



НАУКА
МИРОВОЗЗРЕНИЕ
ЖИЗНЬ

Л. М. БРЕХОВСКИХ

ОКЕАН
И ЧЕЛОВЕК

НАСТОЯЩЕЕ
И БУДУЩЕЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»



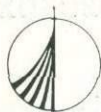
Академик
ЛЕОНИД МАКСИМОВИЧ
БРЕХОВСКИХ

Л. М. БРЕХОВСКИХ

ОКЕАН
И ЧЕЛОВЕК

НАСТОЯЩЕЕ
И БУДУЩЕЕ





НАУКА
МИРОВОЗЗРЕНИЕ
ЖИЗНЬ

Редакционная коллегия серии:

академик П. Н. ФЕДОСЕЕВ (председатель),

академик Е. П. ВЕЛИХОВ,

академик Ю. А. ОВЧИННИКОВ,

академик Г. К. СКРЯБИН,

академик А. Л. ЯНШИН,

Е. С. ЛИХТЕНШТЕЙН (ученый секретарь)

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Л. М. БРЕХОВСКИХ

ОКЕАН
И ЧЕЛОВЕК

НАСТОЯЩЕЕ
И БУДУЩЕЕ

4819



Москва «Наука»

1987



ББК 26.221

Б 87

УДК 551.46

Рецензент

М. Е. ВИНОГРАДОВ

Бреховских Л. М.

Б 87 Океан и человек. Настоящее и будущее. — М.: Наука, 1987. — 304 с. ил. — (Серия «Наука. Мирозрение. Жизнь»).

Мировой океан иногда называют Великим Неизвестным. И действительно, он таит в себе много загадок. Сотни исследовательских кораблей с десятками тысяч ученых на борту работают в океане и раскрывают его тайны. Почти ежегодно наука обогащается новыми открытиями в области физики, химии, биологии океана, геологического строения его дна.

Этот динамизм океанологии с большим мастерством отражен в книге, автором которой является один из ведущих советских ученых академик Л. М. Бреховских, участник нескольких выдающихся открытий в области океанологии.

Книга написана в живой достаточно популярной форме и будет интересна как океанологам, так и широкому кругу читателей.

ББК 26.221

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава первая	
ОКЕАН И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО	11
1.1. Путешествие по дну океана	11
1.2. Океан — кухня погоды	18
1.3. Наш кормилец?	26
1.4. Эльдорадо Мирового океана	33
1.5. Энергия океана для нужд человечества!	46
1.6. Самая просторная в мире дорога	50
1.7. Как твоё здоровье, океан?	56
Глава вторая	
ВЕЛИКИЙ НЕИЗВЕСТНЫЙ	66
2.1. Вечно в движении	66
2.2. Тонкая структура и турбулентность	82
2.3. Всюду жизнь	85
2.4. Всюду шум	107
Глава третья	
КАК ДЕЛАЮТСЯ ОТКРЫТИЯ	118
3.1. Тектоника Земли и литосферные плиты	119
3.2. Подводный звуковой канал	125
3.3. Синоптические океанские вихри	142
Глава четвертая	
ЧЕЛОВЕК ПОЗНАЕТ ОКЕАН	150
Глава пятая	
КАК ИССЛЕДУЮТ ОКЕАН	162
Глава шестая	
ЧЕЛОВЕК СПУСКАЕТСЯ ПОД ВОДУ	181
Глава седьмая	
ПРАЗДНИКИ В БУДНЯХ	205
Глава восьмая	
ОКЕАН ДЛЯ ВСЕХ	227
Глава девятая	
ОКЕАН И ПРАВО	253
Глава десятая	
ЧТО ВПЕРЕДИ	273
10.1. Океанология в будущем	273
10.2. Настоящее и ближайшее будущее акустики океана	293

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Ты, волна моя морская,
Своенравная волна,
Как, покоясь иль играя,
Чуждой жизни ты полна!
Ты на солнце ли смеешься,
Отражая неба свод,
Иль мятешься ты и бьешься
В одичалой бездне вод,—*

*Сладок мне твой тихий
шепот,
Полный ласки и любви,
Внятен мне и буйный
ропот.
Стоны вещи твои.*

Ф. И. ТЮТЧЕВ

В конце 1982 г. в Ялте проходил 2-й съезд советских океанологов. На последнем заседании после официального закрытия съезда председательствующий предоставил слово известному ученому члену-корреспонденту АН СССР Г. С. Голицыну. И он при бурном одобрении всего зала прочитал два стихотворения прекрасного русского поэта Ф. И. Тютчева, одно из которых я процитировал в эпиграфе к этому предисловию.

В профессии океанолога более, чем в какой-либо другой, сочетаются сугубо прозаический труд с его кропотливыми наблюдениями и измерениями одних и тех же величин, истинная романтика — романтика поиска, которая всегда присуща научным исследованиям, и романтика специфическая — романтика моря.

Многие надежды человечества связаны с океаном. Только, пожалуй, те, кому посчастливилось наблюдать Землю из космоса, по-настоящему поняли, что она «шарик», почти сплошь покрытый водой. Рядовой житель нашей планеты (если он не живет на берегу моря) мало задумывается о том, что существует такой Великий Неизвестный, как Мировой океан. Великий потому, что он действительно огромен. В нем на каждого жителя планеты приходится около 300 млн. м³ воды. Если эту «порцию» воды опреснить, то ею можно обеспечить город с миллионным населением в течение года. Чтобы заполнить океан, всем рекам земного шара надо непрерывно течь около 50 тыс. лет. Если представить его в какой-то

момент покоящимся, то атмосферным ветрам и энергии Солнца потребуется около 200 лет, чтобы развились те течения, которые наблюдаются в нем сейчас.

Пока еще океан совсем мало изучен, и именно поэтому я назвал его «Великим Неизвестным». В международные центры сбора данных поступает пока примерно в 1000 раз меньше сведений об океане, чем об атмосфере. Одно за другим появляются новые открытия, меняющие наши представления о движении вод в океане, строении морского дна, структуре биологических сообществ в океане.

Океан обладает огромными биологическими ресурсами, необходимо только их правильно использовать и развивать. Непрерывно растет удельный вес добычи из морского дна таких остродефицитных ресурсов, как нефть и газ. Морское дно богато и многими другими ценными минеральными веществами. В морской воде содержатся почти все элементы таблицы Менделеева. Весьма вероятно, что в будущем океан станет средой обитания для значительной части населения нашей планеты. Все живое на нашей земле вышло из океана. Об этом свидетельствует и наша соленая кровь.

Поистине океан бросает вызов науке и человечеству. С одной стороны, он имеет фундаментальное значение для нашего будущего, с другой — в нем остается еще много неизученного, а иногда и загадочного.

Ученые многих специальностей занимаются изучением океана. Математики и механики решают загадку синоптических вихрей (вихри с размерами в сотни километров), открытых советскими учеными в 1970 г. Проблема очень важная, так как в синоптических вихрях содержится более 90% всей кинетической энергии океана. Ученые занимаются также изучением внутренних волн. Если поверхность океана спокойна, то это совсем не значит, что все спокойно внутри океана. Там могут бегать волны с размахом по вертикали до 100 м. Хотя это сравнительно медленные волны с периодами от десятков

минут до многих часов, они играют важную роль для подводного плавания, для работы различных установок на дне океана, для подводной акустики и оптики. Предстоит выяснить основные источники этих волн, их взаимодействие между собой и с поверхностными волнами, механизм их разрушения и затухания.

Биологи заняты до сих пор не разрешенной загадкой движения дельфина. Как может дельфин двигаться легко и быстро с такой малой затратой энергии? Если удастся построить столь же легко движущийся подводный аппарат, это будет целая революция в освоении океана.

До сих пор не раскрыта тайна миграции рыб. Не ясно, каким образом речные угри, прошедшие 10—25 лет в реках Европы, в том числе в реках нашей страны, находят путь в Саргассово море (4—7 тыс. км), где они нерестятся на глубинах около 400 м? Личинка угря, окрепнув, проделывает этот же путь в обратном направлении.

Однако главной задачей биологов является умножение рыбных и других биологических богатств Мирового океана. На суше человек уже давно перешел от охоты на зверя к животноводству. К сожалению, по отношению к рыбе мы все еще находимся на стадии охоты, часто безжалостной и не всегда умной, приводящей к почти полному исчезновению ряда видов рыб. Предстоит изменить это и заняться приумножением биологических богатств океана, создавая морские фермы и другие хозяйства.

Физикам предстоит прежде всего создать средства и методы для определения состояния поверхности океана и его глубин с космических аппаратов. Это не простой путь. Состояние поверхности океана, верхних его слоев, а также атмосферы над океаном можно определить, используя электромагнитные волны (радиоволны, свет). Однако они проникают в глубь воды не больше чем на несколько сотен метров. Что касается больших глубин, то здесь есть надежда на помощь звуковых волн, которые

в толще океана могут распространяться на многие тысячи километров. Результаты акустического просвечивания океана можно передавать на спутники и на наземные станции.

Химиков увлекают грандиозные перспективы извлечения полезных веществ из самой морской воды, которая на редкость богата ими. В каждом кубическом километре морской воды содержится 36 млн. т растворенного вещества. Из них в промышленных масштабах добываются пока только поваренная соль, магний, бром. Реальны пути экономического извлечения урана, золота, дейтерия. На каждые 5000 атомов водорода в морской воде приходится один атом дейтерия. Извлечение дейтерия могло бы стать надежной сырьевой базой энергетики, основанной на реакции ядерного синтеза.

Увлекательной наукой оказалась морская геология, исследующая строение морского дна. Именно морская геология и бурение морского дна позволили разработать новую концепцию строения земной коры, основанную на представлении о литосферных плитах. Теперь мы уже не сомневаемся, что континенты движутся. Европа удаляется от Северной Америки со скоростью примерно 3 см в год. Однако в этой концепции еще много неясного. Дальнейшее развитие этих представлений позволит лучше прогнозировать местоположение и запасы нефти, газа, разных металлических руд на дне моря и даже на суше.

Инженеры в будущем, возможно, кардинально решат проблему транспорта в Северном Ледовитом океане, создав транспортные подводные лодки. В самом деле, зачем ледоколам бороться со льдами многометровой толщины, если подо льдом можно плавать круглый год, затрачивая при этом в десятки раз меньше энергии? Инженеры будут создавать подводные жилища и средства для добычи нефти и газа из морского дна на глубине в несколько километров.

Физиологи найдут пути более свободного передвижения человека по вертикали в океане. Действительно, почему водолаз, поднимаясь с глубины 100 м на поверхность, должен тратить часы на декомпрессию, в то время как морские львы и киты (млекопитающие, как и мы) непринужденно ныряют на глубину километр и больше без всякого вреда для своего организма?

Океан обладает колоссальными энергетическими ресурсами (энергия течений, волн, приливов, перепады температуры по вертикали), которые сейчас почти не используются. Однако в последнее время стали разрабатываться грандиозные проекты освоения этой энергии.

Океан в будущем предоставит широкое поле деятельности и представителям общественных наук. Экономистам предстоит разработать стратегию освоения океана, выбрать пути, сулящие наибольший эффект. Юристы уже сейчас реализуют правовой статус океана. В принципе все согласны, что океан принадлежит всему человечеству, но как делить богатства открытой части океана? Какие права имеет прибрежное государство на прибрежный шельф и следующий за ним континентальный склон? Проблемой огромной важности является создание международного законодательства, предотвращающего загрязнение Мирового океана.

Со всеми перечисленными и многими другими проблемами изучения океана и освоения его ресурсов знакомит читателя эта книга.

Глава первая

ОКЕАН И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО

*И царства целые по берегам твоим
Встают и рушатся,— лишь ты во всей Вселенной
Не изменяешься!*

*Полета времени губительная сила
Лазурного чела тебе не бороздит!
Ты будешь так же юн в часы веков скончанья,
Как видела тебя заря в день мирозданья.*

Дж. Г. БАЙРОН

1.1. Путешествие по дну океана

В темноте космического пространства одиноко сияет голубым светом планета, несущая цивилизацию, возможно единственную в нашей Галактике (может быть, и во всей Вселенной?). Почти три четверти поверхности этой планеты занимают океаны и моря, заполненные редчайшим для космических тел веществом — водой. Эта драгоценная жидкость — дар природы нашей планете. В таком количестве, как на Земле, ее нет нигде в Солнечной системе, а возможно, и вообще в космосе. Несмотря на свой простой химический состав, вода — основа жизни.

В океане вода соленая, как и наша кровь. Ее на планете 1,35 млрд. км³. Это значительно больше, чем пресной воды. Запасы последней содержатся в основном в виде льда в полярных (прежде всего в Антарктиде) и горных ледниках. Здесь ее 29 млн. км³, т. е. примерно в 50 раз меньше, чем соленой воды в океанах, и совсем мало по сравнению с этим воды в озерах и реках (130 тыс. км³). Мы уже начинаем понимать, какой драгоценностью на Земле является чистая пресная вода.

Посмотрим сейчас, что же скрывается под водой, совершив путешествие в глубины океана, познакомимся подробно с его дном.

В романе Жюль Верна «Двадцать тысяч лье под водой», появившемся более 100 лет тому назад, капитан Немо предлагает профессору Аронаксу принять участие в подводной прогулке. Кто не зачитывался описанием этой увлекательной прогулки, созданной воображением гениального фантаста, предвосхитившего многие достижения

науки и техники? Но вот что интересно, такой прогулки по дну океана на сколько-нибудь больших глубинах так пока никто и не совершил. Между тем, когда вы плывете на корабле, дно океана находится почти рядом с вами, всего в каких-нибудь нескольких километрах, даже в открытом океане. Это несравненно ближе, чем космос, но насколько труднодоступнее! Громадное давление (500 атм на глубине 5 км), вечная тьма и холод хранят тайны дна океана. Печальный список героев, погибших при освоении дна океана, во много раз длиннее списка жертв космоса.

Сравнительно немногочисленные путешествия на дно океана на подводных аппаратах, выдерживающих необходимое давление, показали, что в океане пока еще много неизведанного. Так, например, совсем недавно на дне океана в зоне так называемых гидротермальных источников был открыт новый вид биологических сообществ, не требующих ни кислорода, ни солнечного света. А сколько еще таких открытий впереди!

К счастью, хорошее представление о рельефе дна океана (по крайней мере о его крупных формах) мы получили благодаря простому акустическому прибору — эхолоту. Звуковой импульс от акустического излучателя, расположенного в днище корабля, мчится к дну океана со скоростью примерно 1,5 км/с, отражается от него и воспринимается тем же прибором. По времени его пробега вычисляется глубина под кораблем.

Ну а теперь, вооружившись данными различных приборов, в частности эхолота, погрузимся на дно.

От самого берега начинается область, которую именуют континентальным шельфом. Это название буквально не сходит со страниц газет и журналов. Объясняется такая популярность континентального шельфа очень просто. Именно эти области Мирового океана начинают сейчас эксплуатироваться: отсюда качают нефть, там находятся залежи полезных ископаемых, до которых уже дотянулась рука человека. Кроме того, на континентальный шельф распространяются суверенные права прибрежных государств, в связи с чем сейчас идет оживленная дискуссия, касающаяся размеров этой зоны. Называемый также материковой отмелью континентальный шельф, простирающийся порой на сотни километров от берега до глубин порядка 200 м, геологически представляет собой продолжение суши. Средний наклон дна шельфа обычно не пре-

вышает 1°. Площадь шельфа составляет несколько больше 7% площади Мирового океана.

