

ПРИРОДА

5 2022

Современное представление о строении Земли было бы невозможно без развития инновационных технологий и методов исследований. Что же служит определяющим в получении новых научных данных: технологии или наука?

РАЗВИТИЕ МОРСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
И НАУЧНЫЕ ОТКРЫТИЯ В ОКЕАНЕ

С. 3



В НОМЕРЕ:

3 А.М.Сагалевиц, В.Д.Сагалевиц
**Развитие морских технологий
и научные открытия в океане**

Современное представление о строении Земли было бы невозможно без развития инновационных технологий и методов исследований. Что же служит определяющим в получении новых научных данных: технологии или наука?

18 А.А.Киселев
Градусы и дни: как «измеряют» жару

Летом 2021 г. на европейской территории нашей страны было необычайно жарко. Для того чтобы понять причины этой аномалии и попытаться оценить вероятность ее повторения, необходимо знать, по каким критериям мы можем определить действительно жаркую погоду, и где проходит граница между аномальным явлением и нормой.

26 Д.А.Петроченков
**Ювелирные аммониты России:
классификация, перспективы добычи**

Россия располагает значительными ресурсами раковин аммонитов ювелирного качества. Возможно, стоит рассматривать их в качестве нового вида камнесамоцветного сырья, стимулировать их добычу и обработку.

32 Ю.С.Равкин
**От розы ветров
до геометрии животного мира,
или Зачем считать животных**

Факторная зоогеография — относительно новое научное направление. Чем оно отличается от классической зоогеографии, изучающей ареалы животных, фауны и истории их формирования? Прежде всего — принципиально иными подходами к изучению животного населения. В чем они заключаются и для чего нужны, рассказывает один из основоположников факторной зоогеографии.

41 О.В.Петров
**Российская школа
геологической картографии**

За 140 лет — с момента создания Геолкома 31 января 1882 г. — российская геологическая картография прошла путь от первой 10-верстной (~1:420 000) геологической карты до разработки системы современного государственного геологического картографирования, включающей модельное геолого-картографическое представление недр территории страны и монографическое описание ее геологического строения, тектонического развития и размещения полезных ископаемых.

49 НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

В.Н.Комаров, Т.С.Галимова, В.С.Кирсанова
Минеральные ядра брахиопод

54 Р.К.Расцветаева
**Два минерала — две судьбы:
открытие хайтаита
и дискредитация элеонорита**

57 НАУКА И ОБЩЕСТВО

Н.В.Демина
**Двадцатилетие Абелевской премии:
история успеха**

63 НОВОСТИ НАУКИ

Микроорганизмы перестают быть микро: обнаружена огромная бактерия, видная невооруженным глазом (**63**). Пулук динозавра (**64**). Яд змей и пауков нестерилин (**65**).

67 РЕЦЕНЗИИ

Н.В.Маркина
**Четыре грани старения:
много вопросов и нет готовых ответов**
(на книгу: А.Благодатский, А.Ржешевский, О.Борисова, А.Егорова. Open Longevity. Как устроено старение и что с ним делать)

70 НОВЫЕ КНИГИ

Развитие морских технологий и научные открытия в океане

А.М.Сагалеви¹, В.Д.Сагалеви²

¹Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН (Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

В статье рассматривается взаимосвязь между развитием морских технологий и научными открытиями в океане. Изобретение и внедрение эхолотов, применение сейсмических методов исследований дали возможность совершить величайшее открытие XX в. — открытие глобальной теории тектоники литосферных плит. Использование глубоководных буксируемых аппаратов позволило обнаружить гидротермальные поля на дне океана, открыть новый источник жизни в океане — хемосинтез. С другой стороны, открытие гидротермальных полей стимулировало создание обитаемых аппаратов с рабочими глубинами 6000 м и более. Названные открытия в корне изменили наше представление о строении Земли. Они — наиболее яркие примеры тесной взаимосвязи инновационных технологий и научных свершений.

Ключевые слова: морские технологии, научные открытия в океане, глубоководные обитаемые аппараты, глубоководное бурение.

Современное представление о строении Земли невозможно без развития инновационных технологий и методов исследований. Порой мы спрашиваем себя: «Что служит определяющим в получении новых научных данных: технологии или наука?» История показывает, что самые выдающиеся открытия в науке об океане базируются на внедрении новых технологий. С другой стороны, зачастую научные открытия стимулируют развитие технологий, которые необходимы, к примеру, для детального изучения вновь открытых процессов или явлений.

