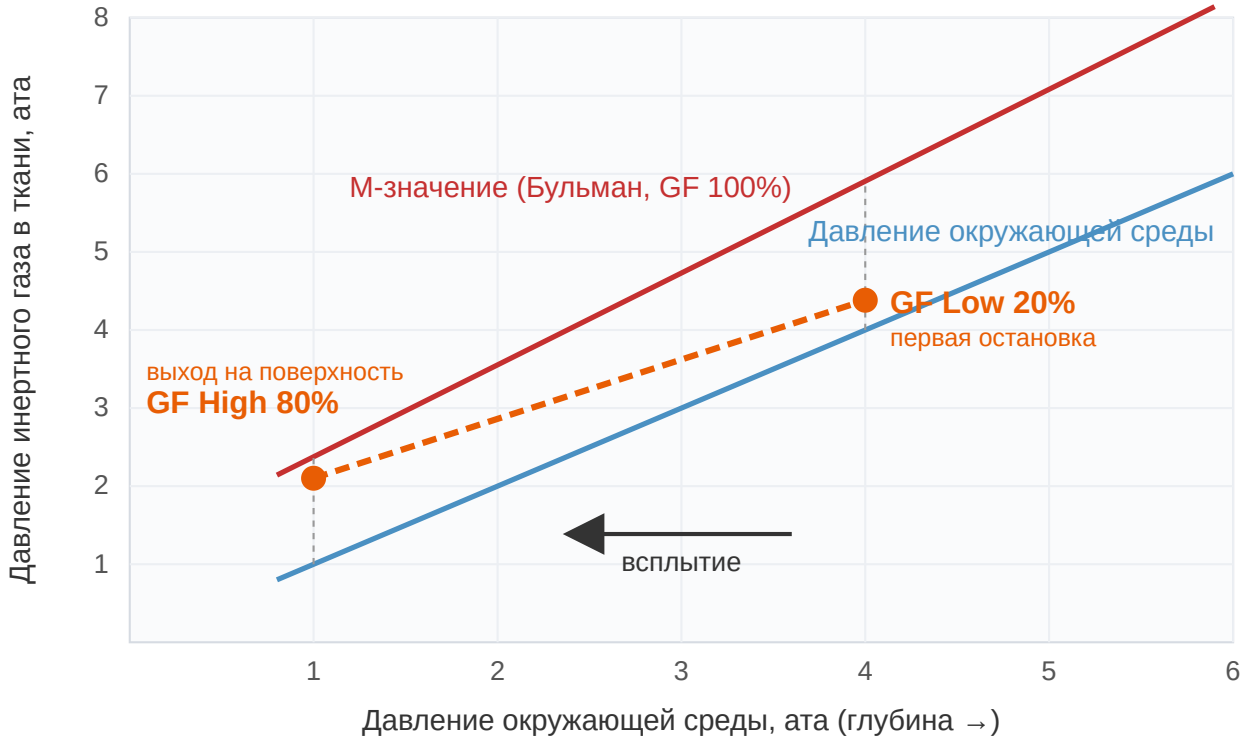
Градиент-факторы (Gradient Factors)

Градиент-факторы — это модификация алгоритма Бульмана, позволяющая настраивать консерватизм. Для их понимания нужны два понятия:

- **M-значение** — максимально допустимое напряжение инертного газа в ткани на данной глубине (по Бульману);
- **линия давления окружающей среды** — напряжение газа в ткани равно внешнему давлению; на этой линии ткань ни насыщается, ни рассыщается.

Градиент-фактор показывает, какую долю (в процентах) расстояния между линией окружающего давления и М-значением разрешено использовать. Записывается так: **GF 20/80**. Первая цифра — **GF Low** (нижний), вторая — **GF High** (верхний).

- **GF Low 20** — первая остановка выполняется там, где перенасыщение «ведущей» ткани достигает 20% от допустимого по Бульману.
- **GF High 80** — компьютер не позволит выйти на поверхность, пока напряжение газа во всех тканях не опустится ниже 80% от М-значения, то есть до критического значения остаётся запас 20%.
- Между первой остановкой и поверхностью допустимое перенасыщение меняется линейно — от GF Low к GF High.



Градиент-факторы на примере GF 20/80: допустимое перенасыщение ткани растёт от 20% (GF Low, первая остановка) до 80% (GF High, выход на поверхность). Оранжевая пунктирная линия — предел, который алгоритм не позволяет превысить при всплытии.

Преимущество градиент-факторов — гибкость настройки консерватизма:

- **GF 100/100** — алгоритм Бульмана в чистом виде: всплытие «по М-значениям», без запаса.
- **GF 0/0** — время декомпрессии стремится к бесконечности.
- **Чем ниже GF Low**, тем глубже первая остановка. Это уменьшает нагрузку на «быстрые» ткани, но «медленные» ткани в это время продолжают насыщаться, и им потребуется больше времени на мелких остановках. С учётом исследований по глубоким остановкам слишком низкий GF Low не выбирают.
- **Чем ниже GF High**, тем дольше компьютер задерживает дайвера на мелких остановках; GF High сопоставим с привычным «уровнем консерватизма».

Большинство современных компьютеров для технического дайвинга используют алгоритм Бульмана с градиент-факторами. Заводские настройки у разных производителей различаются; конкретные значения GF согласуйте с инструктором и стандартами своего курса.

> **ИТОГ ГЛАВЫ**
>
> Халдейн ввёл времена полунасыщения и допустимое перенасыщение, Воркман — M-значения, Бульман — алгоритм ZH-L16, лежащий в основе большинства компьютеров. Глубокие остановки, по современным данным, при том же общем времени не снижают, а повышают риск ДКБ. Ratio Deco — эвристика, которую нужно проверять программой. Градиент-факторы позволяют настраивать консерватизм алгоритма Бульмана.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое время полунасыщения ткани?

a. Время, за которое ткань полностью насыщается газом

b. Время, за которое напряжение газа в ткани изменяется на половину разницы между исходным значением и парциальным давлением газа во вдыхаемой смеси

c. Половина донного времени

d. Время первой декомпрессионной остановки

2. Ткань с временем полунасыщения 20 минут, дыхание воздухом на 40 м (ppN_2 = 3,95 ата), исходное напряжение азота 0,79 ата. Каким будет напряжение через 20 минут?

a. ≈ 1,98 ата

b. ≈ 2,37 ата

c. ≈ 3,16 ата

d. 3,95 ата

3. Что такое M-значение?

a. Максимальная глубина погружения

b. Максимально допустимое напряжение инертного газа в ткани на данной глубине

c. Максимальное парциальное давление кислорода

d. Максимальная скорость всплытия

4. Какой алгоритм лежит в основе большинства дайв-компьютеров и программ-планировщиков?

a. Модель Халдейна 1908 года

b. Алгоритм Бульмана ZH-L16

c. Ratio Deco

d. Таблицы ВМС США

5. В методе Пайла дополнительные глубокие остановки не делаются, если расстояние до первой обязательной остановки:

a. меньше 3 м

b. меньше 6 м

c. меньше 10 м

d. меньше 20 м

6. Что показало исследование BMC США (NEDU, 2011) о глубоких остановках?

a. Глубокие остановки полностью исключают ДКБ

b. При том же общем времени декомпрессии профиль с глубокими остановками приводил к ДКБ чаще

c. Глубокие остановки не влияют на риск ДКБ

d. Глубокие остановки нужны только на воздухе

7. Чем первые остановки по модели VPM отличаются от остановок по Бульману?

a. они мельче

b. они глубже, а глубоких остановок больше, чем по методу Пайла

c. их нет — VPM не требует остановок

d. они делаются только на кислороде

8. Что означает запись GF 20/80?

a. Глубина 20 м, время 80 минут

b. GF Low 20% определяет первую остановку, GF High 80% — допустимое перенасыщение при выходе на поверхность

c. 20% кислорода и 80% азота

d. 20 минут на дне и 80 минут декомпрессии

9. Что произойдёт, если уменьшить GF Low?

a. Первая остановка станет мельче

b. Первая остановка станет глубже

c. Декомпрессия исчезнет

d. Изменится только время на поверхности

10. Что означает установка GF 100/100?

a. Максимально консервативный режим

b. Алгоритм Бульмана в чистом виде — всплытие «по M-значениям» без запаса

c. Декомпрессия не нужна

d. Время декомпрессии стремится к бесконечности

ГЛАВА 10

Подбор газовых смесей

Донная и декомпрессионная смеси, MOD, END, расход газа.

Типовое техническое погружение нельзя прервать всплытием на поверхность в любой момент: мешают декомпрессионные обязательства или надголовная среда. Поэтому техническое погружение не заканчивается «по окончании газа» или по желанию дайвера — запасы газа рассчитывают заранее на весь путь назад, на всплытие, все остановки по выбранной декомпрессионной модели и на резерв для членов команды.

Условия под водой редко бывают идеальными, и от плана иногда приходится отступать. На этот случай составляют **аварийный план** — например, на глубину больше на 3 м и донное время больше на 2 минуты (подробнее — в главе TECH-2). Аварийный план используют, только если завершить погружение по основному плану невозможно. Оба плана доводят до всех членов команды и, согласовав, выполняют: цели и время на дне под водой без крайней необходимости не меняют.

Цели и условия погружения

Планирование начинается с целей: какие задачи будут выполнены, какие глубины достигнуты, сколько времени это займёт, какие условия ожидаются и кто в команде за что отвечает.

Изучая дайв-сайт, анализируют опасности и усложняющие факторы. В открытой воде это течения, видимость, температура воды и судоходство; при плохой видимости и сильном течении — риск зацепиться за препятствия. Эти же данные нужны для выбора газов, расчёта их количества, подбора снаряжения и организации работы команды. Безопасность всегда важнее остальных целей погружения.

Цели должны соответствовать подготовке дайверов. Уровень команды определяется подготовкой самого слабого её участника. Если цель требует более высокой квалификации, её упрощают.

Подбор донной смеси

Донная смесь — газ для дыхания в самой глубокой части погружения. Ею же дышат на спуске (или на его последнем участке), в начале всплытия, иногда на части декомпрессии. Точки переключения на донную смесь и с неё определяют при планировании.

Для подбора газа нужна информация об условиях: глубина, температура воды на поверхности и у дна, глубина термоклина, видимость, течения, общее время погружения.