Рельеф дна на шельфе все время меняется за счет непрерывной работы волн и прибрежных течений. Они размывают берега. С отступающего берега в океан забрасывается различного рода обломочный материал. Поэтому самые близкие к берегам районы континентального шельфа так богаты всевозможным строительным материалом. Тут есть и песок, и галька, и гравий. Многие из этого материала вынесено также реками.

Очень своеобразно дно океана вблизи островов тропических морей. Сделаем небольшую остановку и познакомимся с одним из самых красивых мест подводного царства, столько раз описанного многочисленными путешественниками и писателями. Но это не удивительно. Слишком необычная картина открывается перед глазами и на самих островах, и под водой. Дело в том, что, как правило, острова тропических морей окружены коралловыми рифами. Именно там располагаются многочисленные колонии кораллов, образующие весьма прихотливые архитектурные сооружения. Это образцы ажурной работы мельчайших тружеников природы — коралловых полипов, населяющих тропические зоны океана.

Доставляя чисто эстетическое наслаждение, коралловые рифы представляют особую ценность и для науки. Ученые установили, например, что некоторые из них находятся на глубинах до 1300 м. В то же время известно, что сами по себе рифообразующие кораллы не могут существовать на глубинах больше 50 м. Выходит, с тех пор как появились эти «глубоководные сооружения», море успело опуститься. Так проявилось вертикальное движение морской коры, а застывшие на века кораллы, точнее говоря, их известковые скелеты остались свидетелями этого процесса.

Для биологической науки коралловые рифы представляют большой интерес как почти замкнутые экологические системы с чрезвычайно большой продуктивностью. Но вернемся от экзотики к обыденной жизни океана. Ведь тропики занимают лишь небольшую его часть.

Мы остановились на континентальном шельфе. Продолжим наше путешествие.

При удалении от берега шельф переходит в материковый (континентальный) склон. Здесь поверхность дна

уходит в сторону океана гораздо круче. Уклон иногда достигает 10—15°.

Материковый склон пересекают глубокие расщелины, по своей форме напоминающие земные каньоны. Так они и именуются. По-видимому, основную роль в образовании подводных каньонов играют так называемые мутьевые потоки. Это поток грязи и ила, который внезапно прорывается и уносит далеко в океан различные твердые частицы. Сила мутьевого потока такова, что он иногда разрывает подводные кабели, прерывая тем самым телеграфную и телефонную связь между материками. Мутьевые потоки часто продолжают под водой русла рек.

Ширина материкового склона обычно 20—100 км, глубина изменяется от 200 до 1400—2200 м.

Переходная зона материкового склона к истинному дну океана и его ложу — материковое подножие — снова область с малым уклоном дна, но зато, как правило, с очень большой шириной — до 500—600 км. Поначалу кажется, что здесь нет глубоких расщелин, рельеф спокойный, как и подобает равнине. Кажется, что таким будет и все дно Мирового океана. Но, как мы с вами убедимся, впечатление это обманчиво, и нас ждут большие неожиданности.

Описанная картина может сильно изменяться от одного места к другому. Скажем, побережье Тихого океана около Калифорнии совсем иного рода. Там сразу же за узким шельфом располагается громадная область, напоминающая древние сильно разрушенные горы. Возможно, что в этих случаях нельзя говорить о подводной окраине материка, здесь располагаются океанские структуры, вторгшиеся в материковую платформу.

Перейдем теперь к структурам, которые свойственны только дну открытого океана.

Дно океана! Именно там путешествовали герои Жюль Верна, именно там и располагаются наиболее интересные, важные в научном и экономическом отношении области Мирового океана.

Океан глубок. И самые высокие горы Земли целиком уйдут под воду в наиболее глубоководных районах океана, причем над вершинами еще будет простираться толща воды в несколько километров.

Я хочу познакомить читателя с впечатлениями людей, впервые воочию из иллюминатора подводного корабля-

батискафа наблюдавшими самую глубокую часть океана, именуемую Марианской впадиной. Максимальная глубина в ней 11 022 м, так что Эверест, составляющий «всего» 8848 м, совершенно свободно туда поместится.

Итак, 26 января 1960 г. молодой швейцарский ученый Жак Пикар, сын знаменитого энтузиаста полетов в стратосферу и глубоководных погружений, конструктора стратостата и батискафа Огюста Пикара, и американец Дон Уолш сумели на батискафе «Триест» достигнуть дна Марианской впадины.

Вот как это происходило, и вот что они там увидели.

«...Пройдено 10 тысяч метров, а мы все продолжаем медленно, неотвратно спускаться: 30 сантиметров в секунду, 18 метров в минуту. Вода на удивление прозрачна.

Эхолот работает без передышки... 12.56. Наконец-то на эхограмме появляется тонюсенькая черточка — дно!.. в 80 метрах под нами дно...

13 часов. Появился смутный отблеск, какой выступает на фотографии в ванночке с проявителем. Это дно. Мимо иллюминатора проплывает существо сантиметра два-три длиной: красная креветка сочла своим долгом поздравить нас с прибытием... „Триест“ продолжает спускаться. Круг внизу сужается по мере приближения.

Дно светлое и чистое, напоминает пустыню цвета слоновой кости...

Ровно в 13 часов 06 минут „Триест“ достиг дна Марианского желоба на глубине чуть меньше 11 000 метров.

В момент приземления поднялось облачко тончайшего ила. Не было видно мелких нор — обычной картины на малых и средних глубинах. Дно было совершенно ровное, если не считать нескольких комочков на поверхности. Но самое главное — за миг до соприкосновения с дном в световой круг выплыла рыба. В одну секунду, вместившую годы труда и подготовки, мы разрешили проблему, десятки лет мучившую океанографов... Жизнь в ее высшей организованной форме возможна в море повсюду, на любой глубине. Это доказала увиденная нами рыба, очень похожая на ската, сантиметров 30 длиной и 15 шириной... Рыба исчезла из поля зрения, но не могла изгладиться из памяти. Самое любопытное, что было в ней, — пара выпуклых глаз. Зачем они ей понадобились в абсолютно кромешной тьме? Биологи давно уже ломают над этим головы. Если глаза зрячие, что еще требу-

ется доказать, они помогают ловить фосфоресцирующий планктон, который, безусловно, есть на этих глубинах.

Мы погасили свет, но, сколько ни всматривались в иллюминаторы, не смогли уловить возле дна ни единой точки биолюминесценции. Это, разумеется, не означает, что планктона нет в стороне или немного выше...

Через какое-то время медленно, очень медленно, наполнив зарывшись в ил, рыба вышла из светового круга. Сразу затем мы увидели красивую креветку густо-красного цвета, она прошла совсем рядом с иллюминатором...

Сейчас на глубине 11 тысяч метров мы добыли доказательство того, что ни давление, ни тьма, ни холод вместе взятые не в силах остановить жизнь...¹

Двадцать минут мы провели на дне, сменяя друг друга у иллюминаторов. Облако осадков, вызванное приземлением, понемногу улеглось, и дно теперь было видно, насколько хватало глаз. Оно было плоское, светло-серого цвета, с редкими складочками высотой в несколько сантиметров — их вполне могла оставить какая-нибудь рыба, никаких роющих животных, никаких нор, ничего похожего на то, что мы видели при других погружениях... Я все глядел и не мог наглядеться на зрелище, которое мне вряд ли доведется увидеть вновь...»

Так рассказал о своем глубоководном погружении один из первооткрывателей морских глубин Жак Пикар². Мы еще вернемся к этой теме, когда будем подробно знакомиться со всеми особенностями подводных погружений и с результатами подобных научных экспедиций.

И в каждой из них ученые или лично наблюдали различные участки морского дна, или получали множество фотографий. Фотографии дна можно получать и с надводного корабля, опуская вниз фотоустановку. Поэтому мы теперь можем сказать, что в общих чертах знаем, как выглядит дно океана на самых разных глубинах.

¹ Заметим, что еще в 1948 г. во втором рейсе «Витязя» была найдена богатая жизнь на глубине 8400 м в районе Курило-Камчатского желоба. В 1950—1952 гг. датская экспедиция на НИС «Галатея» нашла жизнь на глубине 10 км. В 1958 г. «Витязь» поднял трал с глубины около 10 700 м в одном из желобов Курильской впадины. В нем были различные животные. Правда, рыб на такой глубине Пикар увидел первым.

² Пикар Ж., Дитлу Р. Глубина семь миль. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.

Долгое время считалось, что ложе океана — в основном равнина. Наверное, эти предположения исходили из нехитрой мысли, что за долгие тысячелетия вода должна была сгладить все неровности рельефа.

Действительность оказалась куда более интересной. По разнообразию рельефа дно океана ничем не уступает обычной поверхности Земли, ее суше, а кое в чем даже превосходит ее. Хребты почти такие же высокие, а их протяженность не меньше, чем на поверхности, глубина же ивхх впадин превосходит все, с чем до той поры сталкивались исследователи.

Эпоха великих океанографических открытий началась после окончания второй мировой войны, когда в результате широкого применения эхолотов раскрылась удивительно богатая картина рельефа океанского дна. Затем были обнаружены так называемые срединно-океанические хребты, истинно гигантские горные образования, занимающие около 15% дна Мирового океана.

Открытия начались с обнаружения хребта посредине Атлантического океана, вследствие чего он так и был назван — Срединно-атлантический. Система хребтов, начиная с Срединно-атлантического, огибает Африканский континент и продолжается в Индийском океане под названием Центральный индийский хребет. Последний раздваивается в районе острова Родригес, и одна его часть продолжается в Тихий океан, или, как часто говорят океанологи, в Пацифику — Восточно-тихоокеанское поднятие. Общая протяженность хребтов свыше 60 тыс. км.

Каждый хребет представляет собой гигантскую складку земной коры — своеобразный вал шириной от 200 до 3000 км с характерной рифтовой долиной посредине, разбитый отдельными поперечными трещинами.

Рифт (в переводе с английского «щель», «трещина») — глубокая долина посредине хребта. Не следует думать, что такого рода подводные образования действительно являются долинами. Дно там чаще всего неровное, встречаются и небольшие горы. Рифтовые зоны отличаются повышенной сейсмоактивностью. Именно здесь, как правило, расположены многие подводные вулканы и очаги землетрясений.

Сравнительно небольшие участки дна океана между материковым подножием и срединно-океаническими хребтами очень ровные, с пологими холмами высотой в десятки,



иногда сотни метров. Это так называемые абиссальные равнины.

Картина, которую мы обрисовали, почти не изменяется со временем, по крайней мере за время человеческой жизни. Только иногда вследствие извержения подводных вулканов за несколько дней или недель образуется новый остров в океане или новая подводная гора. Время же для заметного изменения основных характеристик рельефа дна океана составляет миллионы лет.

На земной поверхности изменялось многое, а здесь жизнь словно замерла. Но эта тишина и спокойствие мнимые. В действительности и здесь идут глобальные процессы, ибо меняется все, в том числе и дно океана. Просто жизнь человека по сравнению с этими изменениями эфемерна!

1.2. Океан — кухня погоды

«...В местной газете была напечатана обнадеживающая сводка, где было сказано: «Тепло и ясно, ветер западный, слабый», а в тот же вечер пошел снег и подул сильный восточный ветер...» Эти строки из рассказа О'Генри «Справочник Гименя» достаточно типичны. Наверное, ни одна область науки не подвергается столь обильному поношению, как метеорология, точнее говоря, тот ее раздел, который отвечает за прогноз погоды. Юмористы и сатирики неистощимы в своем желании высмеять прогнозы, доказать их неубедительность.

С начала нашего столетия человек научился летать, изобрел телевидение, побывал на Луне, осваивает космос и атомную энергию, но прогноз погоды на десять дней вперед и тем более прогноз изменения климата на Земле на следующие, скажем, 10–20 лет остается нерешенной проблемой.

К концу этого столетия мы ожидаем революционизирующих изменений в нашей жизни, связанных с широким освоением вычислительной техники (от супермашин до персональных компьютеров), автоматизации, геноинженерии, началом практического освоения термоядерной энергии, но никто пока не берется утверждать, что мы научимся предсказывать климат будущего или давать прогнозы на долгие сроки.

Теперь мы поняли, что без постоянных наблюдений в Мировом океане прогноз погоды на срок больше недели не может стать полностью достоверным, ибо океан является кухней погоды нашей планеты. Многим это может показаться странным. Ведь ливни, ветры, теплые безоблачные дни или страшные метели, снегопады мы всегда относим к чисто атмосферным явлениям. Каждому ясно, почему льет дождь — на небе появилась дождевая туча. День хороший — на небе ни облачка. Ветер их принес. И причем тут океан? Он далеко. Между тем нередко погода на континенте как раз рождается в далеких просторах океана.

Выше мы узнали, как выглядит дно океана. Оно почти не меняется или, вернее, меняется за миллионы лет, но далеко не все спокойно в толще самого океана над его дном. Там текут такие гигантские подводные реки, как Гольфстрим, Куро시오 и Циркумполярное антарктическое течение. Последнее охватывает весь антарктический континент, является самым мощным течением в океане и переносит за год воды в 200 раз больше, чем годовой сток всех рек земного шара.

Почти вся толща океана охвачена вихревыми движениями. Диаметр вихрей достигает нескольких сотен километров.

Разнообразные волновые движения, в которых участвуют водные массы океана, имеют периоды от долей секунды (капиллярные волны на поверхности океана) до нескольких месяцев (так называемые волны Блинновой—Росси в толще океана).

Если вы находитесь в океане и видите идеально спокойную его поверхность (что бывает, кстати, очень редко), то это не значит, что внутри океана все спокойно. Там могут бушевать внутренние волны с размахом по вертикали до 100 м. Правда, термин «бушевать», может быть, здесь не совсем подходит, так как процесс этот медленный — период внутренних волн обычно десятки минут или часы.

Таким образом, океан оказывается очень изменчивым, в некоторых отношениях не менее, чем атмосфера. Его взаимодействие с атмосферой решающим образом определяет погоду и климат на земном шаре.

Разберем вопрос о влиянии океана на атмосферу подробнее. Большая часть солнечной энергии падает на тропические области Земли, занимаемые в значительной мере

океаном и морями. Морская вода отражает всего лишь 7% падающей на нее солнечной энергии. Остальное проникает в воду. Почти половина этой энергии (инфракрасная и ультрафиолетовая части спектра) поглощается в первых пяти метрах. Видимая часть спектра поглощается в слое толщиной в несколько десятков метров. В результате морская вода оказывается нагрета сильнее, чем атмосфера. Это дает начало серии важных процессов.

Во-первых, вода испаряется с поверхности океана в атмосферу. За год с поверхности океана в атмосферу испаряется слой воды толщиной примерно в 1 м. Эта убыль компенсируется атмосферными осадками.

Поднимаясь в атмосфере вверх, пары воды попадают в холодные слои и там конденсируются, превращаясь в облака, состоящие из мельчайших капелек. В процессе конденсации выделяется скрытая теплота, взятая паром от океана. Так передается 60% тепла от океана в атмосферу. Этот процесс иногда, так сказать, выходит из-под контроля и приобретает катастрофический характер, когда возникают тропические ураганы, которые в Тихом океане называются тайфунами. В урагане процесс передачи энергии от теплого океана к более прохладной атмосфере происходит настолько быстро, что он сопровождается образованием области аномального низкого давления в атмосфере (теплая атмосфера «весит» меньше, и поэтому меньше ее давление на поверхность воды). Вследствие этого и появляются ураганные ветры вокруг центра («глаза») урагана.

