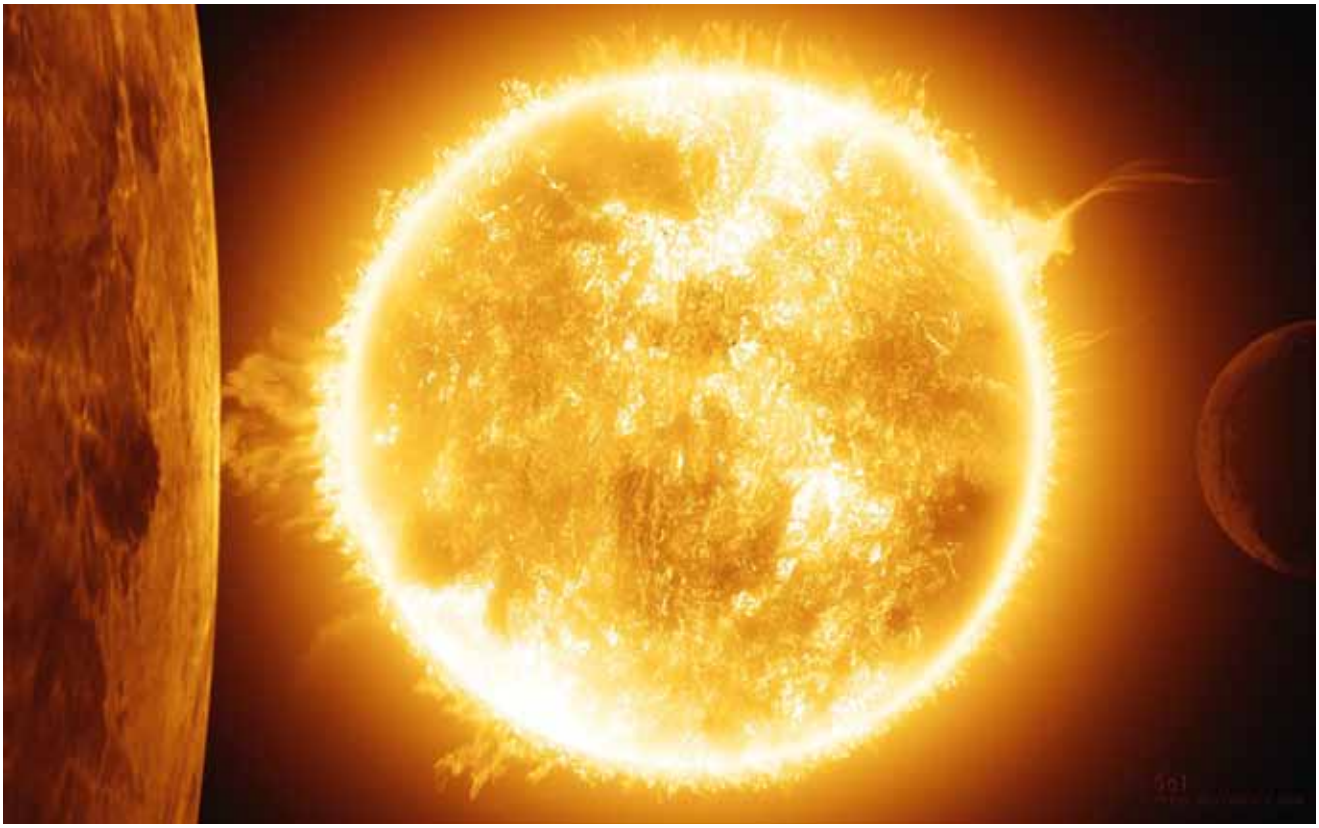


Гелий
и гелийсодержащие смеси

Г.М. Соколов, водолазный врач (ГНЦ РФ – ИМБП РАН), А.Т. Логунов (СКБ ЭО при ИМБП РАН)

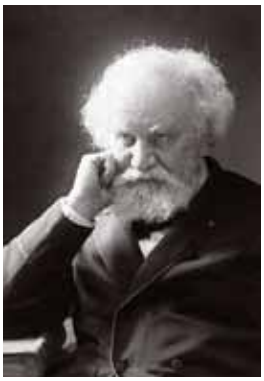
Гелий – один из самых редких газов на Земле. Но он нашел широкое применение в различных областях науки, техники и медицины. Без гелия было бы невозможно покорение морских глубин и космоса. А сегодня его используют для борьбы с вирусными инфекциями.