В этой статье мы попытались представить наиболее выдающиеся достижения в океанских технологиях и научные открытия, которые помогли в корне изменить наше представление о реальном строении Земли и процессах, происходящих в ее недрах. Данная статья может быть дополнена многими важными открытиями в других направлениях исследований океана. Мы же хотели здесь показать,



Анатолий Михайлович Сагалеви¹, доктор технических наук, руководитель лаборатории научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. Совершил более 500 погружений в качестве главного пилота, проведя под водой свыше 4 тыс. часов. Область научных интересов — разработка технологий и методик, позволяющих вести непосредственные наблюдения на больших глубинах. Постоянный автор «Природы» на протяжении более 40 лет. Герой России.
e-mail: sagalev1@yandex.ru



Вячеслав Дмитриевич Сагалеви², аспирант кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — рудная геология, месторождения золота, флюидные включения, морская геология, гидротермальное рудообразование.
e-mail: slavsag@gmail.com

насколько тесно связаны научные открытия в глубинах океана с развитием морских технологий, и каким образом научные открытия могут влиять на внедрение технических инноваций в практику исследований.

Эхолот

Во второй половине XX в. накопился огромный объем научных данных о рельефе и структуре океанского дна. Эти данные были получены благодаря применению эхолотирования и сейсмических методов. На ранней стадии морские исследования проводились с помощью взрывов, применяемых для возбуждения упругих колебаний в воде. Внедрение эхолотов стало великим достижением, которое не только в корне изменило методику измерения глубин океана, но значительно повысило эффективность и детальность исследований. Можно вспомнить английское судно «Челленджер» (Challenger), на котором измерение глубин в 1870–1880 гг. проводилось с помощью груза весом 91 кг, опускаемого на пеньковом тросе с ручной вьюшки. Это требовало остановки судна и больших временных затрат, и определения глубин осуществлялись каждые 50–100 миль [1].

Впервые идея использования звука для измерения расстояния в воде была высказана много лет назад Леонардо да Винчи. Однако реальные эксперименты в этом направлении начали проводиться лишь в начале XX в. Немецкий физик Александр Бем в Киле и канадский инженер Роджинальд Фессенден в Бостоне независимо друг от друга (в 1912–1917 гг.) испытали эхолоты с электромагнитными излучателями. Учитывая, что тогда весь мир потрясла гибель «Титаника», многие инженеры и ученые работали над тем, как избежать подобных катастроф в будущем. Потому усилия двух названных выше инженеров были направлены на использование звуковых волн в воде для обнаружения айсбергов. Но после первых экспериментов оба исследователя пришли к выводу, что созданные ими устройства можно использовать и для измерения глубин. Три гидроакустические компании: «Бем» и «Сигнал-Гессельшафт» (обе из Киле) и «Атлас Верке АГ» (из Бремена) разработали промышленный образец эхолота для установки на немецких судах. Первая Большая атлантическая экспедиция была проведена в 1925–1927 гг. на научно-исследовательском судне «Метеор» (Meteor). В этом рейсе с помощью эхолота произвели 60 тыс. измерений на расстоянии 600 км. Данная экспедиция открыла новую эру в батиметрических исследованиях океана.

Другая важная инновация была сделана французским физиком Полом Лангевинем и русским инженером Константином Шиловским. В 1923 г. они испытали эхолот с пьезоэлектрическим излучателем, который работал в любую погоду на максимальной скорости хода судна, непрерывно измеряя глубину с высоким разрешением [2].