Ураган не может стоять на месте. Отобрав у океана необходимое тепло и несколько охладив его поверхность, ураган должен передвинуться в ближайший, пока еще теплый район и т. д. Ураган прекращается, когда он попадает в место, где температура океана не способна поддерживать его существование, или на континент, теплоотдача которого ниже, чем у океана.

Ураган — очень опасное явление, хотя по традиции обязательно называется каким-нибудь женским именем. К счастью, образование каждого урагана в наше время немедленно фиксируется при помощи метеорологических спутников, и за ним все время следят. Предупрежденные о нем корабли могут чаще всего избежать встречи с ним. Однако не всегда. До сих пор время от времени происходят серьезные катастрофы.

Другой процесс передачи энергии от океана в атмосферу имеет более прямой характер. Океан как всякое нагретое до определенной температуры тело излучает электромагнитные волны, в основном инфракрасные лучи. Последние поглощаются в атмосфере и также подогревают ее. На долю этого процесса приходится около 33% потока тепла из океана в атмосферу.

Наконец, всего уже небольшая часть (около 7%) передается от океана в атмосферу благодаря самому обычному процессу теплопроводности, как передается тепло от более нагретого тела к более холодному.

Атмосфера, расположенная над сушей, также получает некоторое количество тепловой энергии от почвы, но существенно меньше, чем над океаном. В результате между континентальной атмосферой и атмосферой над океаном создается разница температур. Эта разница, в свою очередь, создает систему ветров. Некоторые из них имеют ярко выраженный сезонный характер и называются муссонами.

Тепло атмосферы и океана из тропических широт переносится в средние и полярные широты течениями в океане и воздушными потоками в атмосфере. Наиболее значительными течениями, выполняющими эту роль, являются Гольфстрим в Атлантическом и Куроисио в Тихом океане.

Мы часто жалуемся на изменчивость погоды. И действительно, систематическими измерениями показано, что холодная погода сменяется теплой или дождливая ясной в наше время несколько чаще, чем, скажем, 50 лет назад. Причины этого пока не известны. Однако ясно, что Мировой океан с его огромной тепловой инерцией обеспечивает хотя и относительную, но все же стабильность погоды на нашей планете. Мы не можем даже и представить, что было бы на Земле, не будь на ней океана. Ясно только, что человек на ней просуществовать не мог бы. Столь же велика роль океана и в изменении климата.

Кстати, здесь уместно остановиться на разнице в понятиях «погода» и «климат». Погода изменяется день за днем, месяц за месяцем. Среднюю погоду за много лет называют климатом. Когда говорят, скажем, о потеплении климата, то это значит, что погода за последние 20—30 лет стала в среднем более теплой, чем за предыдущий такой же интервал времени. Каким нужно выбирать интервал усреднения — точно не определено. Некоторые ученые

даже изменение погоды от одного года к другому называют изменением климата. Таким образом, мы видим, что однозначности в определении термина «климат» не существует.

Итак, о роли океана, вернее, различных процессов, протекающих в нем, как своеобразной кухне погоды. Одним из наиболее известных фактов в этой области являются так называемые южные осцилляции, замеченные впервые английским метеорологом Г. Болкером. Оказывается, что в те годы, когда атмосферное давление над северной и западной Австралией оказывается в среднем повышенным, на другом краю южной части Тихого океана, у берегов Южной Америки, оно низкое, и наоборот. Было показано далее, что эта разница в атмосферном давлении тесно связана с температурой и уровнем океана на островах Южной Пацифики.

С южными осцилляциями связано появление у берегов Эквадора, Перу и Чили явления Эль-Ниньо. Дело в том, что у этих берегов, как правило, наблюдается так называемый апвеллинг, т. е. поднятие к поверхности глубинных холодных вод. Благодаря холодным водам, богатым питательными веществами, в воде расцветает жизнь. Отсюда и богатейшие уловы рыбы. Явление Эль-Ниньо заключается в том, что время от времени (раз в четыре — семь лет) на эти воды натекают малопродуктивные теплые тропические воды и жизнь сразу замирает. Иногда повышение температуры у берегов Перу достигает 11°C , что обращается истинным бедствием для прибрежных стран.

Во-первых, катастрофически падает рыбный улов, а во-вторых, исчезают птицы, кормящиеся рыбой и дающие гуано — богатое удобрение для полей. За бедой в Южной Америке обычно следует катастрофическое бедствие в Индии, поскольку при этом резко падает количество связанных с муссоном дождей.

Имеются и другие факты, связывающие погоду в различных областях планеты с состоянием Мирового океана. Так, например, с повышенной температурой поверхностных вод в тропической Атлантике обычно оказываются связаны засухи и в северо-восточной Бразилии. Аналогичным образом засухи в Китае связаны с аномально теплыми водами западной части тропиков Тихого океана.

Все это, разумеется, частные случаи. Однако существуют глобальные явления, благодаря которым океан оказы-

вает существенное влияние на погоду и соответственно на климат.

Как известно, сравнительно небольшой составной частью атмосферы Земли является углекислый газ. Со временем его количество медленно, но непрерывно повышается, что происходит по нескольким причинам. Наша энергетика базируется в основном на сжигании минерального сырья — нефти, газа и угля. При таком сжигании производится углекислый газ. Углекислый газ в больших количествах выбрасывается в атмосферу также при извержении вулканов. Углекислый газ употребляется растениями при фотосинтезе. Однако это потребление непрерывно уменьшается ввиду уменьшения количества лесов на Земле. И это тоже ведет к повышению содержания CO_2 в атмосфере.

В атмосфере в настоящее время находится 700 млрд. т углерода в виде углекислого газа. Он создает так называемый парниковый эффект, ведущий к дополнительному подогреванию атмосферы. Механизм этого подогрева таков. Энергия падающих на Землю солнечных лучей, заключенная в основном в видимой и ультрафиолетовой частях спектра, за вычетом небольшой отраженной части поглощается поверхностью нашей планеты и нагревает ее. Эта энергия затем в виде уже инфракрасного излучения переизлучается поверхностью обратно в атмосферу и почти полностью поглощается ею благодаря наличию в ней углекислого газа и некоторых других малых газовых примесей (спектральные линии поглощения углекислого газа как раз лежат в инфракрасной области). Аналогичный эффект происходит в застекленных парниках, где покровное стекло также пропускает световую энергию и не выпускает обратно инфракрасное излучение.

Таким образом, повышение количества углекислого газа в атмосфере ведет к потеплению климата.

Чтобы надежно определить скорость возрастания CO_2 в атмосфере, необходимо производить многолетние систематические наблюдения в районах, удаленных от промышленной деятельности человека, чтобы избавиться от случайных повышений концентрации CO_2 , а регистрировать только ту часть газа, которая уже распространилась почти равномерно по всей атмосфере Земли. Наблюдения за содержанием CO_2 в атмосфере начаты в 1958 г. в период Международного геофизического года и проводятся непрерывно до сих пор на горе Мауна-Лоа на Гавайях и на Юж-

ном полюсе. В обоих случаях зафиксирован непрерывный от года к году рост концентрации CO_2 . За двадцать лет (1958—1978 гг.) она выросла примерно на 6% и составляет теперь около 0,34 мг/л воздуха.

Подсчет сожженного за этот период ископаемого топлива с учетом поглощения углекислого газа растениями на суше показывает, что концентрация CO_2 должна была бы увеличиться за это время в 2 раза больше, чем это оказалось в действительности. Куда же делась половина углекислого газа? Разгадка проста — он был поглощен океаном. Вот почему я говорил о глобальном характере влияния океана на погоду и климат!

В водах океана в виде CO_2 находится примерно в 50 раз больше углерода, чем в атмосфере. Еще во много раз больше его находится в морских осадках. Таким образом, углекислый газ непрерывно поступает из атмосферы в воды океанов, а оттуда в донные осадки. Это существенно понижает концентрацию CO_2 в атмосфере, а следовательно, уменьшает парниковый эффект.

Расчеты показывают, что при учете этой роли океана, а также увеличения загрязнения атмосферы аэрозолями, несколько понижающего количество солнечной радиации, достигающей Земли, заметного глобального потепления атмосферы (1—2° С) можно ожидать лишь к концу нашего столетия. Увеличение концентрации CO_2 вдвое, что по прогнозам может произойти к середине следующего столетия, повышает среднюю глобальную температуру атмосферы на 2,8° С. Это уже очень существенная величина, приводящая к очень сильным климатическим изменениям на Земле. В тропических районах повышение температуры будет меньше, в полярных больше (до 7° С). Некоторые ученые считают, что не исключена возможность, что полярные льды Антарктиды, Гренландии и Северного Ледовитого океана будут растоплены.

Процесс может усиливаться из-за того, что существует механизм положительной обратной связи между количеством льда на планете и ее потеплением. Он заключается в следующем. Повышение температуры атмосферы приводит к уменьшению площади полярных льдов. Это понижает альбедо (отражательную способность) планеты и повышает долю поглощаемой ею солнечной энергии, что, в свою очередь, приведет к дополнительному повышению глобальной температуры атмосферы, и так далее.

Будем надеяться, что этот природный механизм будет **блокирован** рядом других неучтенных нами (климатические расчеты пока еще очень ненадежны) факторов. Если же этого не случится, то таяние льдов на нашей планете приведет к повышению уровня океана на 130 м, т. е. большая часть суши и городов на ней будут затоплены.

Изучение океана, вернее, толщи его донных осадков позволяет также определить, каков был климат Земли в давно прошедшие времена, и довольно точно установить последовательность ледниковых эпох на нашей планете.

Ученые обнаружили, что отношение изотопов ^{18}O и ^{16}O в панцирях морских животных несколько выше, чем это же отношение в морской воде. Существенным оказалось, что это отношение увеличивается при понижении температуры. Таким образом, измеряя это отношение в панцирях умерших животных, **отложившихся** затем в морских осадках и находящихся теперь на различной глубине в толще дна, можно определять температуру, при какой жили когда-то заключенные в этих панцирях организмы. Время, когда жили эти организмы, хорошо известно, потому что ученые давно однозначно связали виды организмов и времена их существования. Таким образом, удастся восстановить температуру поверхности океана за почти миллион последних лет. Выявляется впечатляющая картина ледниковых циклов, которые оказались совпадающими с циклами **изменения параметров земной орбиты**. И это неудивительно. Например, изменения наклона земной оси по отношению к плоскости орбиты Земли (период этих изменений 41 тыс. лет) определенно влияют на климат. Когда земная ось приближается к нормали к орбите, полярные **районы** получают меньше солнечной энергии. Наименьший период изменения параметров земной орбиты — 19 тыс. лет — связан с **прецессией орбиты**.

Ценность результатов, полученных океанологами при исследовании морских осадков, увеличивается еще и потому, что их невозможно было получить, исследуя отложения на континентах. Дело в том, что на суше при наступлении очередного ледникового периода старые отложения почти полностью уничтожались при передвижке и нарастании льдов. В дне океана отложения спокойно сохранялись миллионы лет.

Увеличение массы ледников при наступлении очередного ледникового периода происходит за счет прихода в

них воды, испаряющейся с поверхности океана. Поэтому уровень океана при этом падает. В максимуме понижения температуры в период последнего Великого оледенения (около 18 тыс. лет тому назад) уровень океана был примерно на 100 м ниже, чем сейчас.

Заметим, что средняя температура земной поверхности в ледниковый период была меньше современной всего на $3,5^{\circ}\text{C}$. Правда, это для умеренных широт. В полярных районах температура понижалась несколько больше.

Наблюдения за уровнем океана за последние 100 лет показывают, что за это время происходит его подъем в среднем на 2 мм в год. Таким образом, масса ледников несколько уменьшается. И соответственно повышается температура.

Из этих больших и малых примеров ясно, что океан самым активным образом воздействует и на погоду, и на изменение климата всей Земли.

1.3. Наш кормилец?

Население нашей планеты неуклонно растет. Сейчас оно составляет около 4,5 млрд. Через 40 лет ожидается его удвоение, а к середине следующего столетия (довольно скоро!) на Земле будут жить примерно 11 млрд. человек.

Уже сейчас значительная часть населения планеты питается неполноценно или просто голодает. Откуда человек возьмет пищу в будущем, когда население столь стремительно вырастет? Каково будет значение пищевых ресурсов океана? Сейчас роль океана как кормильца человечества достаточно скромная. В год в среднем вылавливается немногим более 75 млн. т морепродуктов (в основном рыбы). Из них 25—30 млн. т перерабатывается в кормовую муку для животных, так что человек непосредственно употребляет 40—50 млн. т, что составляет около 1% всего продовольствия, производимого на планете.

Правда, если говорить о количестве животных белков, оказывающихся на столе у человека, то все-таки около 20% их морского происхождения.

Вся цепь жизни как на суше, так и в море начинается с растений (в море это в основном фитопланктон), они появляются в процессе фотосинтеза, когда ассимилируются солнечная энергия, вода и углекислый газ и выделяется кислород. Это так называемая первичная биологическая

продукция, причем по масштабам ее многие районы Мирового океана не уступают самым плодородным участкам суши: так, в европейском лесу создается в год 225 т углерода на квадратном километре; на хорошем поле с посевами зерновых — 862 т, а в таком районе Западной Атлантики, как банка Джорджес, — 560 т³.

К сожалению, такого рода продуктивные районы занимают всего лишь 15—20% площади Мирового океана. Около 60% его акватории по биологической продуктивности может быть сравнено с пустынями суши. И все равно первичная биологическая продукция океана огромна. По приблизительным подсчетам в океане ежегодно производится 1200 млрд. т фитопланктона. Изымаем же мы, как уже было сказано, всего лишь около 75 млн. т пищевых ресурсов, главным образом в виде рыбы. Почему так? Неблагоприятным обстоятельством здесь является то, что между фитопланктоном и рыбой, которая попадает к нам на стол, существует многозвенная цепь. Фитопланктоном питаются зоопланктон, зоопланктон поглощает мелкая рыбешка, мелкая рыба — основа питания крупной, которую мы и вылавливаем. При переходе от одного звена в этой цепи, или, как говорят, от одного трофического уровня к другому, действует закон «1:10». 1000 кг фитопланктона обеспечивают рост 100 кг зоопланктона, последний дает 10 кг мелкой рыбы, на этом количестве мелкой рыбы нагуливается 1 кг промысловой рыбы.

На суше дело обстоит гораздо благоприятнее. Человек сразу потребляет большое количество первичной растительной продукции. Другая часть ее идет на корм скоту, мясо которого опять-таки попадает человеку на стол. Таким образом, низкая эффективность океана как нашего кормильца объясняется большой длиной пищевой цепи. В самом же океане имеются примеры, когда сокращение этой цепи на одно-два звена сразу поразительным образом повышает биологическую продуктивность. Перуанский анчоус имеет перед другими промысловыми рыбами то преимущество, что он питается непосредственно фитопланктоном. А так как благодаря апвеллингу у берегов Перу, Эквадора и Чили фитопланктона производится много, то промысел перуанского анчоуса оказывается чрез-

³ Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнаус Дж., Туреклиан К. Океан сам по себе и для нас. М.: Прогресс, 1982. С. 220.