Гелий – второй по распространенности газ во Вселенной: на водород приходится 76 % космической массы, на гелий – 23 %. Солнце состоит из водорода (73 % от массы, 92 % от объема), гелия (25 % от массы и 7 % от объема) и небольшого количества других элементов. На Земле гелия относительно немного. В атмосферном воздухе он содержится в крайне незначительном количестве (0,000524 % по объему).

Образование гелия на Земле связано с процессом распада радиоактивных элементов, входящих в горные породы (урана, тория и других альфа-радиоактивных элементов). Тонна урана, содержащегося в минералах, испускает в год 0,11 см^3 гелия, а ежегодно на земном шаре накапливается около 35 млн м^3 этого газа, но значительная часть подземного гелия, выйдя на поверхность, растворяется в воздухе и медленно уходит в открытый космос.

Гелий обладает рядом уникальных свойств, или свойств, значительно отличающих его от других химических элементов. Для его молекулы характерна самая высокая прочность и исключительная инертность из всех элементов. Гелий имеет исключительно высокую способность к диффузии через твердые вещества, металлы и, особенно, через биологические мембраны. Его теплопроводность в 6 раз больше, чем у воздуха. Гелий является вторым

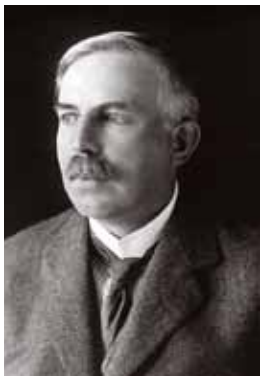
Джон Уильям Рэлей



Пьер Жюль Жансэн

Норман Локьер

Николай Морозов



Эрнест Резерфорд

по легкости химическим веществом после водорода. Гелий сжижается труднее всех известных газов и является единственным веществом, которое не отвердевает при нормальном давлении, как бы глубоко его ни охлаждали.

Открытие гелия имеет любопытную историю.

Еще в 1785 году английский химик и физик Генри Кавендиш обнаружил в воздухе какой-то необыкновенно химически устойчивый газ, исходя из того, что литр азота воздуха весит больше литра «химического» азота на 1,6 мг.

Спустя 107 лет английский физик Джон Уильям Рэлей также отметил, что азот воздуха тяжелее, чем азот, выделенный из соединений. Он предложил коллегам-естествоиспытателям вместе с ним поработать над разгадкой этого явления.

Однако до обнаружения гелия в воздухе он был найден на Солнце. 19 августа 1868 г. во время солнечного затмения французский астроном Пьер Жюль Сезар Жансен обнаружил в спектре протуберанца Солнца яркую желтую линию, принятую им за линию натрия. Спустя два месяца, 20 октября 1868 г., английский астроном Норман Локьер также зарегистрировал в солнечном спектре неизвестную желтую линию. В 1872 г. Локьер и английский химик Эдуард Франкленд дали вновь открытому элементу название «гелиум» (солнечный), считая его металлом или разновидностью водорода, не встречающимися на Земле.

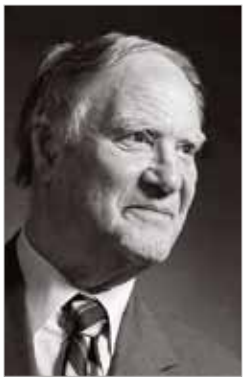
В 1880-х годах русский ученый Николай Александрович Морозов пришел к выводу о том, что в периодической системе элементов Д.И. Менделеева должна быть группа инертных элементов с атомными весами 4, 20, 36 (или 40), 82 и др., которые почти точно совпали с атомными массами гелия, неона, аргона и др. Но эти материалы были опубликованы только после выхода Морозова на свободу в 1905 г. по окончании почти 30-летнего заключения (он был участником покушения на императора Александра II).

В 1906 г. «отец» ядерной физики Эрнест Резерфорд и Т. Ройдс установили, что альфа-частицы радиоактивных элементов представляют собой ядра гелия.