В 1922 г. доктор Харвей Хайес в ВМФ США создал звуковой глубиномер, который установили на двух судах — «Кэрри» (Carry) и «Халл» (Hull). На базе эхолотных данных, полученных в рейсах этих судов, построили первую батиметрическую карту в районе Южной Калифорнии. Однако настоящий эхолот, который и сейчас используется во всем мире, был создан английской компанией «Келвин Хьюз» (Kelvin Hughes). Его создание началось в конце XIX в. с испытаний прибора с механическим излучателем, который преимущественно тогда использовался. Во время Первой мировой войны инженеры компании усовершенствовали эхолот, заменив механический излучатель на магнитострикционный и применив для регистрации отраженных от дна сигналов регистратор с мокрой бумагой. Это был прототип эхолота, основные принципы построения которого используются до сих пор. В 1946 г. «Келвин Хьюз» делает первый эхолот для поиска косяков рыб — простой по устройству, удобный для монтажа на судах разного класса, с низким потреблением энергии. Компания постоянно работала над усовершенствованием эхолотов. В 50-е годы XX в. большинство судов мира были оборудованы эхолотами этой фирмы. Модель «MS-211» установили на новом английском «Челленджере», который в 1954 г. нашел самую глубокую точку в океане (Челленджер Дип) и измерил ее глубину — 10540 м. Однако в 1957 г. наше научно-исследовательское судно «Витязь», также оборудованное эхолотом «Келвин Хьюз», определило большую глубину в этой впадине — 11022 м, которая до сих пор служит стандартом максимальной глубины океана.

На сегодняшний день эхолоты представляют собой неотъемлемую часть любого судна. Они с разными диапазонами рабочих частот (10–200 кГц) используются для решения широкого круга задач. Частота определяет ширину излучаемого импульса и глубину проникновения сигнала в толщу воды и в верхние слои донных осадков. В 1970-х годах был внедрен в практику многолучевой эхолот, который позволил исследовать большую площадь дна на ходу судна. Сейчас подобные эхолоты используются не только для картирования поверхности дна, но и для поиска затонувших судов и других объектов, лежащих на дне [2].

Сейсмология отраженных и преломленных волн

Сейсмические исследования в океане стали проводиться в начале XX в. Первые эксперименты, появившиеся в конце XIX в. Они ставили задачу изучения землетрясений. В 1846 г. ирландский уче-

ный Роберт Маллет, произведя взрывы под водой, зарегистрировал и проанализировал упругие волны, отраженные от дна и слоев осадков. Это была первая попытка исследования природы землетрясений физико-математическим методом, т.е. попытка поднять изучение землетрясений на научный уровень. Немецкий ученый Август Шмидт в 1888 г. исследовал возможности распространения сейсмических волн при искусственном землетрясении, имитируемом с помощью взрывов. Француз Габриэль Липпман в 1890 г. разработал теорию сейсмографа, ее позже (1903 г.) усовершенствовал русский инженер Борис Голицын, а затем Эмиль Вихерт из Германии (1907 г.). В 1917 г. немецкий геофизик Людгер Минтроп запатентовал метод измерения расстояний с помощью преломленных волн. В 1920 г. этот метод был усовершенствован в различных странах и использовался для научных и практических целей. В дальнейшем методы, основанные на применении искусственно генерируемых волн, использовались для изучения процессов, происходящих в земной коре, а также для практических целей — в основном в нефтяных поисковых проектах.

В 1926 г. Минтроп запатентовал метод отраженных волн, как один из основных методов сейсмологических исследований. Ранее он использовался главным образом для обнаружения препятствий при плавании судов (например, айсбергов) и для измерения глубин. Впервые отраженные волны для поисков нефти применил Джон Кларенс Карчер [3]. Он открыл несколько нефтяных источников в Оклахоме и в Мексиканском заливе. В 1930 г., основываясь на этих результатах, Карчер создал Геологическую сервисную корпорацию (GSI), которая успешно работала в течение 50 лет, а в 1980 г. была преобразована в «Техас Инструментс» (Texas Instruments).

Далее методы отраженных и преломленных волн совершенствовались и довольно активно использовались при изучении процессов, происходящих в океанической коре, что позволило сделать ряд удивительных открытий [4].