Эквивалентная наркотическая глубина (END)

Один из главных критериев выбора донной смеси — её наркотичность. **END** — глубина, на которой воздух оказывает такой же наркотический эффект, как данная смесь на глубине погружения.

В IDU при расчёте END **кислород считается наркотическим газом наравне с азотом**. По теории Мейера — Овертона кислород даже наркотичнее азота, но часть его расходуется организмом, поэтому для простоты их наркотичность приравнивают. Ненаркотическим компонентом смеси остаётся гелий.

```
END = (P × (FO₂ + FN₂) − 1) × 10
P — абсолютное давление на глубине погружения, ата
```

Наркотическая часть смеси не должна создавать давления больше, чем воздух на глубине END: для END 30 м это **4 ата**, для END 40 м — **5 ата**.

END 40 м — нормальные условия: тёплая вода, хорошая видимость, нет сильного течения (например, Красное море; Средиземное море).
END 30 м — сложные условия: холодная вода, плохая видимость, течение, надголовная среда.

Воздух и нитрокс как донная смесь — только в пределах этих значений END: до 40 м в нормальных условиях и до 30 м в сложных. Глубже — только тримикс.
Исключение: при необходимости и при благоприятных условиях погружения стандарт IDU допускает **кратковременное увеличение END до 45 м**. Поэтому на уровне TECH-1 (до 45 м) погружения на воздухе и нитроксе глубже 40 м возможны только кратковременно и только в благоприятных условиях; для регулярных погружений на 40–50 м нужен курс TECH-1 Trimix.

Парциальное давление кислорода

Для донной части погружения используют смеси с ppO_2 **не выше 1,4 ата**. В сложных условиях — холодная вода, плохая видимость, течение, надголовная среда, долгая экспозиция — растут и риск кислородного отравления ЦНС, и наркоз. Тогда ppO_2 снижают до **1,3 ата**. Для декомпрессионных смесей допускается ppO_2 **до 1,6 ата**.

Порядок расчёта

Инертные газы определяют длительность декомпрессии, поэтому кислорода в донной смеси стараются сделать как можно больше — в пределах выбранного ppO_2.

```
1) FO₂ = ppO₂ / P — округляем в меньшую сторону
2) Допустимая доля наркотических газов: FO₂ + FN₂ ≤ P(END) / P
3) FHe = 1 − (FO₂ + FN₂) — округляем в большую сторону
4) Проверяем END и ppO₂ получившейся смеси
```

Пример 1. 40 м, нормальные условия: ppO_2 1,4 ата, END 40 м.

```
P = 40/10 + 1 = 5 ата
FO₂ = 1,4 / 5 = 0,28 → 28 %
FO₂ + FN₂ ≤ 5 / 5 = 1,0 → гелий не нужен
Смесь: EAN28, END = (5 × 1,0 − 1) × 10 = 40 м
```

Пример 2. 50 м, нормальные условия: ppO_2 1,4 ата, END 40 м.

```
P = 50/10 + 1 = 6 ата
FO₂ = 1,4 / 6 = 0,233 → 23 %
FO₂ + FN₂ ≤ 5 / 6 = 0,833 → FHe ≥ 16,7 % → 17 %
FN₂ = 100 − 23 − 17 = 60 %
Смесь: Tx 23/17, ppO₂ = 1,38 ата, END = (6 × 0,83 − 1) × 10 ≈ 40 м
```

Смесь с максимально возможной для данной глубины долей кислорода называют **best mix**.

Пример 3. Сложные условия: ppO_2 1,3 ата, END 30 м.

```
40 м: FO₂ = 1,3 / 5 = 0,26 → 26 %; FO₂ + FN₂ ≤ 4 / 5 = 0,80 → FHe = 20 % → Tx 26/20
50 м: FO₂ = 1,3 / 6 = 0,216 → 21 %; FO₂ + FN₂ ≤ 4 / 6 = 0,667 → FHe = 34 % → Tx 21/34
```

На практике для 50 м часто используют стандартную смесь **Tx 21/35** (END ≈ 29 м) — она подходит и для сложных, и для комфортных условий.

Подбор декомпрессионной смеси

Декомпрессионная смесь содержит меньше инертных газов, чем донная, и ускоряет их выведение из организма. Её носят в этапных (стейдж) баллонах. Чем больше в смеси кислорода, тем эффективнее декомпрессия. Самые распространённые декомпрессионные газы — **EAN50, EAN80 и 100 % кислород**.

Максимальная рабочая глубина (MOD) смеси:

```
MOD = (ppO₂ / FO₂ − 1) × 10
EAN50: (1,6 / 0,5 − 1) × 10 = 22 м
EAN80: (1,6 / 0,8 − 1) × 10 = 10 м
O₂ 100 %: (1,6 / 1,0 − 1) × 10 = 6 м
```

На декомпрессионный газ переключаются на остановке, глубина которой не превышает MOD смеси, — для EAN50 обычно на 21 м, для кислорода на 6 м. Этим газом дышат до следующего переключения или до выхода на поверхность.

Перед переключением убедитесь, что текущая глубина не больше MOD смеси, плавучесть нейтральная и стабильная, глубина остановки удерживается, а баллон и регулятор — именно той смеси, на которую вы переключаетесь. Партнёр подтверждает переключение.

Дышать смесью глубже её максимальной рабочей глубины запрещено — это смертельно опасно.

Расход газа: SAC

Чтобы рассчитать нужный объём газа, каждый дайвер должен знать свой расход. Его приводят к поверхности (к давлению 1 ата):

- **SAC** (Surface Air Consumption) — поверхностный расход газа в **литрах в минуту**; не зависит от баллона и является основной величиной для планирования;
- **расход на глубине** = SAC × P, л/мин, где P — абсолютное давление на глубине, ата.

Для справки: **RMV** (Respiratory Minute Volume, минутный объём дыхания) — физиологический объём, проходящий через лёгкие за минуту (дыхательный объём × частота дыхания).

Расход зависит от нагрузки: чем она больше, тем больше выделяется CO_2 и тем чаще мы дышим. Поэтому замеры делают в трёх режимах:

- малая нагрузка — дрейф по течению, медленное перемещение;
- средняя нагрузка — плавание без течения в среднем темпе;
- большая нагрузка — плавание против течения или в быстром темпе (без течения можно упереться в препятствие и работать ластами).

Методика. Опуститесь на постоянную глубину (удобно 10 м) и подождите, пока температура баллона сравняется с температурой воды. Запишите давление в баллоне, затем не менее 5 минут выполняйте упражнение, удерживая глубину. В конце запишите время, давление и глубину. Повторите для каждого режима.

Пример. Баллон 12 л, глубина 10 м (2 ата), по 5 минут на каждый режим.

	Малая	Средняя	Большая
Давление начало → конец	210 → 195 бар	190 → 165 бар	170 → 110 бар
Израсходовано	15 бар	25 бар	60 бар
Объём (× 12 л)	180 л	300 л	720 л
Расход на глубине (÷ 5 мин)	36 л/мин	60 л/мин	144 л/мин
SAC (÷ 2 ата)	**18 л/мин**	**30 л/мин**	**72 л/мин**

Расход резко растёт с нагрузкой. Условия под водой меняются, поэтому при планировании декомпрессионных погружений не опирайтесь на расход при малой нагрузке.

Расход меняется день ото дня и от погружения к погружению, поэтому его нужно периодически перепроверять. Это опорная величина для планирования.

Вопросы для самопроверки

1. Как в IDU учитывается кислород при расчёте эквивалентной наркотической глубины (END)?

a. Кислород не учитывается — наркотичен только азот

b. Кислород считается наркотическим газом наравне с азотом

c. Кислород уменьшает наркотический эффект

d. Кислород учитывается только глубже 60 м

2. Какой END допустим для донной смеси в нормальных и в сложных условиях погружения?

a. 20 м и 10 м

b. 40 м и 30 м

c. 50 м и 40 м

d. 30 м в любых условиях

3. Какое максимальное ppO_2 допускается для донной смеси в обычных условиях и для декомпрессионной смеси?

a. 1,2 и 1,4 ата

b. 1,4 и 1,6 ата

c. 1,6 и 2,0 ата

d. 1,3 и 1,3 ата

4. Подберите донную смесь для 40 м в нормальных условиях: ppO_2 1,4 ата, END 40 м.

a. EAN28

b. Tx 28/20

c. Tx 26/20

d. Tx 21/35

5. Подберите донную смесь для 50 м в сложных условиях: ppO_2 1,3 ата, END 30 м.

a. Tx 23/17

b. Tx 26/20

c. Tx 21/34

d. EAN21

6. Как округляют доли газов при подборе донной смеси?

a. Кислород — в большую сторону, гелий — в меньшую

b. Кислород — в меньшую сторону, гелий — в большую

c. Оба — в большую сторону

d. Оба — до ближайшего целого

7. Какова максимальная рабочая глубина EAN50 при ppO_2 1,6 ата?

a. 16 м

b. 21 м

c. 22 м

d. 32 м

8. Что нужно проверить перед переключением на декомпрессионный газ?

a. Только оставшееся давление в баллоне

b. Что глубина не больше MOD смеси, плавучесть стабильна, глубина удерживается, выбран баллон и регулятор нужной смеси; партнёр подтверждает переключение

c. Только показания компьютера

d. Ничего — компьютер сделает всё сам

9. На 10 м за 5 минут из баллона 12 л израсходовано 25 бар. Каков SAC?

a. 15 л/мин

b. 30 л/мин

c. 60 л/мин

d. 300 л/мин

10. Почему при планировании декомпрессионных погружений не стоит опираться на расход при малой нагрузке?

a. Расход при малой нагрузке всегда завышен

b. Условия меняются, и при большой нагрузке расход может вырасти в несколько раз

c. Расход не зависит от нагрузки

d. Так требуют только пещерные стандарты

ГЛАВА 11

Газ-менеджмент и планирование

Правило третей, минимальный запас газа, расчёт баллонов, программы-планировщики.

Рекреационные дайверы обычно планируют расход газа так, чтобы вернуться на поверхность минимум с 50 барами в баллоне. В техническом дайвинге подход другой: в критической ситуации дайвер должен обеспечить себя всем необходимым, в том числе газом, а решение проблемы может занять значительное (по меркам погружения) время. Это учитывают при управлении запасом газа — **газ-менеджменте**.