вычайно эффективным. На акватории, составляющей лишь доли процента от акватории Мирового океана, в 1980 г., например, было выловлено 5 млн. т этой рыбы, т. е. примерно $1/15$ часть мирового улова. Правда, анчоус используется в основном для производства пищевой муки для скота, но все-таки это в конечном счете дает существенное подспорье к пищевому рациону человека.

Наиболее эффективный способ повышения роли океана как нашего кормильца — укоротить пищевую цепь от первичной биологической продукции до нашего стола. Для этого есть ряд путей.

Один из них, уже апробированный человечеством, — изымать из океана не только рыбу, но и зоопланктон, содержащий много белка. Общеизвестный антарктический криль — небольшая креветка, которой раньше кормилось лишь большое стадо антарктических китов, уже пошла в пищу. Питательность зоопланктона несомненна, получаемый из криля белок содержит много ценных аминокислот и в известном смысле является даже лечебным средством. Для населения целого ряда стран и отдельных регионов, где белковая недостаточность грозит здоровью и даже жизни многих миллионов людей, пища из зоопланктона может стать поистине спасительным средством. Конечно, на первых порах подобные продукты будут непривычными, но мало ли примеров в истории человечества, когда пищевые новшества поначалу вызывали активную неприязнь, а сейчас эти продукты, например крабы, считаются деликатесами. Да и к новым сортам рыбы, не говоря уже о такой экзотике, как трепанги, надо привыкать.

Так что тут свое слово должны сказать кулинары, их дело создать из столь полезного белкового сырья пищу, приятную для потребления. Ведь мы уже приняли из этой кладовой океанской природы в свой рацион и мясо кальмаров, и многое другое, что еще недавно считалось экзотикой. Инженеры должны создать промышленную технологию переработки этих продуктов.

Другой путь укорочения пищевой цепи заключается в том, чтобы выращивать в прибрежных зонах водоросли, которые затем будут использоваться на корм скоту. Подобные плантации уже существуют. В открытых водах вблизи Калифорнии разведены гигантские водоросли, которые вырастают ежедневно на 30—60 см и являются прекрасным кормом для коз, овец и других домашних живот-

ных. Жак Ив Кусто видит в этом основной путь использования океана для повышения количества белковой пищи, потребляемой человеком⁴.

В наши дни рыболовные флоты прилагают огромные усилия для того, чтобы хоть сколько-нибудь увеличить вылов традиционного морепродукта — рыбы. В этом направлении есть ряд возможностей. Во-первых, рыбный промысел в открытом океане (до сего времени основная часть рыбы вылавливалась в прибрежных зонах), где наблюдаются явления, аналогичные (хотя, возможно, и не такие сильные) перуанскому апвеллингу. Например, в так называемых синоптических вихрях открытого океана вращение воды связано с вертикальным их перемещением — опусканием или поднятием. В тех случаях, когда вода поднимается, там расцветает морская жизнь, как всегда начинающаяся с первичной продукции, что можно зафиксировать даже с космических аппаратов.

В открытом океане имеются и мелководные районы. Это так называемые подводные возвышенности, образующие своеобразные «банки». Такова, например, банка Грейт-Метеор в Атлантике (площадь около тысячи квадратных километров и средними глубинами 280—300 м) и др. Над этими мелководьями также развивается богатая жизнь.

Наконец, технические средства современных рыболовных флотов позволяют вылавливать рыбу с больших глубин — до 1—2 км, что раньше было технически невозможно и экономически невыгодно. В 1980 г., например, доля вылова пелагических рыб (ставридовые и скумбриевые виды) с таких глубин составила 12%⁵.

К сожалению, за последнее время мало изменился объем вылова беспозвоночных (моллюски, ракообразные), но все же они составляют заметную часть (около 9 млн. т в год) общего поступления биопродуктов из океана. Водорослей добывается более 3 млн. т в год.

Существенного увеличения биопродуктивности океана можно достичь, используя рекомендации морской биологии — теперь хорошо развитой науки — для определения места лова и допустимого количества вылова. Катастрофический вред перелова виден из истории лова антарктических китов. К 1930 г. добыча голубых китов достигла 30 тыс.

⁴ Nat. Geogr. 1981. Vol. 160, N 6. P. 780.

⁵ Моисеев П. А. Проблемы освоения ресурсов Мирового океана. М.: Знание, 1983. С. 16.

особей в год. Хотя при этом появились явные признаки сокращения популяции, промысел продолжался так же интенсивно. Действия образованной в 1948 г. Международной китобойной комиссии, пытавшейся установить более или менее разумные квоты вылова, успеха не имели. В результате поголовье китов резко сократилось, и в 1960 г. было выловлено всего несколько тысяч особей, а потом они практически исчезли. В 50—60-е годы промысел переключился на более мелких финвалов. И все-таки к 1965 г. промысел и этих китов стал неэффективен.

Все это привело к тому, что в настоящее время в небольшом количестве добываются только мелкие киты. Если бы в свое время соблюдались научно обоснованные нормы лова, то сейчас китобойные флотилии имели бы вполне стабильную добычу антарктических китов порядка 15—20 тыс. в год.

Аналогичная история произошла с перуанским анчосум. В 1957 г. вылов составлял всего несколько сотен тысяч тонн в год, но быстро рос и к 1972 г. достиг 12 млн. т. В результате перелова и, возможно, действия очередного Эль-Ниньо в 1973 г. улов упал до 2 млн. т, что вызвало значительные экономические последствия. В частности, в США поднялись цены на продовольственные товары, так как из-за нехватки рыбной муки для корма скота в ход пошли другие, более дорогие корма.

Столь же значительны были последствия хищнического вылова трески и сельди. Итак, хищничество приносит большой вред. Однако не всем известно, что для увеличения популяций рыб полезно не допускать также и недолова. Дело в том, что рыба, достигшая зрелого возраста (для тунца это, например, три года), в дальнейшем растет уже очень медленно, но потребляет пищу (в данном случае более мелких рыб) примерно в прежнем размере. Вылов тунцов в этом и более старшем возрасте, кроме добавки к промыслу, дал бы возможность использовать высвободившиеся резервы питания для более молодых, все еще быстро растущих особей.

Таким образом, научное регулирование промысла различных пород рыб могло бы существенно увеличить их добычу.

Существует еще один путь увеличения биопродуктивности океана, связанный с вековыми традициями развития человечества, — культурное разведение водорослей и

живых морских организмов в прибрежных зонах. На этот оригинальный «промысел» давно уже обратили свое внимание фантасты. По крайней мере на моей памяти появилось несколько произведений, посвященных жизни подводных фермеров. Пример тому — ранний роман нашего замечательного писателя А. Беляева «Подводные земледельцы». Правда, сама по себе эта мысль отнюдь не нова, если отвлечься от того, что герои романа много времени проводят под водой. Практические примеры восходят к седой древности. Выращиванием карпов в прудах занимались в Китае чуть ли не за 2000 лет до нашей эры. Аналогичные «плантации» заводили европейские феодалы в средние века, причем кое-где подобные рыбные заводы сохранились и в наше время. В Древнем Риме разводили устриц и некоторые наиболее дорогие сорта морских рыб. Именно морских, так как известно, что бассейн, где содержались или разводились рыбы, наполнялся морской водой.

Но все это были лишь мелкие, отдельные примеры. Теперь настало время перевести аквакультуру на сугубо промышленные рельсы, если действительно ставится задача всерьез увеличить пищевые ресурсы. Подобным путем человечество уже шло. Вспомним историю. Первобытные люди занимались когда-то лишь охотой да сбором дикорастущих растений. Громадный скачок чисто качественно характера произошел, когда появились домашние животные и культурное земледелие. При этом человек стал вести оседлый образ жизни со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Видимо, такая же метаморфоза ожидает и промысел океанский, когда из «охотников» и «сборщиков» того, что нам приготовила природа, мы превратимся в морских земледельцев.

Трудностей тут чрезвычайно много, тем более что процесс этот требует большой мобильности. Мы не можем, как наши предки, потратить на такого рода переход сотни или тысячи лет.

В начале века ученые ряда технически развитых стран — в их числе были биологи США, Англии, Франции, — и главным образом государств, для которых рыболовство составляет чуть ли не основную статью дохода: Дании и Норвегии, пытались разработать научно-технические основы целенаправленного рыбозаведения. Первый «блин», как и положено, выпел комом, хотя идея

была многообещающей. Предполагалось разводить в некоторых специально отобранных и изолированных от моря бухтах наиболее ценные сорта рыбы, которую туда расселяли, надеясь на акклиматизацию, создавали искусственную подкормку и т. д.

Ничего из этого тогда не вышло. Например, в одной бухте в Шотландии, свободно сообщаемой с морем, путем внесения в воду удобрения удалось существенно повысить темпы роста камбалы, но как только рыбы становились взрослыми, они уплывали в открытое море.

Сейчас вновь делаются уже вполне успешные попытки такого же рода. Однако трудности остаются. В чем они заключаются?

Дело в том, что в естественных условиях везде существуют пищевые цепи, о которых я только что говорил. Рыба, которую мы ловим в океане, питается зоопланктоном или другими рыбами, зоопланктон поедает фитопланктон.

Таким образом, пища для всех видов морских животных получается естественной. Как быть в условиях рыбного хозяйства? Можно, конечно, воспользоваться искусственными кормами. Это уже делается. Однако гораздо лучше восстановить естественную пищевую цепь. Но как это осуществить? Известно, например, что некоторые сорта рыб, по мере того как из молодняка вырастает взрослая рыба, несколько раз меняют род потребляемой пищи.

Проблем тут много. Все не так просто, как кажется с первого взгляда, когда сравнивают подобные хозяйства с обычными птичьими или животноводческими фермами.

Но как бы то ни было, дело сдвинулось с места и в целом ряде стран организованы искусственные промыслы для разведения и добычи рыб. В 1980 г. так называемая мариккультура дала 8,7 млн. т. биологической продукции, или 12% всего рыбного промысла. В СССР успешно разводят некоторые сорта лососевых рыб и расселяют их в новых районах. Проводятся и довольно остроумные эксперименты. В Каспийском море расселили один из видов морских червей. Сами по себе черви не шли, конечно, в пищу людям, зато оказались по вкусу осетрам, способствуя тем самым восстановлению запасов этой замечательной рыбы.

Итак, биологическую «отдачу» океана можно существенно повысить. Но чтобы приступить к решению этой

проблемы достаточно ответственно, надо собрать подробнейшие данные о биологической структуре океана, о взаимодействии различных организмов, об условиях их существования, знать хорошо химические и физические процессы, происходящие в океане, ибо все там взаимосвязано.

В доказательство приведу один пример. В полярных областях только примерно через два месяца после наступления максимума солнечного облучения отмечается наибольшая скорость размножения фитопланктона — основы для жизни всех обитателей океана. Почему такая задержка во времени? Влияют чисто физические факторы. Фитопланктон быстрее растет, когда воды верхнего слоя океана перестают перемешиваться с более глубокими. Это имеет место при прогреве верхних слоев воды, т. е. при создании устойчивой стратификации воды. Такая картина наблюдается как раз через два месяца после того, как достигнут максимум солнечной активности.

Все это вполне убедительно показывает, что настала пора создать полноценную теорию биологического сообщества всего Мирового океана или по крайней мере его отдельных регионов с учетом всех условий существования, в том числе физических. Лишь после появления подобной теории, с применением методов системного анализа мы сможем наиболее эффективно использовать ресурсы океана, не подрывая основ его существования.

А делать это совершенно необходимо, ибо этого требуют интересы человечества, которое не случайно считает океан одним из своих надежных кормильцев.

Жизнь когда-то вышла из океана.

Океан должен поддерживать ее существование, отдавать для этого все свои ресурсы!

И давайте, учитывая будущее, снимем знак вопроса, поставленный в заголовке этого раздела. Он был поставлен только из-за того, что в настоящее время роль океана как нашего кормильца пока еще скромная.

1.4. Эльдorado Мирового океана

С самого начала я должен извиниться перед читателем за несколько пестрый состав этого раздела. Тут будет и химия, и геохимия, и геология. Ну что делать, раз речь идет о минеральных ресурсах Мирового океана, о хими-

ческих элементах и различных солях, о драгоценных во всех отношениях водах, о богатствах толщи океана и его дна. Недаром океан называют истинным кладезем богатств.

Для того чтобы обнаружить эти богатства, не надо даже опускаться под воду, углубляться в дно океана. Достаточно просто выпарить морскую воду. Примерно 3,5% (35 кг от каждой тонны) составляют твердые вещества, причем содержится в морской воде большинство элементов таблицы Менделеева (около 70), разумеется, в разных концентрациях — одних меньше, других больше. Основные 11 элементов — их стоит перечислить — составляют по массе 99,98% от общего количества всех солей, растворенных в океане. Это прежде всего хлор (19 г/л), его больше всего в виде хлоридов, далее натрий (11 г/л), сера в различных соединениях (3 г/л), магний (1,3 г/л), кальций (0,4 г/л), калий (0,4 г/л) и, наконец, соединения углерода, стронция, брома, фтора и бора.

Кроме того, в воде растворены органические и биогенные вещества — остатки морских организмов и газы, их немало. Тут кислород — без него будет трудно многим подводным обитателям океана, азот, сероводород — это хорошо известно обитателям Черного моря, которые не могут спускаться ниже 200 м из-за большой концентрации сероводорода и отсутствия кислорода. Имеются углеводороды, инертные газы, в частности аргон.

Интересно отметить любопытный факт — для всего Мирового океана, для всех его заливов и морей относительное содержание основных солей в воде строго постоянно. Вода может быть очень соленой, как, скажем, в Мексиканском заливе, распресненной у поверхности в полярных районах вследствие таяния льдов или совсем малосоленой, как в Балтийском море, но соотношение химических элементов в ней по отношению друг к другу будет одним и тем же.

Истинным богатством нашей планеты является сама вода. Я имею в виду пресную воду — продукт, который становится все более и более дефицитным. Так, по последним данным ООН, от употребления воды плохого качества во всем мире ежегодно заболевают 0,5 млрд. человек, т. е. каждый девятый житель Земли. Поэтому не случайно пресную воду называют самым важным сырьем Мирового океана.

Хотя нехватка питьевой воды и воды для нужд промышленности стала проблемой лишь в середине XX в., опреснением морской воды занимались еще в глубокой древности.

Человек давным-давно устремился в океан. Мореплаватели древности должны были думать о том, как получать пресную воду, находясь вдали от берега в бескрайних просторах морей и океанов. Ведь с собой всего не возьмешь! Археологические исследования показали, что своеобразные технические установки для этого существовали много столетий тому назад. Так, древнегреческие мореплаватели держали на своих судах специальные ящики с песком. Заливали в ящики морскую воду, которая постепенно, проходя песок слой за слоем, освобождалась от солей и становилась пригодной для питья. Конечно, особенно чистой она не была, но пить такую воду было можно.

Жители северных районов земного шара издавна пользовались своего рода естественным опреснителем, употребляя в пищу воду, которую они получали, растапливая верхние слои морского льда. При замерзании большая часть солей морской воды остается в растворе, а лед таким образом становится более пресным, чем вода.

Сейчас опреснение поставлено на промышленные рельсы. Операция не такая дешевая, как хотелось бы, но для ряда стран это единственный способ снабдить население и промышленность пресной водой.