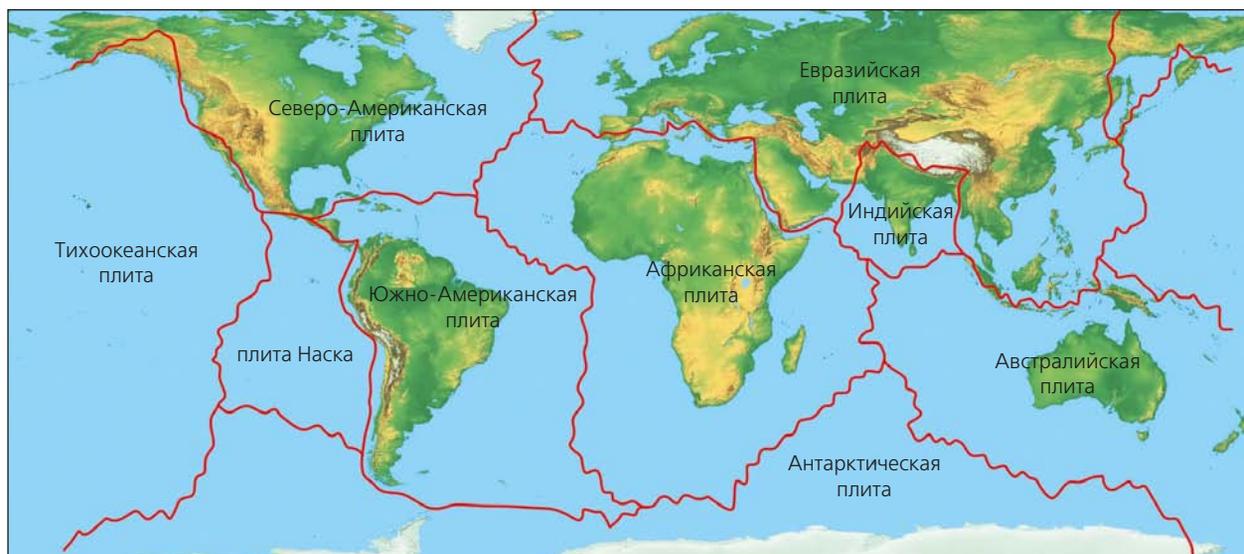
Глобальная теория тектоники литосферных плит (революция Вегенера)

В середине XX в. в результате применения эхолотов и сейсмических методов исследований с помощью отраженных и преломленных волн в мире накопился значительный объем научной информации о рельефе океанского дна и структуре океанической коры. До этого ученые располагали небольшим объемом данных о рельефе дна океана и особенно о процессах, происходящих в океанической коре.

В 1953 г. американцы Роберт Дитц и Уильям Менард опубликовали результаты картирования океанского дна в Тихом океане, полученные с помощью эхолотов и сейсмических методов исследований. На карту легли крупные протяженные структуры, возвышающиеся над уровнем океанского ложа и изобилующие разломами и сбросовыми уступами.

В 1956 г. американские ученые Морис Юинг и Брюс Хизен на основании многочисленных исследований сделали заключение о том, что океанское дно пересекают системы срединно-океанических хребтов общей протяженностью около 80 тыс. км. Они опоясывают весь земной шар и возвышаются над ложем океана на 2–3 км. В центральных частях хребтов находятся осевые рифты (расселины, ограниченные сбросами). Глобальной системе океанических рифтов противостоят системы глубоководных желобов, расположенных с внешней (океанической) стороны хребтов [5]. На базе этих открытий была разработана теория глобальной тектоники литосферных плит, которая получила название «революции Вегенера» в честь немецкого геофизика Альфреда Вегенера. Он еще в начале XX в. высказал идею о движении континентов. Согласно этой теории, твердая оболочка земной коры — литосфера — разделена на несколько плит, которые перемещаются по вязкой горячей массе — астеносфере. На границах плит происходит их раздвижение (спрединг) и подъем к поверхности глубинного вещества, что приводит к образованию новой океанической коры. Скорость спрединга в различных районах океана разная: от 1–2 см в год в районе Срединно-Атлантического хребта (САХ) до 18 см в год на Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП). Противоположный спредингу процесс — субдукция — происходит в районах океана, где плиты сходятся. Одна из них погружается под расположенные по периферии глубоководных желобов участки земной коры, где и образуется зона субдукции.

Было установлено, что подъем глубинного вещества, зачастую сопровождаемый вулканическими процессами, происходит в довольно узкой зоне внутреннего рифта шириной около 2 км. Эта зона, где образуется новая океаническая кора, выражена в рельефе в виде осевого поднятия высотой 500–700 м. По обе его стороны располагаются узкие зоны депрессий (понижения рельефа, впадины), где в результате спрединга образуются многочисленные трещины в океанической коре. Морская вода по ним устремляется вглубь океанической коры, разогревается там до высокой температуры и насыщается различными химическими элементами, взаимодействуя с геологическими породами,



Тектонические плиты Земли.