Правило третей

Один из самых консервативных методов, используемый в техническом дайвинге и в надголовных средах:

- первая треть — на спуск и перемещение в донной фазе;
- вторая треть — на возврат к точке всплытия и всплытие;
- последняя треть — резерв для аварийных процедур.

При нормальном ходе погружения используется не больше 2/3 газа, а треть остаётся неприкосновенной. В сложных условиях (например, при течении в пещере) применяют ещё более консервативное правило четвертей.

Давление разворота — давление, при котором израсходована первая треть газа:

```
210 бар / 3 = 70 бар
210 – 70 = 140 бар – давление разворота (начала возврата или всплытия)
```

Правило минимального запаса газа

Второй подход — рассчитать минимальный запас газа, которого хватит, чтобы вдвоём с напарником, делясь газом, подняться из самой неудобной точки погружения до первой смены газа. Для расчёта нужно знать **SAC** каждого участника. Каждый технический дайвер определяет свой SAC заранее и хорошо его знает. Расчёт для всей команды ведут по SAC дайвера с наибольшим расходом.

Пример: план погружения

Погружение на 50 м, донное время 14 минут, GF 30/85. Донная смесь — стандартная для 50 м (END ≈ 29 м, подходит для любых условий): **Tx 21/35**, декомпрессионная — **EAN50** (переключение на 21 м). SAC = 18 л/мин. Спуск: 1 минута на проверку пузырей (bubble check) и 3 минуты спуска. Скорость всплытия — 10 м/мин.

План из программы-планировщика (время на остановке включает переход к ней):

Глубина, м	Время, мин	Общее время, мин	Газ
0 → 50	4	4	Tx 21/35
50	14	18	Tx 21/35
50 → 24	3	21	Tx 21/35
24	1	22	Tx 21/35
21	1	23	EAN50
18	1	24	EAN50
15	1	25	EAN50
12	1	26	EAN50
9	3	29	EAN50
6	5	34	EAN50
3	8	42	EAN50
3 → 0	1	43	EAN50

Погружение делится на этапы: спуск, донная часть, всплытие до первой остановки, всплытие до остановки со сменой газа и всплытие с последней остановки на поверхность.

Минимальный запас донной смеси

Главное условие безопасности — возможность подняться на поверхность живым и здоровым, в том числе оказывая помощь напарнику, который остался без газа (OOG, out of gas). Точно рассчитать такой запас невозможно: напарник в стрессе, его расход вырастет; стресс испытываете и вы. Поэтому расчёт приблизительный, но жизненно необходимый. В стрессовой ситуации SAC вырастает **минимум в 2 раза** — поэтому полезно знать свой SAC при большой нагрузке.

Принимаем худший случай: авария произошла на последней минуте донной части, и на то, чтобы распознать и решить проблему, уходит до 1 минуты на дне.

$$V = T \times P \times (SAC_1 + SAC_2) \times 2$$

T — время, мин; P — абсолютное давление, ата; $\times 2$ — коэффициент стресса

```
Решение проблемы на 50 м: 1 × 6 × (18 + 18) × 2 = 432 л
Всплытие 50 → 24 м, средняя глубина 37 м (4,7 ата), 3 мин:
  3 × 4,7 × 36 × 2 = 1015 л
Остановка на 24 м (3,4 ата), 1 мин: 1 × 3,4 × 36 × 2 = 245 л
Переход 24 → 21 м, средняя глубина 22,5 м (3,25 ата), округляем до 1 мин:
  1 × 3,25 × 36 × 2 = 234 л
Минимальный запас донной смеси: 432 + 1015 + 245 + 234 ≈ 1926 л
```

Средняя глубина участка всплытия — половина суммы начальной и конечной глубин: (50 + 24) / 2 = 37 м.

Газ на спуск и донную часть

Для простоты принимаем равномерный спуск за 4 минуты (с учётом проверки пузырей), средняя глубина 25 м (3,5 ата):

```
V = SAC × T × P
Спуск: 18 × 4 × 3,5 = 252 л
Донная часть: 18 × 14 × 6 = 1512 л
Итого донной смеси: 1926 + 252 + 1512 = 3690 л
```

Выбор баллонов

Компрессор заполняет баллоны до 210 бар. После остывания (баллон после забивки на 12 °C теплее воздуха, вода на 5 °C холоднее воздуха) в воде давление составит около 200 бар. Остаточное давление в баллонах должно быть **не меньше 15 бар**, поэтому для расчёта используем 200 − 15 = 185 бар:

```
3690 / 185 ≈ 19,9 л — минимальный суммарный объём спарки
```

Подходят алюминиевая спарка 2 × 11,1 л (S80) или стальная 2 × 12 л. Если газа не хватает, сокращают донное время и пересчитывают запас по новому плану либо берут баллоны большего объёма.

Декомпрессионный газ

Для декомпрессионного газа используется та же методика: считаем расход на каждой остановке и на всплытии, затем **удваиваем** результат.

Глубина, м	Время, мин	Давление, ата	Расход, л
21	1	3,1	18 × 1 × 3,1 = 55,8
18	1	2,8	18 × 1 × 2,8 = 50,4
15	1	2,5	18 × 1 × 2,5 = 45,0
12	1	2,2	18 × 1 × 2,2 = 39,6
9	3	1,9	18 × 3 × 1,9 = 102,6
6	5	1,6	18 × 5 × 1,6 = 144,0
3	8	1,3	18 × 8 × 1,3 = 187,2
Всплытие 21 → 0	3	2,05	18 × 3 × 2,05 = 110,7
Итого			**735,3**

```
735,3 × 2 ≈ 1471 л EAN50
```

Для этого объёма подходит стандартный алюминиевый стейдж S80 (11,1 л): 11,1 × 185 ≈ 2050 л.

Двойной запас декомпрессионного газа позволяет поделиться им с напарником, если он потерял свой: например, передать ему стейдж после окончания своих декомпрессионных обязательств. Кроме того, у каждого дайвера должен быть аварийный план всплытия на случай потери декомпрессионного газа.

Вывод для примера: спарка 2 × 11,1 л (S80) или 2 × 12 л с Tx 21/35 и стейдж S80 с EAN50. Можно добавить второй декомпрессионный газ (EAN80 или кислород), но при таких вводных выигрыш во времени декомпрессии будет небольшим.

Программы для планирования

Раньше погружения планировали по декомпрессионным таблицам. Сейчас есть широкий выбор программ-планировщиков, позволяющих рассчитать погружение любой сложности. Какая из них лучше подойдёт для ваших погружений, вы обсудите с инструктором на практической части курса. Один из удобных бесплатных планировщиков — **DiveProMe+** (автор Алексей Власов): работает в браузере, в том числе офлайн.

Помните: ни один существующий алгоритм не даёт 100 % защиты от ДКБ. План из программы всегда проверяют здравым смыслом и расчётом запаса газа.

Plan your dive. Dive your plan!
Планируй погружение и ныряй по плану!

Вопросы для самопроверки

1. Как распределяется газ по правилу третей?

a. Треть на спуск, треть на дно, треть на всплытие
b. Треть на спуск и донную фазу, треть на возврат и всплытие, треть — резерв для аварийных ситуаций
c. Половина на погружение, половина в резерв
d. Две трети в резерв

2. Начальное давление 210 бар. При каком показании манометра нужно разворачиваться по правилу третей?

a. 70 бар
b. 105 бар
c. 140 бар
d. 180 бар

3. По чьему SAC ведут расчёт газа для всей команды?

a. По среднему SAC команды

b. По SAC дайвера с наименьшим расходом

c. По SAC дайвера с наибольшим расходом

d. По SAC руководителя погружения

4. Во сколько раз, как минимум, принимают рост SAC в стрессовой ситуации при расчёте минимального запаса газа?

a. В 1,2 раза

b. В 1,5 раза

c. В 2 раза

d. В 4 раза

5. Какой момент погружения принимают за худший случай при расчёте минимального запаса донной смеси?

a. Начало спуска

b. Последняя минута донной части

c. Остановка на 3 м

d. Выход на поверхность

6. Как определить среднюю глубину участка всплытия с 50 до 24 м?

a. 50 − 24 = 26 м

b. (50 + 24) / 2 = 37 м

c. 50 / 2 = 25 м

d. 24 + 10 = 34 м

7. Расход 18 л/мин, донная часть 14 минут на 50 м. Сколько газа уйдёт на донную часть?

a. 252 л

b. 756 л

c. 1512 л

d. 1926 л

8. Нужно 3690 л донной смеси, рабочее давление 200 бар, остаточное — 15 бар. Какой минимальный суммарный объём баллонов?

a. ≈ 15 л

b. ≈ 18,5 л

c. ≈ 19,9 л

d. ≈ 24 л

9. Как рассчитывают запас декомпрессионного газа?

a. Берут половину расчётного расхода

b. Считают расход на каждой остановке и на всплытии и удваивают результат

c. Берут столько же, сколько донной смеси

d. Декомпрессионный газ не рассчитывают

10. Что верно о планировании в программе-планировщике?

a. Программа гарантирует отсутствие ДКБ

b. Ни один алгоритм не даёт 100 % защиты от ДКБ; план проверяют здравым смыслом и расчётом запаса газа

c. Программу можно не проверять, если она платная

d. План из программы можно менять под водой по желанию

ГЛАВА 12

Организация и командная работа

Организация технических погружений, роли в команде, взаимопроверка.

Технические погружения связаны с повышенным риском для жизни, поэтому требуют чёткой организации. Грамотное планирование и командная работа — основа безопасности технического дайвинга.

Организация погружения

К организации технических погружений относятся:

- сбор полной и достоверной информации о месте и цели погружения;
- планирование доставки дайверов и снаряжения;
- планирование технического оснащения: спусковые концы, декомпрессионная станция и т. п.;
- наличие необходимого снаряжения для дайверов, запасного снаряжения и ремонтных комплектов;
- запасы газов для погружения, аварийные запасы и кислород для первой помощи на поверхности;
- маршрут погружения, лимиты времени и глубины;
- распределение задач между участниками;
- организация работы команды поддержки и спасения;
- проверка снаряжения, газов и планов действий в аварийных ситуациях.

Командная работа

Шутливое правило технического дайвинга гласит: «Для большинства операций нужны три руки». В шутке есть смысл: хороший напарник и умение работать в команде — ключ к безопасным погружениям.

Один из принципов подготовки технического дайвера — **самодостаточность**. Он основан на трёх условиях:

- только я могу думать за себя;
- только я могу дышать за себя;
- только я могу плыть за себя.