Применяются химические реакции, в результате которых происходит полное или неполное удаление из воды примесей. Соленую воду с той же целью пропускают через фильтры. Наконец, можно произвести обычное испарение с последующей конденсацией. Так получают дистиллят, т. е. воду, очищенную от всех примесей. Аналогичный метод применяется и для снабжения населения питьевой водой, но тогда дистиллят специально разбавляют различными строго дозированными солями.

Наша страна обладает одной из самых совершенных в мире установок по опреснению воды, которой снабжается г. Шевченко, расположенный на побережье Каспийского моря вдали от источников пресной воды. Эта уникальная установка — ядерный реактор на быстрых нейтронах, где на месте «сгоревшего» топлива появляется новое, снабжает энергией промышленные предприятия

города. Кроме того, она дает в сутки 100 тыс. м³ опресненной воды.

Однако опреснение отнюдь не единственный метод, не единственная возможность получения пригодной для питья воды из Мирового океана. На его континентальном шельфе, т. е. в областях материковой отмели, часто обнаруживают донные источники пресной воды. Один из них, расположенный у северных берегов Франции, вблизи Нормандии, дает такое количество воды, что его с полным основанием называют подземной рекой.

Мы говорили о том, что, когда морская соленая вода вымерзает, большая часть растворенных в ней солей остается в растворе, а лед оказывается значительно менее соленым. Но существуют громадные глыбы льда, плавающие в океане, где вообще не содержится примесей. Это глыбы, оторвавшиеся от ледников Антарктиды и Гренландии, сползшие в море и начавшие там самостоятельную жизнь.

Знаменитые айсберги, столь колоритно украшающие пейзаж полярных широт земного шара и создающие порой серьезную угрозу для кораблей (вспомните, например, гибель «Титаника»), в то же время представляют собой своего рода кладовые чистой пресной воды.

Раз имеется «кладовая», надо попытаться ее «открыть». И вот уже появились смелые и вполне реальные, а не фантастические проекты транспортировки и использования айсбергов как источников пресной воды. Подсчитано, что вполне рентабельно буксировать айсберг объемом 250 млн. м³ — такие айсберги встречаются часто — из Антарктиды к берегам Южной Америки или Африки, в зону Персидского залива, где ощущается острая нехватка пресной воды. Даже если за время такого путешествия ледяной гигант изрядно «похудеет», потеряв более 80% своей массы, это вполне оправдано экономически. Заметим, кстати, что объем такого ледового айсберга немногим меньше «дозы» морской воды, которая приходится на каждого жителя Земли.

Это, конечно, очень романтично, но надо все-таки полагать, что опреснять морскую воду люди будут с помощью современных технических устройств, которые сооружаются сейчас во многих странах мира. Сейчас во всем мире разрабатываются проекты крупнейших опреснителей, которые будут обладать производительностью до 1 млн. м³ пресной воды в сутки.

Эти цифры не гигантомания, а результат строгого экономического расчета. Возможность снижения себестоимости опресненной воды — а она пока еще достаточно велика — заключается как раз в резком увеличении мощности заводов-опреснителей. Ясно, насколько важны такие комплексы для районов, отдаленных от ресурсов питьевой воды и обладающих большими минеральными ресурсами. И опять-таки вполне естественно, что в таких случаях надо обратиться к помощи ядерной энергии — самой компактной, самой удобной, самой универсальной.

Однако мне больше нравится комплексное решение типа того, которое было предложено американскими учеными для о-ва Санта-Крус из группы Виргинских островов. Остров расположен в зоне влажных пассатных ветров. Ветер в этой системе используется для получения энергии, с помощью которой холодная вода с глубины 1 км поднимается наверх и охлаждает трубы конденсатора, через который проходит влажный воздух и дает конденсат, т. е. необходимую пресную воду. Поднятая с глубины морская вода богата питательными веществами, и после использования в конденсаторе ее можно сбрасывать в лагуны и создавать там марикультурные хозяйства. Охлажденный воздух с пониженной влажностью будет при этом использоваться для кондиционеров в жилых помещениях — ведь речь идет о тропических странах.

При опреснении воды всевозможные примеси считаются вредным балластом, от которого необходимо избавиться. В этом, собственно говоря, и состоит процесс опреснения. Но мы уже с вами знаем, какие богатства содержатся среди этих примесей.

Океан — настоящая кладовая полезных веществ, но как их оттуда добыть — вот в чем вопрос!

Известно, например, что в каждом кубическом километре океанской воды растворено примерно 4,7 кг золота, а во всем океане — примерно по 2 кг на каждого жителя планеты. Заманчиво было бы достать хоть малую его толику. Современная наука обеспечила технику разнообразной технологией. Можно добывать из морской воды любой из компонентов, входящих в состав растворенных солей. Но, увы, это чаще всего невыгодно.

Подобные опыты давно уже были сделаны с золотом. В 20-е годы побежденная в первой мировой войне Германия задыхалась в тисках экономического кризиса. В стра-

не катастрофически не хватало золота, нечем было платить военные долги. Вот тогда и вспомнили о золотом Эльдорадо вод океана. Этим занялся известный немецкий химик Ф. Габер. Он попробовал наладить выделение золота из морской воды.

Океанографическое судно «Метеор» ушло в океан с задачей наладить добычу золота из морской воды. Предприятие оказалось на редкость убыточным, и в результате сложного и дорогостоящего технологического процесса из 15 т воды было извлечено всего лишь 0,05 мг золота! С тех пор идея была надолго похоронена. Конечно, нельзя предсказать, что будет через десяток лет, но пока что никто не заикается о подобном проекте. Пример этот характерен еще и тем, что свидетельствует о необходимости весьма критического отношения к любым сообщениям о минеральных или иных ресурсах. Сами по себе внушительные цифры — миллионы тонн золота!!! — еще ничего не говорят. Допустим, завтра ученые обнаружат, что почва одного из районов Луны состоит из чистого золота. Ну и что? Добыча его с помощью самой современной космической техники все равно обойдется значительно дороже самого золота.

Возвращаясь снова к океану, необходимо заметить, что близкой перспективой может оказаться добыча урана из морской воды, которого там примерно в 700 раз больше, чем золота. Значение его известно.

Но все же пока основной продукт морской воды, кроме, разумеется, пресной воды, — поваренная соль. Стоит отметить, что почти третью часть мировой добычи поваренной соли получают элементарным, а потому и древнейшим методом, известным со времен Греции и Рима. Соль была продуктом недешевым, поэтому в целом ряде стран средневековья даже существовала государственная монополия на поваренную соль, а отдельных лиц, занимающихся этим промыслом нелегально, преследовали чуть ли не наряду с фальшивомонетчиками.

Получали соль с помощью незатейливой операции выпаривания. Конечно, при такой примитивной технологии соль получается не самого лучшего качества, зато достаточно дешевая. Сейчас эти «примитивные» методы усовершенствованы, но в основе лежит все то же испарение.

Кроме поваренной соли, освоена добыча из морской воды брома, магния и небольших количеств калия.

Уникален бром, так как он добывается исключительно из морской воды, где растворено почти 99% всего мирового запаса этого весьма важного сейчас элемента. Он используется при производстве целого ряда синтетических продуктов, в медицине, фотографии и т. д.

Магний из морской воды обходится даже дешевле, чем металл, полученный из обычных земных руд. Любопытную технологию разработала одна американская фирма. Кроме морской воды, в качестве сырья используются измельченные устричные раковины, содержащие большое количество магния, когда-то, в свою очередь, позаимствованного устрицами из морской воды.

Морская вода имеет еще один важный потенциальный ресурс, который в далеком будущем, возможно, вообще снимет с человечества заботы об обеспечении энергией. Это дейтерий (водород с атомной массой 2) — топливо для термоядерных установок. Запасы его в океане практически неисчерпаемы, так как на каждые 5000 атомов обычного водорода там имеется один атом дейтерия — тяжелого водорода.

После того как мы «исчерпали», мысленно конечно, богатства морской воды, перейдем под воду.

Громадные залежи полезных ископаемых находятся на поверхности дна Мирового океана и в его толще. На прибрежном шельфе, порой в нескольких десятках метров от берега, располагаются самые легкие для добычи прибрежные россыпи.

Океан прихотлив и непостоянен. Столько раз в течение веков менял он свои очертания, столько раз менялись русла рек, впадающих в моря и океаны. Вода то затопляла сушу, завоевывая часть ее, то, наоборот, отступала, освобождая свое дно. Всякое бывало. И как свидетельство былых страстей располагаются на суше остатки древних жителей океана, а на континентальном шельфе практически повсеместно встречаются и русла рек, которые текли много тысячелетий тому назад по равнинам, ставшим теперь морским дном, и большие площади песка — остатки бывших речных пляжей. Эти реки несли когда-то в море множество осадочных пород, в том числе и минеральное сырье. Так родились многочисленные прибрежные россыпи золота, платины, а также различных ценных веществ. Не надо думать, что россыпи, обязанные своим происхождением выносу речных вод, всегда находятся

около самого берега. Бывает, что они переносятся водой за сотни километров от устья рек.

Надо сказать, что чаще всего прибрежные россыпи содержат сокровища в самом прямом смысле этого слова, поскольку речь идет о драгоценных камнях. Алмазы, и притом в больших количествах, рубины, сапфиры, изумруды — вот основные представители драгоценного «населения» континентального шельфа. На юго-западном побережье Африки давно успешно эксплуатируются алмазные пески. Средний выход алмазов здесь в несколько раз выше, чем на южноафриканских месторождениях на суше.

30% платины в США в настоящее время извлекают из моря. На шельфе найдены и залежи каменного угля (Япония получает из-под воды почти треть всей своей годовой добычи). Истощение запасов оловянных руд на суше повышает интерес к олову, извлекаемому из прибрежных россыпей, которое и обходится к тому же в несколько раз дешевле, чем добытое на суше. В Индонезии так получают около половины, а в Таиланде — 95% всего олова.

Большое значение приобретают сейчас и прибрежные россыпи тяжелых минералов, поскольку именно оттуда добывается большая доля веществ, которые являются важным стратегическим сырьем. Это монациты, содержащие торий, циркон, включающий тяжелый металл цирконий, который входит в целый ряд конструктивных сплавов. Кстати, свое название цирконий получил как раз от минерала циркона. Последний также содержит другой, крайне важный в ядерной энергетике, электронной технике и в производстве жаропрочных и тугоплавких сплавов для авиации и ракетной техники серебристо-белый металл гафний. Наконец, ильменит и рутил — минералы, из которых добывается титан — важнейший конструктивный элемент всей современной техники.

В этой «коробочке», таким образом, есть все, что нужно человеку. Позаботилась природа и об удовлетворении нужд сельского хозяйства. На шельфе и частично на материковом склоне расположены большие запасы фосфоритов — основы будущих фосфатных удобрений. Фосфатный камень, иногда называемый также фосфоритовыми конкрециями, образуется из остатков животных организмов, сохранившихся в твердых породах и рыхлых отложе-

ниях. Подсчитано, что если использовать для удобрений лишь океанские фосфориты, то их запасов (30 млрд. т, причем в расчет берутся только фосфориты шельфа) хватит человечеству на ближайшие несколько сотен лет.

Но, пожалуй, самый интересный и заманчивый для использования вид сырья — знаменитые железомарганцевые конкреции (своего рода «коктейль» из различных металлов), которыми покрыты громадные по площади подводные равнины на глубинах 4—5 км. Впервые конкреции были обнаружены участниками знаменитой английской экспедиции на корабле «Челленджер» в 1873 г. Драги корабля подняли тогда на борт странные образования округлой формы, где воедино слились окислы многих металлов. Поскольку больше всего там оказалось железа и марганца, то их называли железомарганцевыми. Они нарастают на дне океана, в местах, где мала скорость осадконакопления (иначе осадки накрывают зародыши конкреций и их рост прекращается). Они черного или бурого цвета, напоминают по форме и величине картофелины. В редких случаях они достигают размеров футбольного мяча. Конкреции иногда покрывают дно плотным слоем, иногда разреженным (до 20 кг и больше на квадратный метр). Больше всего их в Тихом океане — по скромным оценкам около 100 млрд. т. Залежи конкреций имеются также в Индийском океане и меньше — в Атлантическом.

Основную ценность в конкрециях представляют находящиеся там медь, никель, кобальт, а теперь начинает приобретать важное значение и марганец. Хотя концентрация этих металлов существенно ниже, чем железа и марганца, все же по приблизительным оценкам в конкрециях Тихого океана содержится никеля 23 млрд. т, кобальта 1 млрд. т и меди 1,5 млрд. т. Заметим, что в 1975 г. меди во всем мире было добыто 7,5 млн. т. Но что замечательно, так это непрерывный рост конкреций. Считается, что их масса увеличивается в Мировом океане ежегодно на 10 млн. т. Кроме перечисленных пяти элементов, конкреции содержат также магний, титан и ванадий в различных концентрациях — все зависит от того, в каком районе образовались конкреции. Как это происходило, пока не известно, хотя на сей счет у ученых уже имеется целый ряд вполне логичных и остроумных гипотез. Согласно одной из них микроорганизмы концентрируют в своих те-

лах различные металлы из воды, а затем при отмирании и опускании на дно эти организмы растворяются и отдают их воде уже в концентрированном виде, из чего и вырастают конкреции.

В океане еще много загадок. Загадкой является и то, почему конкреции встречаются только на поверхности дна? Казалось бы, что те конкреции, которые образовались в далеком прошлом, должны быть к настоящему времени покрыты толстым слоем осадков. Похоже, что конкреции каким-то образом непрерывно «выплывают» наверх, на поверхность дна.

Долгие годы никто и не думал о каких-либо проектах по эксплуатации залежей железомарганцевых конкреций. Их образцы, добытые различными экспедициями, были своего рода раритетами, интересными игрушками — свидетельством необычайной изощренности природы.

Но сейчас все изменилось, и о конкрециях заговорили вполне серьезно. Причиной тому напряженная ситуация с минеральным сырьем, создавшаяся в мире. Считается, что каждые 15 лет ежегодный объем используемых минеральных ресурсов удваивается. Сейчас разрабатываются залежи ископаемых, от которых еще десяток лет тому назад презрительно отворачивались. Кроме того, перейти от прожектерских разговоров к серьезным проектам использования истинно гигантских залежей конкреций (в северных районах Тихого океана они занимают пояс длиной около 4000 км, а ширина его составляет несколько сотен километров) помогло стремительное развитие техники подводных работ, связанное с эксплуатацией нефтяных месторождений.

Во всяком случае, начиная с 1958 г. в ряде развитых капиталистических стран, не обладающих достаточно солидными собственными сырьевыми запасами, начали выдвигаться проекты эксплуатации самых глубоководных руд на Земле. В эти технические изыскания многие иностранные фирмы уже вкладывают большие деньги. Что касается результатов, то они еще пока очень скромные, хотя уже разработано несколько хитроумных и смелых способов добычи конкреций.

Американские фирмы предлагают использовать классические, правда, специально переоборудованные для этих целей драги, а также гигантские насосы, перекачивающие породу со дна океана на палубу.