Лишь в 1915 г. началось промышленное применение гелия, когда Германия стала наполнять им свои дирижабли, бомбившие Лондон. Вскоре легкий, но негорючий гелий стал незаменимым наполнителем воздухоплавательных аппаратов также в Англии и США. В 1919 г. американский химик Мур заявил: «Если бы кто-нибудь сказал мне 5 лет тому назад, что гелием будут наполнять дирижабли, я отнесся бы к этому совершенно так же, как если бы кто-либо сказал мне, что памятник Вашингтону только что собрались покрыть бриллиантами».

В 1938 г. знаменитый советский физик Петр Леонидович Капица открыл сверхтекучесть жидкого гелия и затем метод получения инертных газов в промышленных масштабах.

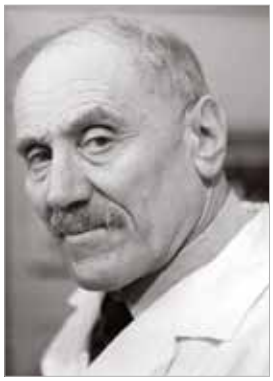
В настоящее время природные газы представляют практически единственное сырье, из ко-



П.Л. Капица

Л.А. Орбели

Н.В. Лазарев



Е.М. Крепс

Г.Л. Зальцман

торого получают гелий в широких промышленных масштабах. Стоимость гелия, добытого из других источников, во много раз выше.

Несмотря на то, что на Земле есть не так много источников гелия, а сам он считается очень редким, совокупность его особых свойств была причиной все возрастающего его применения в различных областях науки и техники: в авиации, космонавтике, водолазном деле и водолазной медицине, судостроении, химическом, металлургическом и сварном производствах, ракетостроении, ядерной физике (мирной и военной), медицине, хроматографии, криогенной технике, пищевой промышленности, оптике, лазерной технике, противопожарном деле, микроэлектронике, геологии и др. Потребление гелия за последние два десятилетия возросло в 8–9 раз.

В 1919 г. Чарльз Кук в Вашингтоне впервые применил смесь гелия и кислорода в качестве заменителя воздуха при работе людей под повышенным давлением. Спустя 4 дня профессор Массачусетского университета Элиу Томпсон в письме к доктору Уитни из научно-исследовательской лаборатории в Шенентади предложил провести опыты на животных с использованием гелия и послал запрос в Управление горнорудной промышленности, указав, что «возможно, замена гелием азота воздуха позволит увеличить <...> глубину погружения более чем на 50 %». Получить гелий ему не удалось. Прочтя в журнале «Новости химии» от 19 декабря 1919 г. статью профессора Маклиннана из Торонто о разнообразных перспективах использования гелия, Томпсон изложил ему свои соображения. В те годы науке еще ничего не было известно об азотном наркозе.

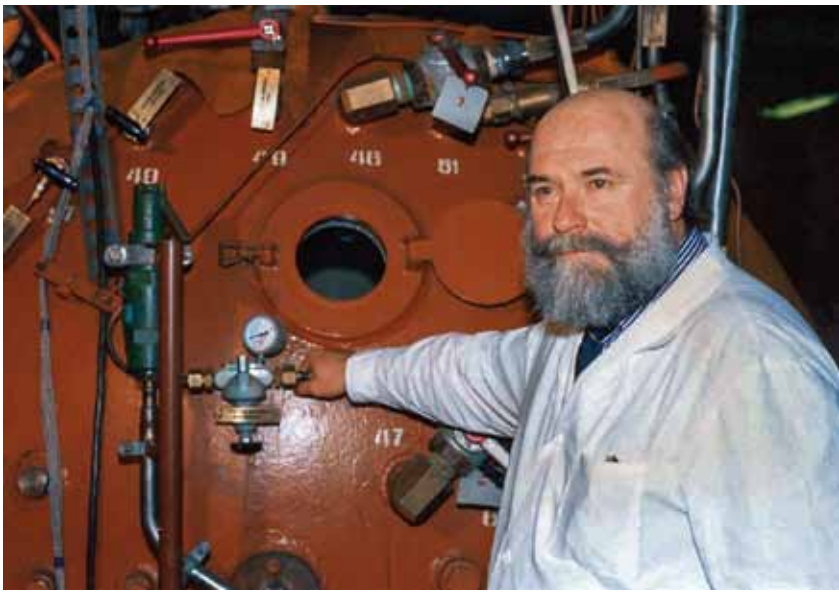
В 1923 г. Кук получил патент на использование КГС для водолазов как метод ускорения декомпрессии за счет более быстрого выведения гелия из организма по сравнению с азотом.