Отсюда требования к техническому дайверу. Самодостаточный дайвер:

- самостоятельно управляется со всем своим снаряжением;
- самостоятельно справляется с условиями погружения;

- самостоятельно решает проблемы со своим снаряжением;
- не создаёт проблем напарникам.

Самодостаточность не означает, что дайвер ныряет соло и не заботится о напарниках. Часто важность командной работы понимают только тогда, когда что-то пошло не так и помощь понадобилась самому. Технический дайвинг — командный вид дайвинга: общение и взаимодействие с напарниками, распределение задач и обязанностей, помощь в аварийных ситуациях — залог успешного погружения. Поэтому каждый дайвер должен:

- участвовать в организации и планировании погружения;
- понимать и принимать свою роль в команде;
- выполнять все условия и процедуры, оговорённые для погружения;
- иметь уровень подготовки, соответствующий погружению;
- иметь необходимое снаряжение, одинаковое или схожее со снаряжением группы;
- ясно понимать цели погружения и реалистичный способ их достижения.

Состав группы

Группу формируют исходя из задачи погружения и уровня участников. Базовый размер группы — **два дайвера**. Если участников больше, группу делят на пары и (или) тройки:

- каждая пара (тройка) имеет свою задачу и может безопасно выполнить погружение без участия остальных;
- задачи пар (троек) могут различаться, но согласуются с общей целью группы;
- каждая пара (тройка) участвует в общем плане погружения и готова помочь другим участникам.

Взаимопроверка перед погружением

На первых курсах инструктор учил вас взаимопроверке напарников перед погружением (buddy check). Снаряжения у технического дайвера намного больше, поэтому такая проверка становится ещё важнее. Технические дайверы проводят её сами, без инструктора, по определённой последовательности.

Лидер пары (тройки) вслух называет пункты по порядку, каждый проверяет своё снаряжение и сообщает результат напарникам:

1. План погружения: есть ли он на слейте или в блокноте.
2. Компьютеры и боттом-таймеры: наличие, работоспособность, настройки (газы, GF); сообщить напарнику.
3. Вторые ступени всех регуляторов. При закрытом вентиле и стравленном давлении вдох из второй ступени должен быть невозможен — это значит, что мембрана и выдыхательный клапан целы. Затем открыть вентиль и сделать 1–2 вдоха.
4. Вентили всех баллонов: вентили спарки открыты, вентили баллонов с декомпрессионными газами закрыты, регуляторы под давлением. Проверить давление и сообщить напарнику, где какой газ.

5. Трассировка шлангов: длинный шланг свободен, чтобы можно было отдать его напарнику. Расправить, убедиться, что он доступен, и уложить на место.
6. Инфлятор и клапаны компенсатора плавучести.
7. Клапаны поддува и стравливания сухого костюма, подключение шланга поддува.
8. Фонари: работоспособность, крепление; назвать напарнику их расположение.
9. Катушки, шпульки, маркеры и буи: наличие и расположение.
10. Остальное снаряжение (буксировщики, фото- и видеотехника): работоспособность.

Проверка на утечки (bubble check)

После входа в воду снаряжение проверяют на утечки газа. Эта процедура называется **bubble check**. Где её проводить, зависит от условий:

- **С берега в спокойных условиях** — почти у поверхности: напарник слегка погружается, второй осматривает его снаряжение и сообщает результат, затем меняются.
- **С лодки без течения или при слабом течении** — на глубине около 5 м, чтобы не попасть под винты. Напарники зависают друг напротив друга и по очереди поворачиваются вокруг вертикальной оси.
- **С лодки при течении**, когда может унести от объекта, а спусковой конец поставить нельзя, — у дна или у объекта погружения.

Вопросы для самопроверки

1. На каких трёх условиях основан принцип самодостаточности технического дайвера?

a. Только я могу думать, дышать и плыть за себя
b. Только я планирую, ныряю и всплываю
c. Я ныряю один, без напарника
d. Инструктор думает, напарник дышит, я плыву

2. Что означает самодостаточность технического дайвера?

a. Он погружается только соло
b. Он не создаёт проблем напарникам и сам справляется со своим снаряжением, но работает в команде
c. Он не участвует в планировании
d. Он не помогает другим участникам

3. Каков базовый размер группы в техническом погружении?

a. Один дайвер
b. Два дайвера
c. Четыре дайвера
d. Шесть дайверов

4. Что верно о парах (тройках) в большой группе?

a. Все пары выполняют одну и ту же задачу

b. Каждая пара может безопасно выполнить погружение без остальных и готова помочь другим участникам

c. Пары не участвуют в общем плане

d. Помощь оказывает только руководитель группы

5. Кто проводит взаимопроверку снаряжения технических дайверов перед погружением?

a. Только инструктор

b. Сами дайверы: лидер пары называет пункты, каждый проверяет своё снаряжение и сообщает результат

c. Только капитан судна

d. Проверка не нужна — её заменяет bubble check

6. Что показывает невозможность вдоха из второй ступени при закрытом вентиле и стравленном давлении?

a. Регулятор неисправен

b. Мембрана и выдыхательный клапан целы

c. Баллон пуст

d. Нужно заменить первую ступень

7. В каком состоянии вентили перед погружением?

a. Все вентили закрыты

b. Вентили спарки открыты, вентили декомпрессионных баллонов закрыты, регуляторы под давлением

c. Все вентили открыты, регуляторы без давления

d. Вентили спарки закрыты, декомпрессионных — открыты

8. Где проводят bubble check при погружении с лодки при сильном течении, если нельзя поставить спусковой конец?

a. На поверхности у борта

b. На глубине 5 м

c. У дна или у объекта погружения

d. Не проводят вовсе

ГЛАВА 13

Аварийные ситуации

Отказ снаряжения, потеря газа, пропущенная декомпрессия.

Аварийные ситуации возможны при любых погружениях, и технический дайвинг не исключение. Главная особенность технических погружений — невозможность прямого всплытия без остановок — накладывает свои требования на действия дайвера в аварийной ситуации.

Хорошо подготовленный дайвер, соблюдающий правила и процедуры, сводит вероятность аварии к минимуму. Но закон Мёрфи в дайвинге работает: если снаряжение может отказать, рано или поздно оно откажет; если газ можно потерять, это может случиться. Технический дайвер должен быть к этому готов и знать порядок действий.

Три основные аварийные ситуации технического погружения:

- отказ (поломка) снаряжения;
- потеря газа;
- пропущенные декомпрессионные остановки.

В любой аварийной ситуации дайвер подаёт сигнал напарникам, и команда начинает совместное всплытие с выполнением всех обязательных декомпрессионных остановок.

Отказ снаряжения

Если дайвер следит за снаряжением, вовремя обслуживает его и проводит обязательную проверку перед погружением, вероятность отказа очень мала, но не нулевая. В регуляторах, инфляторах и клапанах есть подвижные части, поэтому утечка газа или разрыв уплотнительного кольца (O-ring) вполне вероятны.

Обычно такие проблемы решают, **перекрыв подачу газа к месту утечки**:

- **утечка на регуляторе донного газа** (соединение с вентилем или со шлангом) — перекрыть соответствующий вентиль спарки и перейти на запасной регулятор;
- **утечка на регуляторе декомпрессионного газа** — дышать, открывая вентиль на вдох и закрывая его на выдох;
- **утечка из инфлятора** — отсоединить шланг поддува и перейти на резервную систему плавучести (вторую камеру крыла или сухой костюм).

Потеря газа

Газ теряют не только из-за поломки, но и из-за невнимательности. Например, при сильном течении или с буксировщиком поток воды давит на мембрану второй ступени запасного регулятора или регулятора стейджа. Если после проверки в воде вентиль стейджа не закрыли, газ может уйти частично или полностью, и заметить это вовремя трудно.

- **Потеря донного газа**, когда декомпрессионный газ на этой глубине использовать нельзя: подать напарнику сигнал, перейти на его донный газ (процедура газшеринга) и начать совместное всплытие. На глубине запланированного переключения перейти на декомпрессионный газ и выполнить все остановки по плану.
- **Потеря декомпрессионного газа**: подать сигнал напарнику и начать совместное всплытие, выполняя остановки на донном газе по аварийному плану на случай потери декомпрессионной смеси. При правильном планировании это не создаст проблем. Напарник может передать свой стейдж после окончания своих декомпрессионных обязательств.

Одновременную потерю всех газов мы не рассматриваем: вероятность одновременного отказа всех регуляторов ничтожна, а если такая ситуация возникла по вине дайверов, значит, их подготовка не соответствует погружению и совершать его им нельзя.

Пропущенные декомпрессионные остановки

Чаще всего остановки пропускают из-за ошибок планирования или недостаточной подготовки к погружению такого уровня. Причиной могут стать и обстоятельства — сильное течение, потеря плавучести, неисправность снаряжения. Если это случилось, существуют процедуры, которые можно выполнить, но **ни одна из них не гарантирует, что ДКБ не будет**.

Метод 1. Кислород на поверхности

Наиболее распространённый метод, его рекомендует большинство обучающих организаций. После выхода на поверхность дайвер дышит **100 % кислородом**, избегает физических нагрузок, пьёт негазированную жидкость (без алкоголя и кофеина). Удобное положение — лёжа или полусидя; при ухудшении состояния действуют, как описано в главе о ДКБ. Нужно связаться со службой DAN или баромедиком и наблюдать за состоянием дайвера.

Метод 2. Возвращение в воду (процедура ВМС США)

Этот метод применяется реже. Он основан на процедуре ВМС США для пропущенной декомпрессии, разработанной для воздушных погружений, — для погружений на тримиксе и глубоких погружений её применимость ограничена. Возвращаться в воду можно только при отсутствии симптомов ДКБ, при хорошем самочувствии, достаточном запасе газа и с напарником.

- Всплыл с остановки не глубже 6 м и может вернуться в воду в течение 1 минуты — вернуться на глубину пропущенной остановки и увеличить её время на 1 минуту.

- Всплыл с остановки не глубже 6 м, но вернуться в течение 1 минуты не может — вернуться на глубину пропущенной остановки и увеличить время остановок в 1,5 раза.
- Пропущены остановки глубже 6 м — вернуться на глубину пропущенной остановки, выполнить остановки до 12 м по графику, а время остановок от 12 м и мельче увеличить в 1,5 раза.
- Есть **признаки ДКБ** — в воду не возвращаться. Дышать 100 % кислородом и срочно доставить пострадавшего в барокамеру.