Японские инженеры применяют оригинальный, сравнительно дешевый метод. На полипропиленовом тросе длиной в несколько километров висят небольшие корзины — типа драг, которые в ходу у морских геологов. Трос имеет вид петли, верхняя часть которой проходит через специальные барабаны, расположенные на палубе судна. Нижняя часть троса «путешествует» по дну океана, откуда корзинами забираются конкреции. Корзины на тросе поднимаются на борт корабля, опрокидывают груз на палубу и возвращаются на дно за очередной порцией.

В более совершенных проектах конкреции не поднимаются на палубу, а обрабатываются на специальных автоматических фабриках, расположенных на глубине. Наверх поднимается уже или рудный концентрат, или окончательный продукт (зачем поднимать лишний вес!). Применяются и автономные ныряющие аппараты.

Совсем недавно был открыт новый вид рудных залежей на дне океана, вернее, на подводных горах с плоскими вершинами — гайотах. Это железомарганцевые корки с толщинами до нескольких десятков сантиметров и большим горизонтальным простиранием. В них достаточно велика концентрация кобальта (до 1,5%). Такие корки залегают на глубинах существенно меньших, чем железомарганцевые конкреции.

Но в общем все еще только начинается. Пока что богатейшие запасы столь нужных для человечества металлических руд практически не разрабатываются.

Другой, тоже нетронутой кладовой океана являются глубинные расщелины, где находятся глубоководные горячие рассолы. Особенно знаменита в этом отношении сеть глубоководных (глубиной около 2 км) расщелин Красного моря. Температура находящихся в них рассолов достигает 60° С, плотность существенно выше плотности морской воды, соленость около 260 г/л. По приблизительным оценкам в них содержится меди, кобальта, свинца и других металлов на миллиарды долларов. Происхождение горячих рассолов стало известно лишь недавно. Оказалось, что они появляются в районах, где вследствие подъема горячей магмы из недр Земли образуется новое морское дно. Морская вода проникает в расщелины, реагирует с горячей магмой и вымывает различные металлы. Когда она поднимается затем наверх, то одновременно с остыванием протекает ряд химических реакций. В результате образуются

рассолы, а также сульфидные руды разных металлов. Например, в донных осадках красноморских впадин содержатся вполне экономичные руды с содержанием меди до 1,3% (заметим, что на суше используются руды с содержанием меди около 1%). Но выкачивать рудный рассол с глубины гораздо легче, чем добывать из шахт на суше, и последующая обработка рассола легче.

В сульфидных рудах концентрация полезных металлов иногда оказывается в 10 раз больше, чем в конкрециях. Например, цинка иногда в них содержится до 60% от общей массы.

Итак, конкреции, донные рассолы и сульфидные руды ждут своего часа.

Уже дождался его нефтяные и газовые месторождения Мирового океана. Полным ходом идет разведка и добыча нефти и газа на прибрежном континентальном шельфе чуть ли не во всех его районах. И специалисты считают, что к концу 80-х годов добыча «морской» нефти составит треть всей добываемой в мире.

Первой ласточкой такого рода в свое время были бакинские колодцы, глубина которых достигала нескольких метров. Их еще в прошлом веке вырывали в море на расстояниях до 30 м и более от берега. Рыли, изолируя колодцы от воды, и черпали из этих колодцев набегавшую из подземных источников нефть. С тех пор на Каспийском море возникли знаменитые Нефтяные Камни — своеобразный искусственный город в море, где добыча нефти ведется в широких масштабах.

В 1881 г. на Западном побережье США началась эксплуатация наклонных скважин, уходящих на 800 м от берега. Но истинное начало подводного бурения следует отнести к 1933 г., когда в Венесуэле на оз. Маракайбо впервые появились нефтяные вышки, которые теперь стали чуть ли не обязательной принадлежностью любого морского пейзажа.

Покрыты подобными вышками Персидский и Мексиканский заливы, Северное море, Норвежское море, откуда нефть качают прямо в Шотландию.

Нефтяные платформы протянулись у берегов Калифорнии, Африки — Гвинейский залив, Северной Америки — Аляска, Индонезии — о-в Ява, появились они даже в Средиземном море. Сейчас во всем мире воздвигнуто более 10 000 величественных сооружений, которые справедливо

считают верхом инженерного искусства XX в. Это, по сути дела, громадные промышленные предприятия, где персонал, составляющий порой сотни человек, ведет одновременно бурение и эксплуатацию многих десятков скважин длиной в несколько километров. Своеобразным «чудом» является и то, что, несмотря на фантастическую стоимость каждой платформы (до 2 млрд. долл.), создание и эксплуатация их оказываются экономически чрезвычайно выгодными.

Однако не везде легко подобрать к нефтяным залежкам шельфа ключ. Так, например, по многим признакам нефть есть на шельфе наших арктических морей. Но трудность эксплуатации заключается в наличии ледового покрова. Человек не создал еще конструкций, которые, будучи установлены на дне моря, устояли бы против напора движущихся сплошных морских льдов. Выход здесь, по-видимому, в создании искусственных грунтовых или ледовых островов, а, впрочем, в будущем совсем не исключается вариант подледных буровых установок и нефтеперерабатывающих предприятий.

Наконец, еще об одном совсем недавно открытом минеральном ресурсе дна океана, который по своему значению со временем, возможно, превзойдет все остальные. Это так называемый газогидрат — горючий газ такого же типа, какой добывается на континентах, но находящийся на дне океана и глубоких морей в жидком виде в смеси со льдом. Такое его состояние достигается благодаря высоким давлениям и низкой температуре, господствующим на больших глубинах.

По оценкам некоторых ученых запасы газа в этом виде в тысячи раз превосходят разведанные запасы газа на континентах!

Пока человек еще не знает даже, как подступиться к ним. Трудность заключается в том, что при опускании в эту зону различных технических устройств туда же, хотите — не хотите, привносится тепло, которое разрушает структуру газогидрата, после чего газ выделяется в воду и разносится течениями. Но, конечно, пройдет немного времени и будет подобран ключик и к этим кладовым,

1.5. Энергия океана для нужд человечества!

Энергия угля, нефти, газа, добываемых из недр Земли, ведет в конечном счете свое происхождение от солнечной энергии, падавшей на Землю в далеком прошлом. В этом смысле земные недра надо рассматривать как долговременный аккумулятор солнечной энергии. Таким же аккумулятором энергии является и океан, правда в других временных масштабах. 71% солнечной энергии, падающей на поверхность Земли, попадает на поверхность океана и почти полностью поглощается им. В результате Мировой океан запасает большое количество энергии в виде кинетической энергии течений и волн, потенциальной энергии, связанной с разницей уровня поверхности океана в разных его частях, наконец, тепловой энергии, основанной на разнице температур различных слоев Мирового океана.

Пока эта энергия человеком почти не используется. Трудности связаны с тем, что энергия не сконцентрирована в каких-либо ограниченных в пространстве местах, она рассеяна повсеместно. Правда, иногда такая концентрация осуществляется в урагане, который, как мы видели выше, питается энергией океана. Ураган по энергетическим запасам эквивалентен десяткам атомных бомб, но вот парадокс — эта энергия, наоборот, оказывается слишком уж сконцентрированной и ее опять-таки трудно поставить на службу человеку.

Однако в последнее время появилось несколько вполне реальных и технически обоснованных проектов использования энергии океана.

Прежде всего это энергия приливов. Принцип прост. Отгородите дамбой вдающийся в сушу морской залив в месте, где прилив бывает достаточно высок, а в дамбе оставьте проход и поставьте в ней турбину. Во время прилива вода будет проходить через этот проход в залив, а во время отлива — из залива. В обоих случаях ее можно заставить вращать турбину.

При благоприятном очертании берегов и большой высоте приливов такая электростанция обладает экономической эффективностью, сравнимой с обычными речными ГЭС. Основной недостаток — неравномерная выработка электроэнергии в течение дня — не имеет существ-

венного значения при включении такой электростанции в единую электрическую сеть страны. Зато громадное достоинство — отсутствие загрязнителей окружающей среды, таких, как продукты сгорания в тепловых электростанциях и радиоактивные отходы в атомных электростанциях.

Во Франции, где энергетические ресурсы разного рода певелики, приливная электростанция средней мощности была сооружена в 1966 г. в устье р. Ранс в Бретани, где приливы очень внушительны (разница уровней во время прилива и отлива 13 м). Водохранилище, отсеченное от моря дамбой, во время полного прилива при длине около 20 км набирает 180 млн. м³ воды. Мощность станции 240 тыс. кВт, а ее годовая выработка 500 млн. кВт·ч. Разработан проект постройки в этом же районе (зал. Сен-Мало) значительно более мощной электростанции (12 млн. кВт).

Наиболее высокие приливы в Мировом океане наблюдаются в зал. Фанди на Атлантическом побережье Канады. В вершине залива высота прилива достигает 16 м. Существует проект построить в этом районе приливную электростанцию мощностью 6 млн. кВт.

Несколько небольших приливных электростанций уже работают в Китайской Народной Республике. Запроектировано строительство крупной станции мощностью 7 млн. кВт в устье р. Цяньцзян.

В нашей стране еще до второй мировой войны возникли проекты опытной приливной электростанции в б. Кислой Кольского залива, в 100 км на север от Мурманска. Группа энтузиастов во главе с инженером Л. Берштейном осуществила один из них. Его оригинальность заключалась в том, что станция была построена в Мурманске, а потом отбуксирована на свое место и установлена 29 августа 1968 г. в горле губы Кислой, имеющей ширину всего 25 м. С тех пор она дает ток в Кольскую энергосистему.

Крупномасштабную приливную электростанцию на Кольском полуострове предполагается сооружать в северной его части в зал. Лумбовка тем же наплавным способом. По расчетам она может дать до 700 млн. кВт·ч энергии в год.

Разрабатывается проект постройки крупной приливной электростанции мощностью 15 млн. кВт в Белом море,

в Мезенском заливе. Реальные возможности существуют для сооружения приливной электростанции мощностью до 100 млн. кВт в Пенжинском заливе в Охотском море.

Таким образом, перспективы использования энергии морских приливов весьма многообещающие. Интересно отметить, что, хотя использование этого природного ресурса с экологической точки зрения, казалось бы, не сопровождается вредными последствиями (если не считать локальных и, как правило, незначительных изменений экологической обстановки в отгораживаемых от моря заливах), имеется одно обстоятельство глобального значения. То, что мы безвозвратно забираем некоторую долю механической энергии приливных волн, оказывается, влияет на вращение Земли и несколько замедляет его. Эффект, однако, невелик, хотя и может быть замечен современными физическими средствами. По некоторым подсчетам французских ученых, если утилизировать таким образом мощность приливов 1 млрд. кВт, то произойдет уже сравнительно заметное замедление вращения Земли — разница во времени в одни сутки будет набегать за каждые 2000 лет.

Перейдем теперь к возможностям и путям использования так называемой гидротермальной энергии океана, т. е., попросту говоря, разницы температур поверхностных (теплых) и глубинных (холодных) слоев океана. Принцип здесь опять же прост. Теплая вода подогревает испаритель с рабочей жидкостью. Лучшее всего в качестве рабочей жидкости подходит аммиак. Получающиеся пары вращают турбину. Холодная вода затем охлаждает пар, превращает его в жидкость и т. д. Расчеты показывают, что такие электростанции могут быть экономически выгодны при разнице температур воды не менее 20°C . Поэтому ГТЭС, очевидно, появятся в тропических широтах, где температура поверхностных вод составляет $25 - 30^{\circ}\text{C}$, а холодные воды температурой $3 - 5^{\circ}\text{C}$ можно качать с глубины порядка 700 м.

Существует три варианта подобных поставщиков электрической энергии. Можно построить электростанцию на берегу. В этом случае холодная вода, богатая биогенными элементами, после работы в качестве охладителя может быть использована еще для марикультуры.

Некоторые станции расположатся в море на якоре. Наконец, вполне возможна плавучая станция, которая

находит каждый раз наиболее выгодную разницу температур.

Вырабатываемая электроэнергия в двух последних вариантах должна использоваться тут же в каких-либо энергоемких производствах, например для извлечения ценных элементов из морской воды, или передаваться тем или иным способом на берег.

В Республике Кот-д'Ивуар (Берег Слоновой Кости) вблизи ее столицы Абиджан уже построена небольшая станция такого рода мощностью 14 кВт. Теплую воду забирают из мелководной лагуны, а холодная поступает из океанских глубин в 500 м.

В США при попытке свизить энергетический кризис и зависимость от импорта нефти разработаны проекты создания больших гидротермальных электростанций мощностью 160 МВт и более. Для станции такой мощности необходимо забирать холодную воду с глубины 700 м в количестве 900 м³/с и более. Техническое решение нелегкое, в дело включились такие мощные компании, как «Глобал Марин» и «Локхид».

Интересны проекты создания в полярных районах электростанций, работа которых основана на использовании разницы температур воздуха над поверхностью воды и самой воды. Эта разница также может составлять более 30°.

Энергия морских волн тоже уже используется, правда в небольших количествах, для питания плавучих сигнальных буйев и маяков. Значительная часть энергии волн сконцентрирована в береговом прибое. В Англии и некоторых других странах рассматриваются проекты создания электростанций, работающих на этой «волноприбойной» энергии.

Остается сказать несколько слов о ветре, который с давних пор служил двигателем парусных кораблей, когда-то единственных представителей морского торгового и военного флотов. Энергию ветра можно рассматривать как энергию океана, так как рождается ветер вследствие разности температур различных участков воды и суши.

В наше время, когда столь остро стоит вопрос с ресурсами топлива, снова появились идеи использовать паруса. Ведь современная техника позволяет создавать системы, с помощью которых можно управлять парусами автоматически в зависимости от силы ветра и его направления.

Таким образом, легендарные паруса, позволившие когда-то человеку осмотреть Землю, где он проживает, могут слова стать его верным помощником.

Итак, энергия океана преподносится человечеству в самой различной «упаковке». Речь идет лишь о том, как ею по-хозяйски воспользоваться!

1.6. Самая просторная в мире дорога

Прибрежные морские торговые пути возникли в давние времена. В настоящее время океаны не разделяют континенты, как это когда-то считалось, а, наоборот, связывают их. Морские перевозки существенно дешевле и удобнее сухопутных, а именно поэтому с некоторого времени они стали превалировать. По морям и океанам в настоящее время перевозится 70—80% грузов.

Возьмем, например, такую страну, как Япония, которая не имеет собственных сколько-нибудь существенных энергетических и минеральных ресурсов. Несмотря на это, за последние десятилетия Япония выросла в промышленного гиганта. Нефть и различные руды доставляются в ее порты гигантскими танкерами и рудовозами из стран Персидского залива, Австралии и Индонезии. Готовая продукция японской промышленности, скажем миллионы автомобилей, отправляется во многие страны также в основном морскими путями.

Каких только грузов ни встретишь в наши дни на палубах торговых судов разных стран. Своего рода живой конвейер существует в океане между Австралией и странами Персидского залива. Громадные корабли перевозят за один прием по нескольку десятков тысяч живых овец. (В мусульманских странах, как известно, в основном потребляют баранину. По обычаю этих стран животное должно быть зарезано непосредственно перед приготовлением еды — отсюда и дальние перевозки живого товара.) Овцы грузятся на такие корабли также по конвейеру и распределяются по многочисленным палубам автоматически, так что большого количества рабочей силы здесь не требуется.