В 1924–1926 гг. главный хирург Управления горнорудной промышленности США Р.Р. Сейерс, химик этого Управления В.П. Янт и профессор химии Калифорнийского университета Джоел Хильдебранд в сотрудничестве с физиологом Маркеттского университета в Милуоки Эдгаром Эндом провели опыты на животных с использованием КГС на экспериментальной станции в Питсбурге. Сейерс и Янт полагали, что малая растворимость гелия в тканях организма и большая скорость диффузии позволят значительно сократить время декомпрессии. Свои расчеты они подтвердили в исследованиях на животных. Но первые же исследования с участием водолазов в 1925 г. показали, что, хотя гелий и безвреден при атмосферном и повышенном давлении, никакой выгоды в отношении продолжительности декомпрессии он не представляет. Декомпрессионные заболева-

Г.М. Соколов перед спуском на 160 м

ния, возникающие у людей при дыхании КГС, оказались не менее опасными, чем при дыхании воздухом с использованием обычных режимов декомпрессии. Кроме того, исследования Сейерса и Янта в то время не получили практического применения, так как спуски водолазов проводились на небольшие глубины, а гелий был очень дорогим газом. В связи с этим за рубежом дальнейшие работы с 1927 г. практически прекратились на 10 лет. А в нашей стране исследования, направленные на изучение влияния повышенного парциального давления различных газов на организм животных и человека, начали проводиться лишь с 1936 г.

14 ноября 1928 г. врач Центральной водолазной базы Наркомата путей сообщения СССР



Борис Николаевич Павлов

В 1939 г. в Балаклаве начались водолазные спуски на глубины более 100 м, которые показали большие преимущества новой дыхательной смеси.

К.И. Збуржинский на научном заседании сообщил о работах США по использованию гелия в водолазной практике и о необходимости экспериментальной проверки рациональности замены азота гелием. Гелий был закуплен в США, начался поиск его месторождений в СССР.

В 1935 г. была создана комиссия, возглавляемая академиком Леоном Абгаровичем Орбели, для изучения водолазных проблем. В комиссию вошли сотрудники кафедры физиологии Военно-медицинской академии Красной Армии (ВМедА), Экспедиции подводных работ особого назначения (ЭПРОН) и Учебного отряда подводного плавания (УОПП). В 1936 г. главный врач ЭПРОНа Констатин Алексеевич Павловский, будущий академик Евгений Михайлович Крепс, Е.А. Ченыкаева и М.О. Прайс в опытах на кошках изучили действие на организм 20 % КГСр под давлением до 8 кгс/см^2. Была установлена безвредность КГСр.

В 1935 г. американский врач А.Л. Барач предложил использовать кислородно-гелиевые смеси (КГС) для лечения пациентов с обострением бронхиальной астмы и обструктивными поражениями гортани и трахеи. Затем совместно с М. Экменом он провел первые опыты с подогреваемой смесью, но не описал сравнительных результатов применения смесей различной температуры. Аппараты с подогревом так и остались экспериментальными образцами. В дальнейшем использовалась КГС комнатной температуры, из-за охлаждающего действия которой у некоторых больных усугублялась дыхательная недостаточность.

Лишь с начала 1990-х годов стали проводиться работы по разработке и внедрению методологии использования подогреваемых КГС и созданию соответствующих технических средств в отделе барофизиологии и водолазной медицины ИМБП под руководством Бориса Николаевича Павлова и СКБ экспериментального оборудования при ИМБП, руководимым Алексеем Тимофеевичем Логуновым.

В 1937 г. американский врач Эдгар Энд провел многочисленные опыты на животных и с участием людей. В том же году Управление горнорудной промышленности США провело спуски водолазов на КГС в барокамере на «глубину» 152 м вод. ст. Годом позже А.Р. Бенке и О.Д. Ярброу подтвердили целесообразность использования КГС для водолазов в докладе, помещенном в Бюллетене военно-морской медицины.

1 декабря 1937 г. американским инженером Максом Джином Нолом на озере Мичиган был осуществлен первый спуск под воду на глубину 420 футов (128 м) с использованием для дыхания КГС. В содружестве с Джоном Д. Крэгом

Н.К. Кривошеенко

Н.Т. Коваль

С.Е. Буленков

им был создан водолазный костюм и решен ряд других технических проблем. Медицинское обеспечение проводилось доктором Эндом.