> **ОБЯЗАТЕЛЬНО**
>
> Обследование у баромедика обязательно и для дайверов, которые воспользовались первым методом или вернулись в воду без симптомов. Отсутствие симптомов сейчас не означает, что они не появятся позже.

Единственный способ со 100 % гарантией избежать ДКБ — не нырять, но он нам не подходит. Тщательно готовьтесь к погружениям, поддерживайте навыки и физическую форму, отрабатывайте командную работу и действия в аварийных ситуациях. Это основа безопасных технических погружений.

Вопросы для самопроверки

1. Какие три основные аварийные ситуации выделяют в технических погружениях?

a. Холод, течение, плохая видимость

b. Отказ снаряжения, потеря газа, пропущенные декомпрессионные остановки

c. Азотный наркоз, гипоксия, гипотермия

d. Потеря напарника, потеря спускового конца, потеря маски

2. Что сделать при утечке газа на регуляторе донного газа?

a. Немедленно всплыть на поверхность

b. Перекрыть соответствующий вентиль спарки и перейти на запасной регулятор

c. Перейти на декомпрессионный газ на любой глубине

d. Продолжать погружение по плану

3. Как дышать из декомпрессионного регулятора с утечкой?

a. Не дышать им вовсе

b. Открывать вентиль на вдох и закрывать на выдох

c. Дышать при полностью открытом вентиле

d. Дышать только через длинный шланг напарника

4. Что сделать при утечке из инфлятора компенсатора?

a. Сбросить грузы

b. Отсоединить шланг поддува и перейти на резервную систему плавучести

c. Перекрыть все вентили спарки

d. Срочно всплыть

5. Почему вентиль стейджа после проверки в воде должен быть закрыт?

a. Чтобы стейдж был легче

b. Поток воды (течение, буксировщик) может продавить мембрану второй ступени, и газ незаметно уйдёт

c. Так требует только пещерный дайвинг

d. Чтобы газ не нагревался

6. Полная потеря донного газа на глубине, где декомпрессионный газ использовать нельзя. Ваши действия?

a. Перейти на декомпрессионный газ

b. Сигнал напарнику, газшеринг с донного газа напарника, совместное всплытие; переключение на деко-газ на запланированной глубине

c. Срочный подъём на поверхность

d. Ждать помощи на дне

7. Что верно о процедурах при пропущенных декомпрессионных остановках?

a. Они гарантируют отсутствие ДКБ

b. Ни одна из них не гарантирует отсутствие ДКБ; обследование у баромедика обязательно

c. После них можно сразу нырять снова

d. Они нужны только при наличии симптомов

8. Что верно о возвращении в воду после пропущенных остановок (процедура ВМС США)?

a. Возвращаться в воду можно при любых симптомах

b. Возвращаться можно только без симптомов ДКБ; процедура разработана для воздушных погружений, для тримикса и глубоких погружений её применимость ограничена

c. Это основной метод, рекомендованный всеми организациями

d. Нужно вернуться на максимальную глубину погружения

Продвинутый уровень — для дайверов TECH-1 и выше

ГЛАВА 14

TECH-2

Газы уровня TECH-2, изобарическая контрдиффузия, декомпрессионные смеси и аварийные планы.

В предыдущих главах описаны знания и навыки, необходимые для технических декомпрессионных погружений уровней IDU TECH-1 (до 45 м) и TECH-1 Trimix (до 50 м). Для погружений на большие глубины нужны дополнительные знания и навыки — о них эта и следующая главы.

Уровень IDU TECH-2

Курс **IDU TECH-2 Diver** готовит к декомпрессионным погружениям **до 70 м** с донной смесью **тримикс с содержанием кислорода не менее 18 %**. Основные требования стандарта IDU:

- для начала обучения — сертификат TECH-1 Diver IDU (или эквивалент), не менее 20 зарегистрированных погружений уровня TECH-1 со ступенчатой декомпрессией на найтроксе, из них не менее 10 — на тримиксе; возраст от 18 лет;
- ppO_2 донной смеси — **не выше 1,44 ата**, декомпрессионной — не выше 1,6 ата;
- **два стейджа** с декомпрессионными смесями, у каждого — регулятор с манометром;
- все обязательные декомпрессионные остановки выполняются.

Донная смесь уровня TECH-2

Содержание кислорода в донной смеси дайвера TECH-2 должно быть **не меньше 18 %**. Такие смеси называют **нормоксическими**: ими можно дышать с поверхности и на спуске. Смеси с меньшим содержанием кислорода — **гипоксические** — на поверхности и на малых глубинах вызывают гипоксию. Их используют только начиная с уровня TECH-3, и погружение тогда начинают не на донной смеси (см. следующую главу).

Правила подбора смеси описаны в главе «Подбор газовых смесей»: ppO_2 в пределах нормы, кислород наркотичен наравне с азотом. Допустимый END зависит от условий погружения:

END 40 м — нормальные условия: тёплая вода, хорошая видимость, нет сильного течения (например, Красное море; Средиземное море, где на 100 м около 16 °C).
END 30 м — сложные условия: холодная вода, плохая видимость, течение, надголовная среда.

Пример 1. 70 м, FO_2 = 18 %, нормальные условия, END 40 м.

```
P = 70/10 + 1 = 8 ата
ppO₂ = 0,18 × 8 = 1,44 ата — предел стандарта TECH-2
FO₂ + FN₂ ≤ 5 / 8 = 0,625 → FHe ≥ 37,5 % → 38 %
FN₂ = 100 − 18 − 38 = 44 %
Смесь: Tx 18/38, END = (8 × 0,62 − 1) × 10 ≈ 40 м
```

Пример 2. 70 м, FO_2 = 18 %, сложные условия, END 30 м.

```
P = 70/10 + 1 = 8 ата
ppO₂ = 0,18 × 8 = 1,44 ата — предел стандарта TECH-2
FO₂ + FN₂ ≤ 4 / 8 = 0,50 → FHe ≥ 50 %
FN₂ = 100 − 18 − 50 = 32 %
Смесь: Tx 18/50, END = (8 × 0,50 − 1) × 10 = 30 м
```

Именно поэтому глубина 70 м — предел нормоксического тримикса: глубже ppO_2 смеси с 18 % кислорода превысит 1,44 ата. В сложных условиях, когда ppO_2 донной смеси снижают до 1,3 ата, смесью с 18 % кислорода можно погружаться примерно до 62 м: (1,3 / 0,18 − 1) × 10 ≈ 62 м.

Стандартные смеси

Многие дайверы используют **стандартные смеси** и строят на них все расчёты:

Глубина, м	Смесь	Уровень
0–30	EAN32	TECH-1
30–45	Tx 21/35	TECH-1 Trimix / TECH-2
45–60	Tx 18/45	TECH-2
60–70	Tx 18/50	TECH-2
60–75	Tx 15/55	TECH-3 (гипоксическая)
75–90	Tx 12/65	TECH-3 (гипоксическая)
90–110	Tx 10/70	TECH-3 (гипоксическая)

Причины популярности стандартных смесей просты. Во-первых, на своих глубинах они дают END не больше 30 м (с учётом наркотичности кислорода) и допустимое ppO_2 — то есть подходят и для сложных условий. В нормальных условиях с END 40 м гелия можно брать меньше (как в примере 1). Во-вторых, их легко приготовить из гелия и EAN32, который широко доступен в регионах с развитой дайв-индустрией (при наличии соответствующей квалификации смесь можно приготовить самостоятельно).

Подходите к выбору смеси очень ответственно. Экономия или недостаток знаний здесь могут стоить жизни.

Изобарическая контрдиффузия

Изобарическая контрдиффузия (ICD) — встречная диффузия двух инертных газов с разной скоростью проникновения через ткани, которая приводит к росту суммарного напряжения газов в ткани без изменения внешнего давления.

Гелий диффундирует быстрее азота. Если с одной стороны барьера находится газ с большим содержанием быстрого гелия, а с другой — ткань, насыщенная медленным азотом (или наоборот, при смене газа поступление одного газа опережает выведение другого), суммарное напряжение газов в ткани может превысить внешнее давление. Ткань становится перенасыщенной, возможно образование пузырьков и ДКБ.

В дайвинге различают три вида изобарической контрдиффузии:

1. **Поверхностная (кожная).** Дайвер дышит найтроксом, а сухой костюм поддут тримиксом: гелий из костюма проникает через кожу в ткани, насыщенные азотом. Возможна кожная форма ДКБ. Поэтому сухой костюм тримиксом не поддувают — для этого используют воздух или аргон.
2. **Глубоких тканей.** Возникает при переходе с «тяжёлой» смеси (воздух, найтрокс) после значительного насыщения на «лёгкую» (тримикс, гелиокс). На практике это маловероятно: такое переключение обычно происходит в начале погружения (с трэвел-газа на донный), когда насыщение ещё невелико. Наиболее опасен переход на донный тримикс после длительного дыхания воздухом в качестве трэвел-газа.
3. **Внутреннего уха.** Возникает при переключении на декомпрессии с тримикса с высоким содержанием гелия на смесь с высоким содержанием азота. Азот поступает в ткани внутреннего уха быстрее, чем из них уходит гелий, и ткани перенасыщаются. Результат — **ДКБ внутреннего уха**: сильное головокружение, тошнота, рвота, дезориентация, снижение слуха. Это самое опасное последствие неправильного подбора смесей: дайвер становится частично или полностью недееспособным на одном из самых сложных этапов погружения.

Как снизить риск:

- не уменьшать резко содержание гелия при смене смесей — ткани на всплытии и так перенасыщены; гелий лучше снижать постепенно;
- поддерживать на декомпрессии максимально допустимое ppO_2 — эффект кислородного окна частично компенсирует изменение давления инертных газов при смене смесей.

Точных алгоритмов снижения доли гелия пока не разработано, поэтому эти правила — рекомендации, а не гарантия.

> **СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ**
>
> По более поздней оценке тех же авторов (Mitchell, Doolette, 2015), контрдиффузия после смены гелия на азот возможна, но сама по себе такая смена вряд ли вызывает ДКБ внутреннего уха. Ведущую роль играют венозные пузырьки, попадающие в артериальное русло через **открытое овальное окно (ООО)** и другие право-левые шунты (см. главу «Баротравмы и медицинские аспекты»). Поэтому для технических курсов IDU требуется справка об отсутствии ООО.