<https://geografiyazemli.ru/litosfera/relef-dna-mirovogo-okeana.html>

которые слагают глубинные слои. Разогретая масса (флюид), включающая металлы, минералы и другие рудообразующие элементы, изливается в холодное придонное водное пространство и охлаждается. Содержащиеся во флюидах тяжелые частицы оседают на дно, формируя сначала небольшие холмики, которые со временем вырастают в настоящие большие горы, сложенные миллионами тонн сульфидных руд с высокими концентрациями меди, цинка, железа, серебра, золота и других металлов.

Теория тектоники литосферных плит в корне изменила наше представление о строении Земли. Она показала, что земной шар — не твердое, «бездыханное» тело, а все его слагающие части находятся в постоянном движении, обновляясь и регенерируясь в глубинах океана на границах литосферных плит, где и образуется новая океаническая кора.

Необходимо отметить, что открытие теории литосферных плит стало возможным благодаря разработке передовых технологий, позволивших в довольно сжатые сроки провести глобальные исследования геологического строения дна океана в различных его районах.

В 60-е годы XX в. начали внедряться новые технологии и методы исследования поверхности дна океана и строения океанической коры. К ранее применявшимся эхолотированию и сейсмическим исследованиям с помощью взрывов добавились методы непрерывного сейсмического профилирования (НСП) и магнитометрии. В основе непрерывного сейсмического профилирования лежит использование физических методов возбуждения упругих ко-

лебаний в воде, а не взрывов. Для этих целей применялись электроискровые и пневматические излучатели. Первые базировались на использовании электрического разряда большой мощности, вторые — на выбросе в воду значительного количества воздуха из накопителя в короткий промежуток времени. Это давало возможность производить излучение звуковых сигналов в воде каждые 10–15 с и проводить исследования в режиме буксировки судна. Спектр излучения пневматического источника — более низкочастотный, чем электроискрового, что позволяло получать более глубокое проникновение упругих колебаний в осадочную толщу. Это предопределило преимущественное использование пневматических излучателей в системах НСП. Кроме того, цифровая обработка сигналов, отраженных от дна и подстилающих его слоев, значительно подняла разрешающую способность исследований. В наше время в системах НСП применяются главным образом пневматические излучатели.

Следующей замечательной инновацией стало внедрение в практику исследований методов магнитометрии, которые внесли существенную лепту в открытие и развитие теории тектоники литосферных плит.

Применение НСП и магнитометрии позволило провести большой объем исследований в районах рифтовых зон Мирового океана в довольно сжатые сроки. На основании полученных данных были установлены закономерности развития рифтовых зон океана во времени и подтверждены основные концепции теории тектоники литосферных плит. После проведения такого комплекса исследований

и окончательного подтверждения теории тектоники литосферных плит, как отправной точки строения планеты Земля, стало понятно, что для дальнейшего развития нашего представления о строении Земли ученые должны увидеть дно океана и целенаправленно проводить исследования в наиболее интересных, с научной точки зрения, районах. Возникла потребность в глубоководных обитаемых аппаратах, которые могли бы максимально приблизить человека к объектам исследований на дне.

Глубоководные обитаемые аппараты

Батискафы. Первое глубоководное погружение в океане было осуществлено в 1930-е годы. Американский биолог Уильям Биб и инженер Отис Бартон сконструировали батисферу, которая могла погружаться на стальном тросе до глубины 1000 м. В ней могли находиться два человека. В 1934 г. эти исследователи опустили на глубину 923 м в районе Бермудских о-вов. Они впервые провели визуальные наблюдения морского животного мира. Биб по проводной связи словесно описывал животных, которых он видел в иллюминаторе батисферы. Его секретарь на поверхности их рисовала. Рисунки оказались настолько точными, что многие из них остаются до сих пор в мировом кадастре подводного мира.

Первые погружения в батисфере показали высокую эффективность визуальных наблюдений, и ученые поняли, что необходимо совершенствовать технические средства глубоководных исследований.