В 1939 г. в Балаклаве начались водолазные спуски на глубины более 100 м, которые показали большие преимущества новой дыхательной смеси (ДГС). В 1939 г. комиссия Л.А. Орбели была преобразована в Постоянную комиссию по аварийноспасательному делу с собственным штатом ученых и специалистов по различным направлениям водолазного дела и водолазной медицины. Под руководством Л.А. Орбели при участии К.А. Павловского, М.П. Брескина и Б.Д. Кравчинского были проведены экспериментальные водолазные спуски с использованием для дыхания сжатого воздуха и КГС. Подтверждено, что расстройства, появляющиеся у водолазов в атмосфере сжатого воздуха, обусловлены наркотическим действием азота, так как при замене воздуха на КГС водолазы не отмечали никаких отклонений от нормы. Эти спуски положили начало широкому изучению проблемы глубоководных водолазных спусков с применением КГС для дыхания.

В 1940 г. при кафедре физиологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (ВМедА) была создана баролаборатория с барокамерами высокого давления для животных и человека, что способствовало проведению интенсивных опережающих исследований с использованием КГС.

АСС «Карпаты», проект 530

Гелий широко используется для глубоководных водолазных спусков и лечебной рекомпрессии в целях предупреждения и уменьшения наркотического действия индифферентных газов.

В 1941–1942 гг. Николай Васильевич Лазарев провел многочисленные опыты по влиянию на организм животных высокого давления индифферентных газов и расположил эти газы в ряд по убыванию степени их наркотического действия: Kc-Kr-Ar-N_2-H_2-Ne-He.

В 1945 г. был создан НИИ АСС ВМФ СССР (затем – 40 НИИ АСД МО, в настоящее время – НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «ВМА», г. Ломоносов Ленинградской области), в котором были развернуты исследования по разработке технических средств и методов проведения глубоководных спусков и спасения подводников с использованием гелийсодержащих газовых смесей.

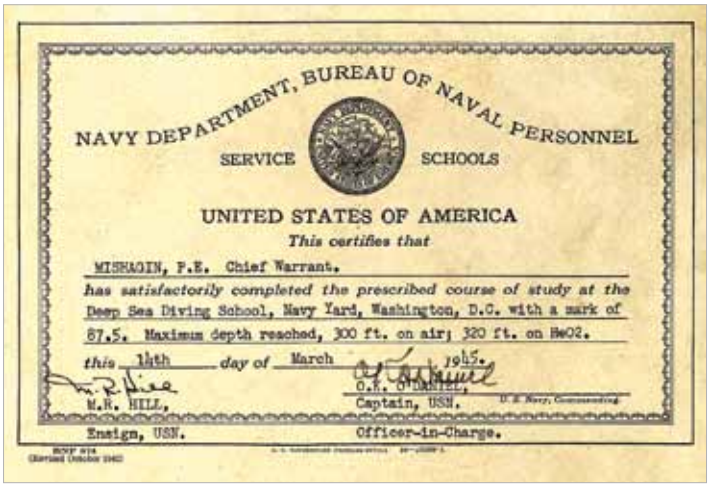
В 1955 г. Генрих Львович Зальцман предложил применять воздушно-гелиевые смеси (ВГС) взамен КГС для проведения спусков на глубины от 60 до 160 м, что было более рационально с позиций физиологии, организации спусков и экономики.

В 1968 г. симптомокомплекс неврологических расстройств организма, возникающий у человека и животных при воздействии повышенного давления, Ксавье Фрюктюсом был назван «гипербарическим гелиевым нервным синдромом», Ральфом Брауэром – «синдромом высоких дав-

лений», а в их совместной работе – «нервным синдромом высоких давлений (НСВД)».

В 1956 г. на Каспийском море под руководством Н.К. Кривошеенко, В.В. Смолина, С.Е. Буленкова, Н.Т. Коваля, И.И. Выскребенцева и Б.А. Иванова водолазы П.Я.Поражевский, Д.Д. Лимбенс, В.С. Шалаев и А.А. Ковалевский спустились на глубину 305 м (за 6 лет до спуска на такую глубину Ганса Келлера). При этом

«Если бы кто-нибудь сказал мне 5 лет тому назад, что гелием будут наполнять дирижабли, я отнесся бы к этому совершенно так же, как если бы кто-либо сказал мне, что памятник Вашингтону только что собрались покрыть бриллиантами».