Декомпрессионные смеси уровня TECH-2

При планировании погружений уровня TECH-2 обязательно предусматривают потерю декомпрессионного газа. Насыщение тканей и время декомпрессии здесь таковы, что выполнить все остановки на одной донной смеси дайвер не сможет. Поэтому стандарт требует **двух стейджей** с декомпрессионными газами.

Второй декомпрессионный газ нужен и для эффективности. Декомпрессионный газ работает лучше всего при максимально допустимом ppO_2: декомпрессия начинается раньше, а инертный газ в смеси замещается кислородом. Кроме того, под водой мы теряем много тепла. При переохлаждении кровообращение на периферии ослабевает, чтобы снабжать жизненно важные органы, и инертные газы из периферических тканей выводятся хуже. Чем дольше мы под водой, тем выше риск ДКБ.

Принципы подбора второго декомпрессионного газа:

- минимум инертного газа (в идеале — без него);
- не превышаются допустимые пределы кислородного отравления ЦНС и всего организма (OTU).

На открытом цикле на уровне TECH-2 обычно лучший выбор — **EAN50 + 100 % кислород**.

При долгой декомпрессии на кислороде это правило может не работать. На 6 м на кислороде ppO_2 = 1,6 ата, и CNS накапливается примерно на 2,2 % в минуту: до 80 % — всего около 36 минут, не считая CNS, набранного на спуске, на дне и на предыдущих остановках. Тогда последнюю остановку делают мельче (если позволяют условия), используют смесь с меньшим содержанием кислорода (например, EAN80) или делают **перерывы** (air breaks): периодически на несколько минут переходят на смесь с меньшим ppO_2. Для перерывов лучше использовать найтрокс с невысоким содержанием кислорода или смесь с небольшим содержанием гелия, чтобы не спровоцировать изобарическую контрдиффузию.

С двумя декомпрессионными газами растёт риск ошибиться при переключении. Дыхание не той смесью может вызвать кислородное отравление ЦНС и гибель дайвера. Всегда полностью выполняйте процедуру переключения газа, которую отработаете с инструктором.

Минимальный запас газа

- **Донный газ** — на всплытие до переключения на первый декомпрессионный газ, с учётом запаса для напарника на случай потери им донной смеси.
- **Декомпрессионные газы** — так, чтобы при потере любого из них оставшегося хватило на всю декомпрессию с необходимым запасом.

Одновременную потерю обоих декомпрессионных баллонов у дайвера и его напарника не рассматривают — её вероятность ничтожна.

Аварийные планы

Основной план погружения может быть нарушен. На уровне TECH-2 и TECH-3 нарушение глубины или времени по невнимательности недопустимо — причиной могут быть только внешние факторы: внезапное нисходящее или встречное течение, отказ снаряжения, зацеп, потеря или обрыв спускового конца. Аварийные планы составляют с учётом этих факторов.

Аварийный план 1: увеличенное донное время

Первый аварийный план составляют на случай превышения основного плана: глубина больше на **3 м**, донное время больше на **2 минуты**.

Этот план используется только во внештатной ситуации, поэтому правило третей или правило минимального запаса к нему не применяют. Но газа должно хватить с учётом стресса: на дополнительное донное время SAC увеличивают на **50 %**, а остаточное давление в баллонах на поверхности должно быть не меньше **30 бар**.

Аварийный план 2: потеря декомпрессионного газа

- **Потеря донного газа** — всплытие начинают немедленно; грамотная работа с вентилями спарки позволяет избежать критических потерь.
- **Потеря трэвел-газа** (уровень TECH-3) — запас донной смеси может заменить его на всплытии.
- **Потеря одного из декомпрессионных газов** — второго должно хватить на завершение декомпрессии.

По основному плану определяют, какого декомпрессионного газа расходуется больше всего, — его и считают потерянным. Второй аварийный план рассчитывают так, чтобы оставшегося газа хватило на всю декомпрессию и в баллоне осталось не меньше 30 бар. Напарники помогут и поделятся газом после окончания своих обязательств, но технический дайвер рассчитывает всё так, чтобы справиться самостоятельно.

Если в любом из аварийных планов газа не хватает, основной план небезопасен — его нужно менять.

Вопросы для самопроверки

1. Какая донная смесь и максимальная глубина установлены стандартом IDU для уровня TECH-2?

a. Воздух до 54 м

b. Тримикс с содержанием кислорода не менее 18 % до 70 м

c. Гипоксический тримикс до 100 м

d. Найтрокс до 60 м

2. Почему донная смесь дайвера TECH-2 должна содержать не меньше 18 % кислорода?

a. Так дешевле

b. Нормоксической смесью можно дышать с поверхности и на спуске без риска гипоксии

c. Это снижает расход гелия

d. Так требует компьютер

3. Подберите донную смесь для 70 м в нормальных условиях: FO_2 = 18 %, END 40 м, минимально необходимое количество гелия.

a. Tx 18/30

b. Tx 18/38

c. Tx 18/50

d. Tx 15/55

4. Почему 70 м — предельная глубина для нормоксического тримикса уровня TECH-2?

a. Глубже не хватит гелия

b. Глубже ppO_2 смеси с 18 % кислорода превысит 1,44 ата

c. Глубже нельзя использовать стейджи

d. Так решили производители компьютеров

5. Что такое изобарическая контрдиффузия?

a. Диффузия газа при всплытии

b. Встречная диффузия двух инертных газов с разной скоростью проникновения, ведущая к перенасыщению ткани без изменения внешнего давления

c. Растворение кислорода в крови

d. Выведение гелия через лёгкие

6. Почему сухой костюм не поддувают тримиксом?

a. Тримикс слишком дорог

b. Гелий из костюма проникает через кожу в насыщенные азотом ткани — возможна кожная форма ДКБ

c. Тримикс повреждает клапаны

d. Гелий взрывоопасен

7. Когда возникает изобарическая контрдиффузия внутреннего уха?

a. На спуске на воздухе

b. При переключении на декомпрессии с тримикса с высоким содержанием гелия на смесь с высоким содержанием азота

c. При дыхании кислородом на 6 м

d. При поддуве компенсатора

8. Что, по современным данным, играет ведущую роль в ДКБ внутреннего уха при глубоких погружениях?

a. Только смена тримикса на найтрокс

b. Венозные пузырьки, попадающие в артерии через открытое овальное окно

c. Холодная вода

d. Высокое ppO_2 на декомпрессии

9. Сколько декомпрессионных газов требует стандарт IDU TECH-2 и почему?

a. Один — так проще

b. Два — при потере одного второго должно хватить, а декомпрессия эффективнее

c. Три — как на TECH-3

d. Ни одного — декомпрессия на донной смеси

10. Как составляют первый аварийный план?

a. Увеличивают глубину на 10 м

b. Глубина +3 м и донное время +2 минуты; SAC на дополнительное время +50 %, остаток в баллонах не меньше 30 бар

c. Применяют правило третей ко всему погружению

d. Аварийный план не нужен, если есть компьютер

Продвинутый уровень — для дайверов TECH-1 и выше

ГЛАВА 15

TECH-3

Гипоксические и стандартные смеси, трэвел-газ, командный газ-шеринг и дайверы поддержки.

Курс **IDU TECH-3 Diver** готовит к декомпрессионным погружениям **до 100 м** с донной смесью тримикс, в том числе гипоксической. Основные требования стандарта IDU:

- для начала обучения — сертификат TECH-2 Diver IDU (или эквивалент) и не менее 20 зарегистрированных погружений уровня TECH-2 на глубины 45–70 м на тримиксе со ступенчатой декомпрессией на найтроксе; возраст от 18 лет;
- ppO_2 донной смеси — не выше 1,4 ата, декомпрессионной — не выше 1,6 ата;
- **три стейджа** с регуляторами и манометрами, стропа (sling) для их переноски, два буя (основной и аварийный);
- все обязательные декомпрессионные остановки выполняются.

Гипоксические донные смеси

На глубинах 70–100 м ppO_2 смеси с 18 % кислорода превысит допустимое значение. Поэтому донные смеси уровня TECH-3 содержат **меньше 18 % кислорода** — это **гипоксические** смеси (стандартные: Tx 15/55, Tx 12/65, Tx 10/70 — см. таблицу в главе TECH-2).

Гипоксической смесью нельзя дышать на поверхности и на малых глубинах — это вызовет гипоксию. Для каждой такой смеси, кроме MOD, определяют **минимальную рабочую глубину**, на которой ppO_2 достигает 0,16 ата:

```
Минимальная глубина = (0,16 / FO₂ − 1) × 10
Tx 12/55: (0,16 / 0,12 − 1) × 10 ≈ 3 м
Tx 10/70: (0,16 / 0,10 − 1) × 10 = 6 м
```

END выбирают по условиям, как на уровне TECH-2: **40 м** в нормальных условиях, **30 м** в сложных (холодная вода, плохая видимость, течение, надголовная среда).

Пример 1. 100 м (11 ата), нормальные условия: ppO_2 1,4 ата, END 40 м.

```
FO₂ = 1,4 / 11 = 0,127 → 12 %
FO₂ + FN₂ ≤ 5 / 11 = 0,455 → FHe ≥ 54,5 % → 55 %
Смесь: Tx 12/55, ppO₂ = 1,32 ата, END = (11 × 0,45 − 1) × 10 ≈ 40 м
```

Пример 2. 100 м, сложные условия: ppO_2 1,3 ата, END 30 м.

```
FO₂ = 1,3 / 11 = 0,118 → 11 %
FO₂ + FN₂ ≤ 4 / 11 = 0,364 → FHe ≥ 63,6 % → 64 %
Смесь: Tx 11/64 или стандартная Tx 10/70 (ppO₂ 1,1 ата, END 23 м)
```

Погружение на гипоксической смеси никогда не начинают с поверхности: начинают на нормоксической **трэвел-смеси** и переключаются на донную на глубине.

Трэвел-газ (этапный газ)

Трэвел-газ решает три задачи:

- позволяет безопасно начать погружение — дышать гипоксической донной смесью у поверхности нельзя;
- экономит донную смесь, которой понадобилось бы очень много с учётом минимального резерва на всплытие до первого декомпрессионного газа;
- смягчает переход с тримикса с высоким содержанием гелия на декомпрессионный найтрокс — гелий снижается постепенно.