Одновременно в морях и океанах находится в плавании много тысяч судов. Особенно интенсивно движение по таким проливам, как Ла-Манш (по нему проходит око-

до 1000 судов в сутки). Через узкий Гибралтарский пролив в сутки проходит около 400 различных кораблей.

Объем морских перевозок за последние десятилетия вырос во много раз. В 1950 г. он составлял 0,5 млрд. т, а в настоящее время — уже более 4 млрд. т в год.

Морские перевозки как в зеркале отражают характер экономики различных стран. Так, в конце 70-х годов ежегодно из развивающихся стран вывозилось более 2 млрд. т морских грузов, большую часть которых составляло сырье, а ввозилось в несколько раз меньше. Это хорошо иллюстрирует факт выкачивания сырьевых ресурсов у слабо развитых государств. Почти половину перевозимого морем груза составляют нефть и нефтепродукты. Другая половина — железная руда, зерно, уголь и прочие грузы. Долгое время основные «нефтяные» маршруты шли из стран Персидского залива в Японию, США и Западную Европу. Теперь возникают другие пути перевозки нефти — из Северного моря в страны Западной Европы, из Юго-Восточной Азии в Японию, из Аляски в ряд портов США и т. д.

Перевозки руд увеличиваются вследствие того, что места их добычи, как правило, существенно удалены от металлургических центров.

Тоннаж танкеров и рудовозов быстро рос в течение 70-х годов и перешагнул через 500-тысячный рубеж для танкеров и 300-тысячный рубеж для рудовозов.

В настоящее время этот рост приостановился. Использование судов-гигантов повышает экономичность перевозок, однако создает ряд проблем, так как в связи с большой осадкой кораблям трудно заходить в порты. Часто нефть с больших танкеров переливается на мелкие танкеры в одном из портов страны назначения и затем доставляется во все другие. Так, нефть Персидского залива, предназначенная для США, перегружается на более мелкие суда в портах Канады или на Бермудских островах и затем идет по назначению.

Существуют многочисленные проекты подводных танкеров. Использование подводного транспорта особенно заманчиво в ледовых условиях, как, например, в арктическом бассейне. В самом деле, какой смысл тратить огромную энергию на разламывание льда (причем иногда и безуспешно), когда подо льдом во вполне комфортабельных условиях «тишины и спокойствия» могут плыть под-

водные корабли большого водоизмещения. Только при приближении к мелководьям, т. е. к портам, им придется всплывать наверх. Там и организуется разгрузка.

В последнее время быстро развивались морские флоты Советского Союза и социалистических стран. Они используются как для перевозок грузов своих стран, так и других стран по фрахту. Суда СССР обслуживают многие десятки заграничных линий. Наши корабли посещают около полутора тысяч портов в 120 странах. Морской флот СССР является одним из крупнейших и занимает седьмое место в мире по суммарному тоннажу. Советские теплоходы смешанного плавания река—море доставляют грузы в сотни портов Европы, Азии и Африки.

Перевозки по Северному морскому пути обеспечивает мощный ледокольный флот, включая атомные ледоколы. Эта трасса весьма экономична, так как, например, путь от Ленинграда вокруг Скандинавии и затем по Северному морскому пути на Дальний Восток более чем в 2 раза короче, чем через Панамский канал, и в 1,6 раза короче, чем через Суэцкий канал.

В нашей стране имеется более 40 морских портов. Из них крупнейший — Новороссийск (более 30 млн. т грузооборота в год), за ним идут Вентспилс (21 млн. т), Одесса (20 млн. т) и другие.

Что касается капиталистических стран, то почти 90% тоннажа морского торгового флота сосредоточено в руках различных компаний Японии, Европы и США. Большое количество судов этих стран, однако, приписано к иностранным портам и ходят под флагами других стран, т. е. под так называемыми флагами удобств. В результате крупнейшим по общему тоннажу флотом считается, судя по флагу, флот Либерии. По этой же причине под флагом Панамы, например, плавают флот, значительно более крупный по тоннажу, чем флот США.

Крупнейшие по тоннажу морские перевозки осуществляются в Атлантическом океане. Чемпион по грузообороту (более 300 млн. т в год) здесь — голландский порт Роттердам. Однако «абсолютным» чемпионом мира является Рас-Таннура в Саудовской Аравии (грузооборот около 400 млн. т).

Мы видим, как изменяются структура и техническое оснащение авиационных портов за последнее десятилетие, что связано с быстрым ростом потока пассажиров на

воздушном транспорте. То же самое происходит с морскими портами, где столь же быстро растут грузопотоки. Порты увеличиваются по размеру, внедряется новая техника обработки грузов (например, контейнерных перевозок), создаются терминалы для разгрузки больших танкеров на глубокой воде на значительных удалениях от берега. Среди чемпионов такого рода надо назвать глубоководный порт Фос вблизи Марселя, годный для приема танкеров водоизмещением до 700 тыс. т.

На морских дорогах встречаются и многочисленные корабли-красавцы, осуществляющие морские туристские маршруты-круизы. Деловые поездки теперь перешли в ведение воздушных путей сообщения. Лимитирует время, вот люди и предпочитают воздушный лайнер океанскому. Зато что может быть лучше отдыха на море, где переплетаются чисто морские удовольствия — спокойное наблюдение за вечно меняющейся панорамой моря — и ни с чем не сравнимый интерес при знакомстве с далекими странами, о которых ты знал лишь понаслышке.

Впрочем, морской отдых — не только путешествие на корабле. Даже простое пребывание на берегу моря — это большое удовольствие. Борьба с волной прибоем, дальние заплывы, водные лыжи, виндсерфинг, рыбная ловля, подводная охота — что может быть приятнее? Если вас не интересует подводная охота с ружьем, можете заниматься кино- и фотоохотой, собирать камешки, ракушки, янтарь и т. д. А как приятно наблюдать за детишками, которые плещутся в набегающей волне, — им хочется зайти поглубже, но страшно. На закате вы можете увидеть зеленый луч, если вам повезет. А катание на лодках, катерах, яхтах? Этот спорт все больше развивается. Как-то мне самому с одним американским коллегой удалось пройтись на яхте во Флоридском заливе. Мы наблюдали очень интересную картину. Там проходила детская регата. Собралось около сотни небольших яхточек, на каждой из которых сидел мальчишка 10—14 лет. Здесь же плавал и спасательный катер с несколько шокирующим названием «Спасатель идиотов». Как приятно было наблюдать эти оживленные, уже обветренные детские лица, белые паруса, бесшумное скольжение яхт по воде. Сколько удовольствия, сколько здоровья прибавила эта регата детям!

Я читал об одном американском юноше 17 лет, который захотел осуществить в одиночку путешествие на яхте во-

круг земного шара. Разумные, с моей точки зрения, родители не отговаривали его, а, наоборот, помогли оснастить яхту, и он пустился в путь. И что же? Путешествие заняло четыре года. От родителей он не требовал никаких денег, подрабатывая себе деньги на остановках в различных портах чтением лекций и рассказами о своем путешествии. Вернулся через четыре года уже не мальчиком, а мужем, опытным, закаленным человеком. Правда, он по дороге успел жениться на девушке, которая совершала кругосветное путешествие... на мотоцикле.

Я преклоняюсь перед такими смелыми людьми, как, например, Чичестер — английский яхтсмен, в 60 лет совершивший беспрецедентное путешествие в одиночку на яхте. Чичестер и погиб в море.

С большим увлечением читал записки супругов Папазовых из Болгарии. Вначале они совершили путешествие на спасательной лодке через Атлантический океан, потом то же самое через Тихий океан. Цель путешествий была исключительно благородной, ибо они хотели показать, что люди, оказавшиеся в океане длительное время на спасательной лодке, не должны погибнуть. Потом они совершили кругосветное путешествие вокруг света на яхте со своей маленькой дочкой.

Но можно наслаждаться яхтой и по-другому. В одной из экспедиций мы стояли в греческом порту. И вот однажды под вечер мы видим, как, легко скользя по воде, из порта выходит и проходит мимо нас красивая небольшая яхта. На ее палубе любуйтесь заходящим солнцем уже пожилой человек, лет 60—70. Рядом с ним сидела молодая женщина — жена или дочь? И как раз когда они проходили мимо нас, на палубу вышел одетый во все белоснежное стюард и принес им на подносе по чашечке кофе. Для меня такое общение с морем кажется уже неинтересным, это просто снобизм.

Так отдыхать на море могут немногие. Но вот круизы через моря и океаны на туристских кораблях теперь доступны уже почти всем. На таком корабле вы можете наслаждаться день за днем видом моря, морскими закатами. На кораблях есть бассейны, спортивные площадки, вы можете загорать на палубах.

Еще большее удовольствие — заход в порт неизвестной тебе страны. В наших экспедициях это происходит обычно утром. Надо встать на рассвете, и тогда вы получите не-

обыкновенное удовольствие, наблюдая, как незнакомая земля вначале появляется, как облако, на горизонте. Потом вы начинаете различать горные вершины, заросли джунглей. Наконец, видите белоснежные дома, пальмы. Потом вы заходите в порт, наблюдаете портовую толкучку, которая в каждой стране разная, массу людей. Все оживлены, все чем-то заняты. На берегу раскидываются небольшие торговые палатки с местными сувенирами, и вам уже хочется поскорее попасть в город, посмотреть на исторические достопримечательности, о которых вы много читали и дома, и на корабле. Нет, ничего не может быть лучше отдыха на море!

За последнее время сильно выросла индустрия обслуживания отдыхающих на берегах морей, увеличилась стоимость земельных участков на побережье. В связи с этим в наиболее посещаемых местах, например на Атлантическом побережье США, стала удлиняться даже сама береговая линия. Для этого намывают новые участки суши, а на ней делают побольше каналов с причальными линиями для малых судов (яхты, катера).

Что же касается морского туризма, то, по данным Международного союза официальных туристских организаций, в 1950 г. во всем мире в различных морских портах побывало 25 млн. туристов, а в 1978 г. — уже около 200 млн. Цифра солидная! Пока три четверти этих чисел падает на порты европейских стран, потому что старушка-Европа еще не потеряла своей привлекательности. Она притягательна своими культурными ценностями. Но надо учитывать также и то, что сфера обслуживания туристов здесь давно и хорошо развита. Однако эта сфера быстро развивается и в Африке, и в Азии, и на Ближнем Востоке. Теперь организуются морские круизы даже к берегам Антарктиды.

Океан — целитель и в прямом смысле, ибо он поставщик множества современных лекарств и лечебных средств. Тысячи обитателей моря ядовиты, и их яды применяются в медицине. В теле осьминога, например, содержатся вещества, снижающие кровяное давление, регулирующие деятельность сердца и понижающие свертываемость крови. Один тип морской губки выделяет своего рода антибиотики, которые убивают самые злокачественные стафилококковые бактерии, перед которыми даже пенициллин бессилён.

От мидий можно получать вещества для местного наркоза, значительно более эффективные, чем известные анестезирующие химические соединения. Ракообразные (так называемая морская уточка), которыми обрастают днища кораблей, выделяют сильное клеящее вещество. Им они и приклеиваются к днищу корабля. Дантисты вполне могли бы им воспользоваться для своих целей. При сжигании бурых водорослей уже давно получают йод. Однако эти же водоросли содержат вещества, выводящие из человеческого организма радиоактивный стронций. Стоит заметить, что препараты, получаемые из живых обитателей моря, гораздо более безвредны, чем химически синтезированные лекарства, так широко распространенные в настоящее время. А антибиотики, получаемые из морских организмов, значительно эффективнее существующих, к которым у многих видов вредных бактерий уже выработалась сопротивляемость.

Широкое применение лекарственных морских препаратов еще впереди. Нет никакого сомнения, что в будущем и в этом отношении океан сильно поможет человеку.

1.7. Как твое здоровье, океан?

Чтобы океан был нашим помощником, нашим целителем, он сам должен быть здоров.

Но, увы... На всю жизнь осталось у меня одно мало-приятное воспоминание. Мы шли через Кильский канал из Балтики в Северное море. Канал хорошо ухожен. На берегу аккуратные домики — пункты управления шлюзами, небольшие магазины. Еще более красочны поля, попеременно зеленые и желтые. Но вот вышли в так называемую Немецкую бухту — начало Северного моря, и идиллия сразу кончилась. Солнце заиграло яркими бликами на громадном многокилометровом нефтяном пятне.

Сразу же вспомнилось недавно показанное по телевизору чудовищное опустошение, произведенное «нефтяным нашествием» у берегов Бретани на северном побережье Франции. Загаженные пляжи, погибшие рыбы, птицы, резкие крики, которые звучали как проклятье тем, кто устроил эту катастрофу. И здесь, в Северном море картина была не из приятных. Даже там, где море было чисто от нефти, вдоль гряд волн располагались

валы белой пены — результат выбросов бытовых и промышленных отходов.

Да, Мировой океан чрезвычайно нужен, просто необходим человечеству. Мы с вами в этом уже убедились, но, поскольку океан — хранитель минеральных запасов и кормилец человечества, он требует к себе соответствующего отношения. Даже если считать океан всего лишь дорогой для сообщения между континентами, как это было когда-то, все равно дорога должна быть удобной, безопасной и по возможности красивой. А когда на карту поставлена будущая жизнь в океане, тут уж надо бить тревогу.

Но так ли тревожна ситуация, так ли сильно загрязняется океан?

Ответ на эти вопросы совершенно недвусмысленный. Угроза серьезная, ее надо предотвратить. Необходимо жестко поставить вопрос об охране океанских вод, чтобы не превратились они в своеобразную «помойку», в «емкости», куда собираются отходы промышленности и прочие отбросы.

Мы перечисляли: океан — источник минерального сырья, источник сырья энергетического, «кухня погоды», кормилец человечества, широкая дорога для морских путешествий, мощная транспортная артерия, связывающая материки. Но у океана имеется еще одна функция, еще одна обязанность — это главный ассенизатор планеты. Все, что попадает в реки, переходит в моря, а затем и в океан. Океан загрязняется также непосредственно с кораблей и из атмосферы. В океане находит последний приют любая «грязь», рожденная на Земле. Морская среда обладает драгоценной способностью самоочищаться, когда благодаря работе миллионов бактерий, осаджению на дно постепенно исчезают все вредные примеси, попавшие в воду.

Потенциал самоочищения — процесс этот достаточно сложный и далеко не во всех деталях понятный современной науке — велик. Запасы «прочности», которыми природа снабдила большие водоемы, и особенно океан, действительно выглядят весьма внушительно. Но они не безграничны. До недавнего времени океан справлялся с ролью очистителя планеты. Теперь положение стало угрожающим, ибо появились мощнейшие загрязнители,

Главный из них, несомненно, нефть. Загрязнение нефтяными углеводородами принимает поистине глобальный характер. Криминальная роль нефти в жизни Мирового океана превосходит все, что могут дать другие загрязнители. Список ее «черных дел» весьма впечатляет. Нефть портит воду и затягивает поверхность океана, что препятствует нормальному обмену веществ через нее, уменьшая первичную продукцию океана — фитопланктон, как мы уже знаем, своеобразный пищевой фундамент всей его жизни.

Нефтяное пятно, которое я с такой грустью наблюдал в Северном море, увы, не одиноко. Их множество — этих мрачных «украшений» морского пейзажа. В настоящее время особенно хорошо это видно с воздуха. Нефтяными пленками почти полностью покрыты Желтое, Южно-Китайское моря, а также вся система течения Куроисио, громадные площади у Гавайских островов, колоссальная зона шириной до 600 км, тянущаяся вдоль берегов Северной Америки. Океан получает в год до 6 млн. т подобных «подарков».