NAVY DEPARTMENT, BUREAU OF NAVAL PERSONNEL
SERVICE SCHOOLS
UNITED STATES OF AMERICA
This certifies that
MISHAGIN, P.E. Chief Warrant.
has satisfactorily completed the prescribed course of study at the Deep Sea Diving School, Navy Yard, Washington, D.C. with a mark of 87.5. Maximum depth reached, 300 ft. on air; 320 ft. on $He O_2$.
this 14th day of March 1945.
M.R. HILL, Ensign, USN.
O.R. OLMSTED, Captain, USN, Officer-in-Charge.

Сертификат об окончании советским водолазом Глубоководной водолазной школы ВМФ США. «Лейтенант Н.Я. Шелковый успешно закончил курс обучения в Глубоководной водолазной школе (Navy Yard, Вашингтон), с оценкой 87,5. Максимальная достигнутая глубина на воздухе – 300 футов, на ГКС – 320 футов. 14 марта 1945 г.»

Владимир Васильевич Смолин впервые зарегистрировал на ЭКГ, переданном на поверхность с 300-метровой глубины, мышечный тремор, что было первой регистрацией нервного синдрома высоких давлений (НСВД).

В 1960–1970-е гг. со всех судов проектов 527 и 532 дивизионов Аварийно-спасательной службы (АСС) на всех флотах ежемесячно спускали водолазов-глубоководников с выполнением работ на макетах на глубины от 80 до 160 метров, а 2 пары наиболее подготовленных водолазов с каждого судна ежеквартально погружались на 200 метров. Ежегодно на флотах проводились учения по оказанию помощи и спасению подводников при нахождении подводной лодки на глубинах 80 или 120 метров. В эти годы водолазы ВМС Великобритании и США проводили лишь единичные экспериментальные спуски на глубины до 140–152 метров, а систематические спуски на глубины более 100 метров практически не выполнялись. Г.М. Соколов, служивший в те годы в Таллинском и затем Лиепайском дивизионе АСС, стал первым флотским врачом, освоившим глубину 160 м и ежемесячно спускавшимся на нее для поддержания готовности к оказанию помощи подводникам.

В 1962 г. Г.М. Соколов предложил подавать в отсек барокамеры, заполненный до 70 м вод. ст. воздухом, чистый гелий от 70 до 100 м. Были выполнены расчеты по безопасности и проведена проверка метода. До этого чистый гелий при нахождении в нем людей нигде в мире не подавался, а лечение под давлением свыше 70 м и тренировки по лечению проводились при дыхании больного и врача из аппарата ИДА-51М, что было очень неудобно. Указанием начальника АСС ВМФ от 1964 года эта методика стала обязательной: ко всем барокамерам ВМФ были постоянно подключены 1–2 баллона гелия. Эта методика на протяжении ряда лет хорошо себя зарекомендовала. Однако ей на смену пришли кислородно-азотно-гелиевые режимы, которые до настоящего времени применяются для лечения военных и гражданских водолазов.

С 1967 по 1971 год в 40 НИИ АСД МО были проведены систематические исследования по разработке и внедрению в практику ВМФ высокоэффективного метода выполнения водолазных работ – метода длительного пребывания (метод ДП, метод сатурационных погружений) под давлением до 300 м вод. ст. и в море до 100 метров. Первыми глубоководными акванавтами в 30-суточном эксперименте на экспериментальной подводной лодке под давлением 100 м кислородно-азотно-гелиевой среды в барокамере с выполнением водолазных работ были В.А. Вишняков, Г.М. Соколов, Г.Р. Пелых и Д.Е. Гондз, после чего метод ДП приказом ГК ВМФ был внедрен в практику. В 1988–1999 гг. были проведены эксперименты под давлением 350–500 м вод. ст. Пять коман-

В.В. Смолин и Г.М. Соколов поздравляют Н.Б. Павлова с успешным окончанием эксперимента

А.Т. Логунов

диров групп акванавтов, в экспериментах под давлением 450 и 500 м вод. ст. стали Героями Советского Союза и Героями России, а руководитель исследований врач В.В. Семко – Героем Социалистического Труда.