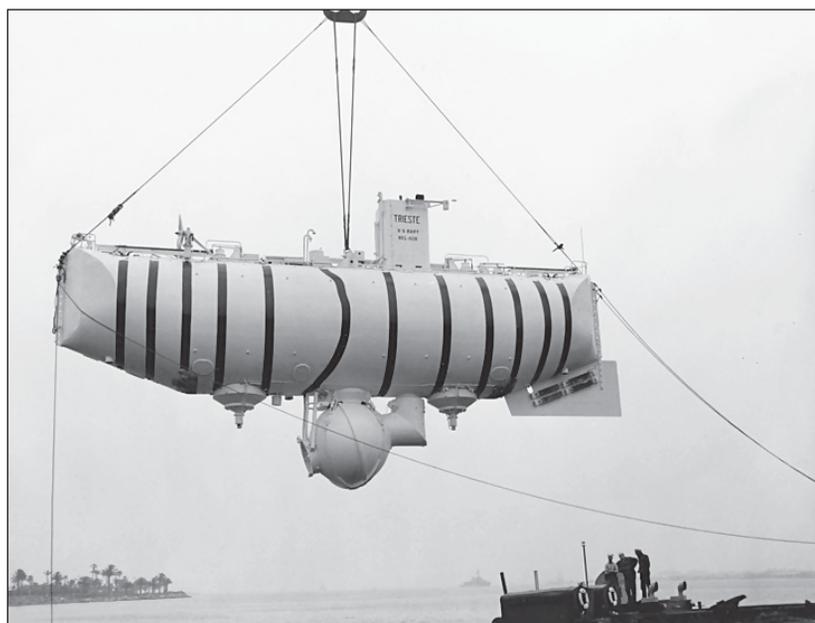
Примерно в одно время с погружениями Биба выдающийся швейцарский ученый Огюст Пикар, проходя воинскую службу, прыгал с парашютом и загорелся идеей слетать в стратосферу. Создав стратостат с помощью бельгийской фирмы «FRNS», он в 1934 г. достиг высоты 23 тыс. м. Это был абсолютный рекорд для тех времен. Когда Пикар узнал о погружениях Биба, он подумал: «А почему на тросе? Ведь можно применить тот же метод, что и при полете стратостата, используя легкую жидкость для создания плавучести подводного аппарата!» Так родилась идея создания батискафов, в которых плавучесть аппарата создавалась при помощи огромного поплавка, наполненного бензином. К поплавку крепилась обитаемая сфе-

ра и все элементы систем обеспечения погружений — электрики, гидравлики, движения. Управление батискафом осуществлялось пилотом изнутри обитаемой сферы.

В 1948 г. Пикар построил батискаф «FRNS-2» с рабочей глубиной 4000 м, а в 1952 г. — батискаф «Триест» (Trieste, названный по имени города, в котором он строился). Этот аппарат был куплен ВМФ США в 1958 г. для реализации проекта «Нектон» (Nekton), главной целью которого было осуществление погружения в самую глубокую точку нашей планеты в районе Марианского жолоба — во впадину Челленджер. Оригинальная прочная сфера «Триеста» была рассчитана на глубину 6000 м. Американцы на заводах Круппа в Германии по проекту сына Пикара Жака изготовили новую сферу. 23 января 1960 г. Жак Пикар и американский офицер ВМФ Дон Волш совершили историческое погружение на глубину 10916 м во впадину Челленджер [6].

Дальнейшее совершенствование подводных аппаратов связано с гибелью подводных лодок. В 1963 г. атомная подводная лодка ВМФ США «Трешер» (Thresher) утонула на глубине 2560 м при выходе из залива Мэн*. Необходимо было найти ее на дне и визуально обследовать. В то время это мог сделать только батискаф «Триест». После первых же погружений пилоты «Триеста» поняли, что бати-

* Подробнее см.: Степанянц Ю.А. Могут ли внутренние волны погубить подводную лодку? Природа. 2021; 6: 54–66.



Батискаф «Триест». Около 1958/59 г.