Критерии подбора трэвел-газа:

- ppO_2 не выше **1,6 ата** — на этой смеси проводят немного времени при максимальном ppO_2, а повышенное ppO_2 помогает использовать эффект кислородного окна на декомпрессии;
- END — до **40 м**: на трэвел-газе проводят мало времени, поэтому такой END допустим даже в сложных условиях;
- расстояние между глубинами переключения газов — **не больше 40 м**;
- содержание гелия должно обеспечивать постепенное снижение гелия при смене смесей;
- количество газа рассчитывают так же, как запас декомпрессионных газов.

Пример. Погружение на 100 м, донная смесь Tx 12/55, декомпрессионные газы EAN50 (переключение на 21 м) и кислород (6 м). Между донной глубиной и первым декомпрессионным газом 100 − 21 = 79 м — больше 40 м, значит, нужен трэвел-газ с переключением на 60 м. Подбираем его на 60 м (7 ата) при END 40 м:

```
FO₂ — не меньше 18 % (дышать с поверхности) и ppO₂ на 60 м не выше 1,6 ата → 21 %
FO₂ + FN₂ ≤ 5 / 7 = 0,714 → FHe ≥ 28,6 % → 30 %
Смесь: Tx 21/30
ppO₂ на 60 м: 0,21 × 7 = 1,47 ата; END = (7 × 0,70 − 1) × 10 = 39 м
MOD при ppO₂ 1,6: (1,6 / 0,21 − 1) × 10 ≈ 66 м
Переключения: 100 → 60 м (40 м), 60 → 21 м (39 м)
```

На спуске дайвер дышит Tx 21/30 с поверхности и переходит на донную смесь на глубине около 60 м; на всплытии возвращается на Tx 21/30 на 60 м, затем переключается на EAN50 и кислород. Вместо Tx 21/30 можно использовать стандартную смесь Tx 21/35 (END на 60 м ≈ 36 м).

С тремя стейджами и донной смесью у дайвера четыре газа. Риск ошибки при переключении растёт, поэтому каждый стейдж маркируют (смесь и MOD), а переключение выполняют только

по полной процедуре с подтверждением напарника.

Декомпрессионные газы уровня TECH-3

Декомпрессия после погружений уровня TECH-3 долгая. Длительное дыхание кислородом на 6 м быстро набирает CNS (около 2,2 % в минуту при ppO_2 1,6 ата), поэтому вторым декомпрессионным газом на этом уровне часто используют **EAN80**, а CNS и OTU обязательно рассчитывают на этапе планирования. При необходимости делают перерывы на смесь с меньшим ppO_2.

Запас газов рассчитывают так же, как на уровне TECH-2: донного газа должно хватить на всплытие до переключения на трэвел-газ с учётом напарника, трэвел- и декомпрессионных газов — так, чтобы при потере любого из них оставшихся хватило на всю декомпрессию. Аварийные планы составляют по правилам главы TECH-2 (глубина +3 м, время +2 минуты; потеря газа, которого расходуется больше всего; остаток не меньше 30 бар).

Командный газ-шеринг

При сложных технических погружениях группа часто берёт с собой **аварийный запас газов**. Его распределяют между участниками: один несёт дополнительный баллон с донной смесью, другой — дополнительный трэвел- и (или) декомпрессионный газ. Этот метод используют, когда невозможно организовать работу дайверов поддержки.

Дайверы поддержки (суппорт-дайверы)

Суппорт-дайверы (от англ. support — поддержка) страхуют основную команду на всплытии и декомпрессии. У них свой план погружения, согласованный с планом основной команды. Суппорт-дайверы:

- встречают основную команду на оговорённой глубине в оговорённое время;
- забирают ненужные баллоны и снаряжение;
- несут аварийный запас газов (как правило, кроме донной смеси);
- оказывают основной команде физическую и техническую помощь.

В аварийной ситуации суппорт-дайверы могут стать единственным шансом на спасение основной команды, поэтому от них требуется чёткая и слаженная работа.

Plan your dive. Dive your plan!
Планируй погружение и ныряй по плану!

Вопросы для самопроверки

1. Какие глубина и донная смесь установлены стандартом IDU для уровня TECH-3?

a. До 70 м, тримикс не менее 18 % O_2

b. До 100 м, тримикс, в том числе гипоксический

c. До 120 м, гелиокс

d. До 54 м, воздух

2. Почему гипоксической смесью нельзя начинать погружение с поверхности?

a. Она слишком наркотична

b. На поверхности и малых глубинах ppO_2 слишком низкое — возникнет гипоксия

c. Она вызывает кислородное отравление

d. Ею можно дышать только на CCR

3. Какова минимальная рабочая глубина Tx 10/70 (ppO_2 не ниже 0,16 ата)?

a. 0 м

b. 6 м

c. 16 м

d. 30 м

4. Какие задачи решает трэвел-газ?

a. Только ускоряет спуск

b. Безопасное начало погружения, экономия донной смеси, постепенное снижение гелия при всплытии

c. Заменяет декомпрессионный газ

d. Используется только для поддува костюма

5. Какое максимальное расстояние между глубинами переключения газов рекомендуется?

a. 10 м

b. 20 м

c. 40 м

d. 79 м

6. Почему на уровне TECH-3 вторым декомпрессионным газом часто используют EAN80, а не кислород?

a. EAN80 дешевле

b. При долгой декомпрессии кислород на 6 м быстро набирает CNS

c. Кислород запрещён стандартом

d. EAN80 содержит гелий

7. Что такое командный газ-шеринг?

a. Дыхание всей группы от одного баллона

b. Аварийный запас газов, распределённый между участниками группы

c. Обмен баллонами после погружения

d. Газ, который оставляют на спусковом конце

8. Что делают суппорт-дайверы?

a. Погружаются вместе с основной командой на максимальную глубину

b. По своему согласованному плану встречают команду на всплытии, забирают лишнее снаряжение, несут аварийный газ и помогают

c. Только следят за лодкой

d. Заменяют компьютер основной команды

Ответы на вопросы для самопроверки

Глава 1. Технический дайвинг

1. **c)** Погружение на 30 м в открытой воде на одном газе в пределах бездекомпрессионного лимита
2. **b)** Планируй погружение и ныряй по плану
3. **a)** Польза от погружения всегда должна превышать степень риска при его выполнении
4. **c)** Дайвер в любой момент может отказаться от погружения или прервать его, подав сигнал напарнику
5. **c)** Технический дайвер способен сам решить свои проблемы под водой и не создаёт проблем напарникам; помощь возможна, но его выживание от неё не зависит
6. **b)** Какова моя цель; достаточно ли у меня навыков и опыта; оправдывает ли цель риск
7. **a)** Глубоководный, пещерный дайвинг и погружения на затонувшие объекты
8. **c)** Nitrox, Trimix, Heliox — на открытом и закрытом (ребризеры) цикле

Глава 2. Снаряжение

1. **b)** Спаркой с изолирующим манифолдом или двумя отдельными баллонами (сайдмаунт)
2. **c)** Резьбовое соединение надёжнее и компактнее
3. **c)** 2,0–2,1 м
4. **b)** При открытом манифолде манометр на левой стойке показывает давление в обоих баллонах
5. **c)** Два — по одному на каждом баллоне
6. **c)** Более 40%
7. **b)** Алюминиевый баллон близок к нейтральной плавучести и меньше нарушает баланс дайвера
8. **b)** Два прибора (боттом-таймеры и/или компьютеры), показывающие глубину и время
9. **c)** Гелий обладает высокой теплопроводностью и усиливает теплопотери
10. **b)** Потеря груза при декомпрессионных обязательствах может привести к неконтролируемому всплытию, травме и гибели

Глава 3. Газы

1. **b)** Окислительный стресс: образование активных форм кислорода (свободных радикалов), повреждающих клетки
2. **c)** От парциального давления кислорода и времени воздействия
3. **a)** ≈ 0,04%
4. **b)** Рост уровня углекислого газа в крови
5. **b)** Его парциальное давление растёт пропорционально абсолютному давлению, а сродство CO к гемоглобину в 200–250 раз выше, чем у кислорода
6. **b)** Снижает наркотическое действие смеси и облегчает дыхание на глубине
7. **b)** Гелий насыщает и покидает ткани быстрее азота (скорость диффузии примерно в 2,65 раза выше)
8. **c)** Для поддува сухого гидрокостюма благодаря низкой теплопроводности

Глава 4. Давление и газовые законы

1. **c)** 4 ата
2. **b)** ≈ 2,94 ата
3. **b)** Из атмосферного давления и давления водяного столба
4. **b)** 2 л
5. **b)** С ростом давления растёт плотность газа, и за каждый вдох в лёгкие поступает больше молекул
6. **b)** Абсолютное давление и абсолютная температура (кельвины)
7. **b)** Уменьшится

8. **b)** 1,05 ата
9. **b)** Растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна его парциальному давлению
10. **c)** Перенасыщение — напряжение газа в тканях выше давления окружающей среды

Глава 5. Физиология I

1. **b)** «Экономный» режим дыхания с длительной задержкой вдоха
2. **c)** Усадить с наклоном головы вперёд, прижать крылья носа на 10–15 минут, приложить холод
3. **b)** Гипоксическая — при дыхании гипоксической смесью на поверхности или мелкой глубине
4. **b)** Может привести к внезапной потере сознания без предшествующего дискомфорта и к утоплению
5. **b)** Судороги могут начаться без каких-либо предвестников
6. **b)** Удерживать загубник во рту, контролировать плавучесть и начать контролируемый подъём после окончания судорожной фазы
7. **b)** 80%
8. **b)** 15%
9. **a)** 45 минут
10. **c)** 850 OTU

Глава 6. Физиология II

1. **b)** Заторможенностью, замедлением реакции, потерей концентрации и ухудшением моторики
2. **b)** От его растворимости в липидах (жирах)
3. **b)** Углекислый газ
4. **b)** Деление условно: симптомы могут сочетаться, I тип может переходить во II, любая ДКБ требует серьёзного отношения
5. **b)** В первые 6 часов, но возможно и до 24 часов
6. **a)** В сознании — на боку (восстановительное положение) или полусидя, без сознания и дышит — на боку; 100% кислород, негазированное питьё (если в сознании), доставка к барокамере
7. **b)** Чем быстрее спуск, тем на меньшей глубине и тяжелее проявляются симптомы
8. **b)** Тяжёлая физическая нагрузка и «экономное» дыхание «через раз»
9. **b)** Снижает уровень CO_2, сигнал к вдоху запаздывает, и кислород может упасть ниже критического уровня раньше, чем появится желание вдохнуть
10. **b)** Он ускоряет выведение CO из крови примерно в 4–5 раз