В 1981–1987 гг. на базе Южного отделения Института океанологии АН СССР (ЮО ИОАН) была проведена серия экспериментальных исследований с использованием кислородно-азотно-гелиевых и кислородно-неоновых сред, в которых приняли участие врачи от ИМБП и инженеры от ИОАН.

В 1984 г. был выполнен экспериментальный «спуск» ДП-350/450 с 3-недельным пребыванием 4-х испытуемых «на глубине» 350 м и последующим 3-суточным рекордным для нашей страны пребыванием 2-х испытуемых «на глубине» 450 м. Экипаж 350 м: врач А.В. Суворов и инженер В.С. Подымов, 450 м: врач Р.Д. Унку и инженер В.К. Тутубалин.

Несмотря на сложности 1990-х, в ИМБП продолжались научные исследования по гипербарии и водолазной медицине, проводились эксперименты как на животных, так и с участием человека. Так, в 1991 г. в ИМБП при использовании кислородно-азотно-водородно-гелиевой среды была достигнута «глубина» 1908 м. С биологического объекта (крысы) снималась энцефалограмма при компрессии и декомпрессии. Руководителями эксперимента были Б.Н. Павлов и И.А. Смирнов. Проектирование, изготовление, монтаж и техническое сопровождение проводил А.Т. Логунов. Исследования выполнял С.Е. Плаксин. Из-за закрытого характера работы достижение осталось незамеченным для публичной общественности как у нас в стране, так и за рубежом.

Аппараты «Ингалит»

В 1993 г. после окончания монтажа и госприемки глубоководного водолазного комплекса ГВК-250 ИМБП активизировались теоретические и экспериментальные исследования. Только под руководством В.В. Смолина и Г.М. Соколова было выполнено свыше 25 НИР. Были начаты исследования на животных и с участием испытуемых по оценке биологического действия на организм инертных газов, в том числе гелия. Эта работа проводилась совместно с ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН», сотрудники которого отрабатывали технологию применения газовых смесей, разрабатывали аппаратуру и применяли ее в работе с различными контингентами. Было открыто биологическое действие различных индифферентных газов (помимо наркотического), что является мировым приоритетом.

После гибели ПЛ«Комсомолец» в 1989 г. начались поиски методов и создание технических средств для эффективного выведения из гипотермии. ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН» разработало серию аппаратов «Ингалит», в которых используются подогретые КГС, хорошо зарекомендовавшие себя при выведении из гипотермии. Они также нашли широкое применение в спорте и медицине для повышения устойчивости к неблагоприятным условиям, повышения физической активности и улучшения операторской деятельности.

В апреле 2020 года аппараты «Ингалит В2-01» с подогреваемой КГС нашли новое применение – для лечения коронавирусной инфекции.

В целом на ГВК-250 ИМБП было проведено лечение около 150 больных декомпрессионной болезнью и баротравмой легких, в том числе тяжелой и крайне тяжелой степени. С 1999 года начато применение самого эффективного в мире метода лечения с длительным (5–9 суток) непрерывным пребыванием под повышенным давлением в кислородно-азотно-гелиевой среде. В 2010 г. на метод было получено разрешение Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и соцразвития как на новую медицинскую технологию.

Гелий широко используется для глубоководных водолазных спусков и проведения лечебной рекомпрессии в целях предупреждения и уменьшения наркотического действия индифферентных газов и токсического действия кислорода путем составления дыхательных смесей – кислородно-гелиевых (КГС) и кислородно-азотно-гелиевых (КАГС), а также создания газовых сред – кислородно-гелиевых (КГСр) и кислородно-азотно-гелиевых (КАГСр). Кроме того, с учетом особенностей насыщения тканей организма гелием и рассыщения от него можно оптимизировать режимы декомпрессии и сделать их более короткими.

В последнее время в научных и медицинских кругах появились письменные заявления об опасности применения заранее приготовленных гелийсодержащих газовых смесей из-за их гравитационного расслоения вследствие различной плотности газов. Авторы статьи считают эти опасения напрасными, поскольку спонтанного расслоения газов не происходит, а для разделения газовых смесей по законам термодинамики должна быть затрачена энергия. Смеси кислорода с различными инертными газами используются в водолазном деле, медицине, многих областях науки и техники на протяжении многих десятилетий. Однако не известно ни одного факта подтверждения гравитационного расслоения газовых смесей, ни одного аварийного происшествия, связанного с этим явлением.