Фото из коллекции Военно-исторического центра ВМС США

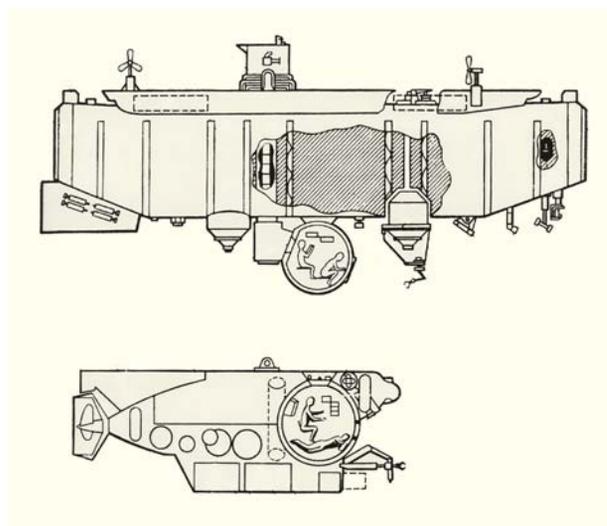
скаф очень громоздкий и маломаневренный и практически не способен выполнять тонкие операции в глубинах океана. Настала необходимость создания нового типа подводных аппаратов: легких, малогабаритных, маневренных. Главной задачей при разработке такого типа аппаратов стала замена легкой жидкости (бензина), создававшей плавучесть батискафов, на компактный твердый плавучий материал. Его удельный вес должен был быть гораздо меньше, чем удельный вес воды, и он должен выдерживать высокое давление.

Синтактик. В начале 60-х годов XX в. были изготовлены первые образцы композита из стеклянных микросфер и эпоксидной смолы — синтактика. Данный материал обладал уникальными качествами, отвечающими требованиям плавучего глубоководного материала. Благодаря этому синтактик нашел широкое применение в обеспечении плавучести различных океанологических приборов, систем и конструкций. На первом этапе проводились эксперименты по созданию синтактика на базе керамических полимерных микросфер, но в результате был выбран материал со стеклянными микросферами, как наиболее прочный и наименее плотный, т.е. обеспечивающий наибольшую плавучесть при минимальном весе. Сначала синтактик использовался для создания телеуправляемых аппаратов ВМФ США. В 1963 г. американская фирма «3М» запатентовала синтактик со стеклянными микросферами, и в 1970 г. она на многие годы стала основным поставщиком этого материала во всем мире. В 1966 г. американский Морской регистр утвердил синтактик как официальный материал для обеспечения плавучести подводных обитаемых аппаратов. Синтактик — одно из величайших открытий в области морских технологий. Его внедрение в практику позволило конструировать принципиально новые типы подводных обитаемых аппаратов. Создание телеуправляемых, автономных и буксируемых аппаратов также базируется на применении синтактика. Он используется при постановке буйковых станций, донных маяков для гидроакустической навигации подводных аппаратов, пробоотборников и других приборов и систем. Инженеры уже не мыслят создание океанских технологий без этого материала. А тогда, в 60-е годы прошлого века, синтактик совершил настоящую революцию в создании нового поколения подводных обитаемых аппаратов.

Новое поколение глубоководных обитаемых аппаратов. В 1960–1970 гг. в Канаде, США, Франции, Японии и других странах было создано около 100 обитаемых малогабаритных и маневренных аппаратов на базе синтактика [7], работающих

на различных глубинах. Большинство из них предназначалось для работы в диапазоне глубин до 2000 м. В 1973 г. аппарат Вудсхолского океанографического института (штат Массачусетс, США) «Алвин» (DSV-2 Alvin) после его затопления без людей в 1968 г. был переделан на рабочую глубину 4000 м. Его подъем с глубины 1585 м состоялся в 1969 г. После реконструкции «Алвин» участвовал в совместной американско-французской экспедиции (проект FAMOUS) в районе Азорских о-вов. Франция представила аппарат «Сьяна» (Суана) с рабочей глубиной 3000 м и батискаф «Архимед» (Archimède) с рабочей глубиной 11000 м [8]. Это была первая научная экспедиция, в которой проводились исследования рифтовой зоны САХ с помощью глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА). Ученые через иллюминаторы впервые увидели свежие лавовые излияния, тектонические трещины в земной коре, сбросовые уступы и другие детали строения океанических рифтов. После этой экспедиции внимание исследователей сконцентрировалось на изучении рифтовых зон океана.

Следующий существенный скачок в создании нового типа аппаратов был вызван открытием на дне океанов гидротермальных полей с высокотемпературными излияниями в виде черных дымов, метановыми сочениями и необыкновенным животным миром. Стало понятно, что требуются более глубоководные аппараты. В ведущих океанологических державах мира началось создание обитаемых аппаратов с рабочей глубиной 6000 м, которая обеспечивала бы исследования на 98% площади дна Мирового океана. В 1980-х годах в мире было создано пять обитаемых шеститысячников (табл.).



Батискаф (вверху) и современный глубоководный обитаемый аппарат (ГОА).