Глава 7. Баротравмы и медицинские аспекты

1. **b)** Там самое большое относительное изменение давления — в 2 раза
2. **b)** Задержка дыхания при всплытии
3. **b)** Быстро появляющиеся симптомы, похожие на инсульт: невнятная речь, нарушения зрения, параличи, потеря сознания
4. **c)** С опущенной головой и приподнятыми ногами
5. **c)** Держать ухо сухим, ничего не вводить в ухо и обратиться к ЛОР-врачу
6. **b)** Невозможность выхода расширяющегося воздуха из среднего уха при всплытии
7. **b)** Выдыхать через нос под маску во время спуска
8. **b)** Давит на каротидный синус — может снизиться пульс и давление, возможна потеря сознания
9. **b)** Через ООО часть венозной крови с газовыми микропузырьками сбрасывается из правого предсердия в левое и попадает в артериальное русло, минуя капилляры лёгких, где пузырьки в норме задерживаются и выводятся (парадоксальная газовая эмболия)
10. **b)** Низкий — гипогликемия, она может вызвать почти мгновенную потерю сознания

Глава 8. Стресс

1. **a)** Фаза тревоги

2. **b)** Непрерывная проверка показаний приборов, частые ошибки, «застывание» на месте
3. **b)** Возможны внезапные эмоциональные срывы после длительного внешне спокойного периода
4. **b)** В панику — прямую угрозу жизни
5. **b)** Сомнения в исправности снаряжения сохраняются на всё погружение
6. **b)** Образуется порочный круг: неправильное дыхание вызывает стресс, а стресс ещё больше нарушает дыхание
7. **c)** Остановиться, прекратить деятельность, сделать медленный глубокий выдох и вдох (не менее 3 раз), подумать — и только потом действовать
8. **b)** Регулярные тренировки действий в аварийных ситуациях до автоматизма и хорошая физическая подготовка

Глава 9. Декомпрессионные модели

1. **b)** Время, за которое напряжение газа в ткани изменяется на половину разницы между исходным значением и парциальным давлением газа во вдыхаемой смеси
2. **b)** ≈ 2,37 ата
3. **b)** Максимально допустимое напряжение инертного газа в ткани на данной глубине
4. **b)** Алгоритм Бульмана ZH-L16
5. **c)** меньше 10 м
6. **b)** При том же общем времени декомпрессии профиль с глубокими остановками приводил к ДКБ чаще
7. **b)** они глубже, а глубоких остановок больше, чем по методу Пайла
8. **b)** GF Low 20% определяет первую остановку, GF High 80% — допустимое перенасыщение при выходе на поверхность
9. **b)** Первая остановка станет глубже
10. **b)** Алгоритм Бульмана в чистом виде — всплытие «по М-значениям» без запаса

Глава 10. Подбор газовых смесей

1. **b)** Кислород считается наркотическим газом наравне с азотом
2. **b)** 40 м и 30 м
3. **b)** 1,4 и 1,6 ата
4. **a)** EAN28
5. **c)** Tx 21/34
6. **b)** Кислород — в меньшую сторону, гелий — в большую
7. **c)** 22 м
8. **b)** Что глубина не больше MOD смеси, плавучесть стабильна, глубина удерживается, выбран баллон и регулятор нужной смеси; партнёр подтверждает переключение
9. **b)** 30 л/мин
10. **b)** Условия меняются, и при большой нагрузке расход может вырасти в несколько раз

Глава 11. Газ-менеджмент и планирование

1. **b)** Треть на спуск и донную фазу, треть на возврат и всплытие, треть — резерв для аварийных ситуаций
2. **c)** 140 бар
3. **c)** По SAC дайвера с наибольшим расходом
4. **c)** В 2 раза
5. **b)** Последняя минута донной части
6. **b)** (50 + 24) / 2 = 37 м
7. **c)** 1512 л
8. **c)** ≈ 19,9 л
9. **b)** Считают расход на каждой остановке и на всплытии и удваивают результат
10. **b)** Ни один алгоритм не даёт 100 % защиты от ДКБ; план проверяют здравым смыслом и расчётом запаса газа

Глава 12. Организация и командная работа

1. **a)** Только я могу думать, дышать и плыть за себя

2. **b)** Он не создаёт проблем напарникам и сам справляется со своим снаряжением, но работает в команде
3. **b)** Два дайвера
4. **b)** Каждая пара может безопасно выполнить погружение без остальных и готова помочь другим участникам
5. **b)** Сами дайверы: лидер пары называет пункты, каждый проверяет своё снаряжение и сообщает результат
6. **b)** Мембрана и выдыхательный клапан целы
7. **b)** Вентили спарки открыты, вентили декомпрессионных баллонов закрыты, регуляторы под давлением
8. **c)** У дна или у объекта погружения

Глава 13. Аварийные ситуации

1. **b)** Отказ снаряжения, потеря газа, пропущенные декомпрессионные остановки
2. **b)** Перекрыть соответствующий вентиль спарки и перейти на запасной регулятор
3. **b)** Открывать вентиль на вдох и закрывать на выдох
4. **b)** Отсоединить шланг поддува и перейти на резервную систему плавучести
5. **b)** Поток воды (течение, буксировщик) может продавить мембрану второй ступени, и газ незаметно уйдёт
6. **b)** Сигнал напарнику, газшеринг с донного газа напарника, совместное всплытие; переключение на деко-газ на запланированной глубине
7. **b)** Ни одна из них не гарантирует отсутствие ДКБ; обследование у баромедика обязательно
8. **b)** Возвращаться можно только без симптомов ДКБ; процедура разработана для воздушных погружений, для тримикса и глубоких погружений её применимость ограничена

Глава 14. TECH-2

1. **b)** Тримикс с содержанием кислорода не менее 18 % до 70 м
2. **b)** Нормоксической смесью можно дышать с поверхности и на спуске без риска гипоксии
3. **b)** Tx 18/38
4. **b)** Глубже ppO_2 смеси с 18 % кислорода превысит 1,44 ата
5. **b)** Встречная диффузия двух инертных газов с разной скоростью проникновения, ведущая к перенасыщению ткани без изменения внешнего давления
6. **b)** Гелий из костюма проникает через кожу в насыщенные азотом ткани — возможна кожная форма ДКБ
7. **b)** При переключении на декомпрессии с тримикса с высоким содержанием гелия на смесь с высоким содержанием азота
8. **b)** Венозные пузырьки, попадающие в артерии через открытое овальное окно
9. **b)** Два — при потере одного второго должно хватить, а декомпрессия эффективнее
10. **b)** Глубина +3 м и донное время +2 минуты; SAC на дополнительное время +50 %, остаток в баллонах не меньше 30 бар

Глава 15. TECH-3

1. **b)** До 100 м, тримикс, в том числе гипоксический
2. **b)** На поверхности и малых глубинах ppO_2 слишком низкое — возникнет гипоксия
3. **b)** 6 м
4. **b)** Безопасное начало погружения, экономия донной смеси, постепенное снижение гелия при всплытии
5. **c)** 40 м
6. **b)** При долгой декомпрессии кислород на 6 м быстро набирает CNS
7. **b)** Аварийный запас газов, распределённый между участниками группы
8. **b)** По своему согласованному плану встречают команду на всплытии, забирают лишнее снаряжение, несут аварийный газ и помогают

Список источников

Использованы англоязычные источники.

1. IDU Training Standards 2026 (International Divers Union).
2. NOAA Diving Manual: Diving for Science and Technology, 6th ed. (NOAA, 2017) — oxygen exposure limits, OTU.
3. U.S. Navy Diving Manual, Revision 7 (NAVSEA, 2016) — omitted decompression procedures; respiratory minute volume (tidal volume × respiratory rate) and work-rate RMV table.
4. Brubakk A.O., Neuman T.S. (eds.) Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving, 5th ed. (Saunders, 2003) — inert gas narcosis, HPNS, oxygen toxicity, decompression sickness.
5. Bühlmann A.A. Decompression — Decompression Sickness (Springer, 1984).
6. Boycott A.E., Damant G.C.C., Haldane J.S. The prevention of compressed-air illness. J Hyg (Lond). 1908;8(3):342–443.
7. Workman R.D. Calculation of decompression schedules for nitrogen–oxygen and helium–oxygen dives. NEDU Research Report 6-65, 1965.
8. Baker E.C. Understanding M-values. 1998.
9. Yount D.E., Hoffman D.C. On the use of a bubble formation model to calculate diving tables. Aviat Space Environ Med. 1986;57:149–156.
10. Pyle R.L. The importance of deep safety stops: rethinking ascent patterns from decompression dives. 1996.
11. Doolette D.J., Gerth W.A., Gault K.A. Redistribution of decompression stop time from shallow to deep stops increases incidence of decompression sickness in air decompression dives. NEDU TR 11-06, 2011.
12. Doolette D.J., Mitchell S.J. Biophysical basis for inner ear decompression sickness. J Appl Physiol. 2003;94:2145–2150.
13. Smart D., Mitchell S., Wilmshurst P., Turner M., Banham N. Joint position statement on persistent foramen ovale (PFO) and diving. SPUMS and UKSDMC, 2015.
14. Pollock N.W., Uguccioni D.M., Dear G. de L. (eds.) Diabetes and Recreational Diving: Guidelines for the Future. UHMS/DAN Workshop, 2005.
15. Divers Alert Network (DAN). Oxygen First Aid / Diving First Aid guidelines.
16. Meyer H.H. (1899), Overton C.E. (1901) — lipid-solubility theory of narcosis.
17. Divers Alert Network. Rescuing Divers and Swimmers / Emergency Oxygen for Scuba Diving Injuries — casualty positioning (dan.org).
18. DAN Southern Africa. PFO concerns in dive injury treatment (2021) — left vs right recovery position, ILCOR.
19. International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). First Aid Consensus on Science and Treatment Recommendations — recovery position.
20. Divers Alert Network (DAN). Surface Air Consumption (SAC) — gas consumption calculation. https://dan.org/?p=25897
21. Mitchell S.J., Doolette D.J. Pathophysiology of inner ear decompression sickness: potential role of the persistent foramen ovale. Diving Hyperb Med. 2015;45(2):105–110.