Существует несколько путей поступления нефти в океан. Прежде всего, это катастрофы и различного рода повреждения перевозящих нефть танкеров. Танкеры становятся все более внушительными, перевозят все больше нефти, что, разумеется, гораздо экономичнее, зато каждая катастрофа может повлечь за собой серьезные последствия.

Например, за два года (1973—1975 гг.) в Мировом океане потерпело аварию 3300 нефтеналивных судов, 45 из них погибли. В марте 1978 г. у берегов Бретани (Франция) произошла крупнейшая авария этого рода. При катастрофе супертанкера «Амоко Кадис» в море вылилось 200 тыс. т нефти. Многие квадратные километры поверхности океана были покрыты зловещей пленкой. Пострадали пляжи, погибло много птиц. Большой урон был нанесен прибрежному рыболовству.

Причины аварий танкеров могут быть разные. Может быть, их совершенно исключить и нельзя, но одно ясно — количество аварий увеличивается, когда имеет место безудержная погоня за прибылью. Часто танкеры находятся в печальном техническом состоянии, а их обслуживающий персонал имеет низкую квалификацию. Особенно это наблюдается на судах «флагов удобств». В качестве доказательства этих утверждений приведу такой факт. Тоннаж

японских танкеров примерно только в 2 раза меньше, чем танкеров, плавающих под флагом Либерии, доля же Японии в аварийных разливах нефти меньше, чем в Либерии, в 180 раз!

Другой источник загрязнений — морские нефтяные промыслы. Поскольку резко повысилось число нефтяных платформ, работающих в открытом море и на континентальном шельфе, в той же пропорции увеличился и масштаб загрязнения океана в результате аварийных выбросов нефти. Аварии типа той, которая имела место на промысле «Экофиск» в Северном море в апреле 1977 г., могут сопровождаться разливом 1—2 млн. т нефти. Ликвидация же их последствий требует нескольких месяцев, в течение которых нефть будет производить свое вредоносное действие.

Конечно, при авариях танкеров или нефтяных платформ применяются меры по удалению разлившейся нефти с поверхности. Одна из разработанных методик состоит в том, что нефтяное пятно немедленно окружают заградительными бонами и начинают собирать нефть в подготовленные хранилища на борту различных судов. Поскольку действовать надо быстро, предлагают доставлять соответствующее оборудование, включая плавательные средства, на борту самолетов и вертолетов.

Для тех случаев, когда нефть располагается на поверхности сравнительно толстым слоем, одна из зарубежных фирм разработала специальное устройство, с помощью которого в центре нефтяного пятна создается вращательное движение. Появляющаяся воронка сразу же начинает собирать всю нефть, имеющуюся в ее окрестностях. Нефть затем перекачивают в танки подошедшего по сигналу тревоги танкера.

Существуют и другие методы. Так, например, в некоторых случаях на поверхности нефтяного пятна разбрасывают вещества, хорошо абсорбирующие нефть и ее продукты. Вода таким образом действительно очищается. Плохо другое: мел, песок, опилки и другие вещества, которые служат поглотителями нефти, сделав свое дело, оседают на дно, загрязняя тем самым донный грунт. Поэтому сейчас за помощью обратились к химикам и микробиологам. Кроме веществ, довольно быстро растворяющих нефтяные пленки, найдены микроорганизмы, для которых это основной продукт питания.

Третий источник загрязнения — сброс в океан балластных вод с танкеров. Танкерам невыгодно идти пустыми: больше парусность, меньше ход. Поэтому они закачивают в танки воду в качестве балласта, которую потом сбрасывают в океан. Кроме того, танки в танкерах время от времени промывают и иногда сбрасывают промывочную воду в море.

Наконец, четвертый путь поступления нефти в прилегающие к суше моря и Мировой океан — это слив нефтепродуктов с суши в реки. Виновниками здесь являются промышленность и автотранспорт.

Наконец, нефть, точнее говоря, нефтепродукты могут попасть в океан из атмосферы.

Вредные последствия загрязнения океана нефтью многочисленны и разнообразны. Мы уже говорили, что резко замедляется развитие фитопланктона. Иногда губительным бывает также и влияние на зоопланктон. Особенно сильно нефтяные примеси действуют на икру и личинки рыб.

В нефтяных загрязнителях моря присутствуют и канцерогенные вещества. Это так называемые ароматические углеводороды (бензопирен и др.). Особенно много их в выбросах нефтеочистительных производств и, следовательно, в прибрежных водах. Так как они аккумулируются живыми организмами, то представляют собой непосредственную угрозу для здоровья человека.

Как показывают элементарные расчеты, достаточно 25 млн. т нефти, чтобы покрыть всю поверхность Мирового океана тонкой нефтяной пленкой. Такая пленка, препятствуя испарению влаги с поверхности океана, уже способна оказать заметное воздействие на климат планеты. Пленка, кроме того, будет препятствовать поглощению углекислоты из атмосферы, а также выделению в атмосферу кислорода.

Но нефть, увы, не одинока. Все увеличивающимся потоком хлынули в воды океана различные химические вещества, применяемые в народном хозяйстве.

Около 600 тыс. различных соединений находятся в отходах, идущих на свалки. Естественно, добрая часть их попадает в океан и аккумулируется там. Сверх этого промышленность «поставляет» тяжелые металлы — ртуть и свинец.

Иногда за рубежом появляются в печати фотографии различных водоемов, поверхность которых покрыта какими-то белыми хлопьями. Это не что иное, как последствия загрязнения водоемов моющими средствами — детергентами. Это-то я и видел в Северном море. У нас такое загрязнение гораздо меньше, но эти вещества также попадают в реки, как говорится, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Детергенты не только портят внешний вид района, но и крайне вредны для всего животного мира.

Борьба с этими загрязнителями происходит по всем линиям. Опять-таки существует микробиологический метод, когда в борьбе помогают микроорганизмы, разлагающие молекулы детергентов на различные составляющие, которые затем можно абсорбировать, перевести в новое состояние, изъять из воды.

Современное сельское хозяйство по количеству и ассортименту различного рода потребляемых им химических веществ занимает весьма «почетное» место в числе загрязнителей Мирового океана. С полей попадают они в реки, а затем в моря и океаны. Именно эти, столь полезные и просто необходимые для прогресса современного земледелия и садоводства вещества весьма пагубно влияют на жизнь океана. Инсектициды, прекрасно уничтожающие вредных насекомых суши, столь же радикально расправляются с некоторыми обитателями моря. Под их удары попадают, например, ракообразные. С появлением внутри вод океана инсектицидов (эти вещества свободно плавают на различных глубинах) связан и процесс ингибиции — подавления жизни фитопланктона, т. е. уменьшения продукции фотосинтеза. Но ведь именно фотосинтез дает исходное звено в пищевой цепи океана. Значит, это тоже сигнал для тревоги. Возьмем, например, известный и в свое время широко использовавшийся в сельском хозяйстве препарат ДДТ из семейства хлорорганических соединений. Во многих странах, и в том числе у нас, его применение теперь запрещено ввиду его вредного воздействия на биоту. Однако он все еще распространен в развивающихся странах в силу своей дешевизны и эффективности. Ежегодно производятся многие десятки тысяч тонн этого продукта. Значительная часть его через реки, а также атмосферу попадает в воды океана. В океане ДДТ поглощается живыми организмами и с ними попадает к человеку на стол. Опасность заключается в том, что мно-

гие морские обитатели концентрируют ДДТ. Например, концентрация этих веществ в теле некоторых устриц оказалась в 70 тыс. раз больше, чем в окружающей воде. Для рыб соответствующие цифры составляют от 100 до 10 000!

Аналогичная картина наблюдается и с другими загрязнителями, в частности со ртутью. Могу привести пример, который относится к одной из развитых капиталистических стран. Лет десять назад вблизи столицы Швеции Стокгольма резко поднялось содержание окиси ртути в тканях рыб. Ситуация обострилась до такой степени, что в приказном порядке пришлось прекратить ловлю рыбы в этом регионе. Оказалось, что причина появления токсических веществ в море — небрежное отношение ряда предпринимателей к охране природы. Ртуть поступала из внутренних водоемов Швеции — рек и озер, куда она попадала со стоком промышленных вод лесной промышленности. Надо сказать, что протесты общественности повлияли. Был предпринят ряд мер, установлен строгий контроль за очисткой стоков, за технологическими процессами и т. д. Положение резко улучшилось уже за четыре года. Все можно сделать, если, конечно, захотеть!

В химическом отношении более безобидным, но в эстетическом отношении совершенно нетерпимым является самое обычное замусоривание океана. Даже в самых удаленных районах Мирового океана я то и дело видел целлофановые пакеты, деревянные ящики, картонные коробки, пустые бутылки, плавающие на поверхности воды. Такого мусора по приблизительным подсчетам сбрасывается в океан (в основном с кораблей) около 6 млн. т в год. Многие из этого «богатства» выносятся на пляжи. Пляжи загрязняются и с моря, и с берега (рис. 1.1).

Еще один вид совершенно особого загрязнения океана — отходы атомной промышленности. В океан в определенных местах постоянно сбрасываются жидкие и твердые радиоактивные отходы (с небольшой активностью) в контейнерах. Как будто при этом не появляется непосредственной опасности для океана и его обитателей, поскольку это происходит при полном контроле Международного агентства по атомной энергии, под эгидой которого и были разработаны допустимые нормы сброса радиоактивных материалов в океан. Но все-таки нужно быть очень осторожным. Радиоактивные вещества могут аккумулироваться в организмах морских обитателей. Так, например, за счет



Рис. 1.1. Загрязнение моря начинается с берега

биоаккумуляции радиоактивность водорослей возрастает в 1 200 раз, а печени рыб — в 300 000 раз. Кроме того, это относится не только к радиоактивности, но и вообще к любому загрязнению. Недопустимыми нормами являются совсем не те, при которых обитатели моря погибают или при которых сильные дозы радиоактивных или других вредных веществ попадают через рыбу на стол человека. Недопустимыми являются даже самые малые количества различных веществ, если они действуют разными способами на живые организмы, вызывают сложные побочные явления. Так, например, под влиянием загрязняющих веществ может ослабиться сопротивляемость обитателей моря к различным инфекциям. Некоторые загрязняющие вещества, в том числе ароматические углеводороды, обладают наркотическим действием — усыпляют рыб, свинец способен замедлять работу их ферментного аппарата; ДДТ отрицательно влияет на передачу импульсов в нервной системе рыб и т. д., и т. д. Вот почему даже к малым радиоактивным загрязнениям океана нужно подходить с осторожностью.

Но дело может принять катастрофический оборот, если в океан начнут сбрасывать высокоактивные вещества, также являющиеся отходами атомной промышленности. Эти

соединения и очень вредны, и обладают большим периодом полураспада. Они могут оставаться радиоактивными миллионы лет. Пока во многих странах не найден путь, как избавляться от этих отходов. В свое время, лет 20 тому назад, в США был выдвинут проект опускать контейнеры с этими высокоактивными отходами в самые глубокие впадины океана. Предполагалось, что там нет никаких течений и контейнеры будут лежать сколько угодно, не заражая океан. Но работами советских ученых было показано, что вода перемещается даже в самых глубоких впадинах, и если контейнеры каким-нибудь образом будут повреждены, то радиоактивность будет разнесена по всему океану.

Более того, оказалось, что самые глубокие впадины — самые опасные места для такого рода хранилищ. Действительно, согласно современным воззрениям как раз здесь одна литосферная плита пододвигается под другую и происходят частые землетрясения и извержения вулканов. Так что на морском дне даже трудно найти более неподходящее место для таких сбросов. Советскими учеными была развернута кампания за запрещение такого рода захоронений, и они не состоялись.

Но что же все-таки делать с радиоактивными веществами? Конечно, самый надежный способ, казался бы безопасный для Земли, состоит в том, чтобы запустить их в космос на какую-нибудь отдаленную орбиту, откуда ничто не возвращается к Земле. Но, во-первых, это не очень просто: при запуске может случиться авария, и тогда наверняка — катастрофа, во-вторых, это очень дорого. Проблема пока еще не решена. А в Соединенных Штатах эти вещества пока временно хранятся в громадных бетонных хранилищах с толстыми стенками.

Итак, подведем итоги. Океан явно нездоров: под угрозой здоровье тех живых организмов, в частности рыб, которыми мы питаемся. Через них к нам на стол могут попасть очень вредные вещества. В опасности находится климат нашей планеты, ибо поверхностная нефтяная пленка изменяет взаимодействие атмосферы и океана.

Нездоровье океана, и особенно прилегающих к нему морей, сказывается и в том, что под влиянием загрязнений изменяется в худшую сторону биологический состав его населения. Примером может служить изменение состава рыб и широкое распространение медуз в Черном море.

Предотвращением вредных последствий загрязнения океана занимается целый ряд международных организаций, в том числе агентство по окружающей среде при Организации Объединенных Наций со штаб-квартирой в Найроби. В октябре 1983 г. в Таллине по инициативе советских ученых состоялся 1-й Международный симпозиум по комплексному мониторингу Мирового океана. Заслушано много докладов, касающихся симптомов болезни океана, обсуждались пути лечения этой болезни. Было признано, что открытые районы Мирового океана еще относительно здоровы, но многие прибрежные зоны находятся в очень большой опасности. Обсуждалась возможность «вахты», при помощи которой мы могли бы непрерывно следить за процессом опасного загрязнения океана и своевременно реагировать на него. Одна из остроумных идей как раз связана с использованием биоаккумуляции вредных веществ, о которой мы говорили выше. Поскольку концентрация токсичных веществ в биоорганизмах иногда увеличивается во много раз, мы можем, производя химический анализ, например, мидий, поглощающих токсичные вещества, следить за содержанием последних в воде (недаром эта идея названа «мидиевой вахтой»).

Это один из примеров научного подхода к проблеме, которая занимает сейчас весь мир, ибо охрана «здоровья» океана — охрана здоровья каждого из нас и всей планеты.

Глава вторая

ВЕЛИКИЙ НЕИЗВЕСТНЫЙ

Два атома водорода и один кислорода. Вода. Обычное, самое распространенное соединение на поверхности Земли, и между тем как редка эта жидкость в других частях Солнечной системы, и возможно, и в целой Галактике.

Почему только Земля имеет в таком обилии один из наиболее драгоценных природных ресурсов?

ЖАК ИВ КУСТО

В первой главе мы рассмотрели роль океана в жизни человечества, его, так сказать, практическое значение.

В этой главе мы подытожим наши знания об океане. Объем этих знаний не мал, но как много еще проблем, загадок! Вот почему я называю океан Великим Неизвестным. Может быть, кому-то эта глава покажется скучной. Но ведь океанология — наука исключительно серьезная. Тут и сложные математические построения, и многие эксперименты в океане. Я не буду приводить математические уравнения, но хочу ознакомить читателя хотя бы с малой долей того, что ученые узнали об океане.

2.1. Вечно в движении

Девизом подводной лодки «Наутилус» в известном романе Жюль Верна была фраза «Вечно в движении». Эти слова могут служить точной характеристикой и самого океана — он вечно в движении. В нем текут поражающие нас своей мощью течения. Вихри различных масштабов и волны разной природы пронизывают всю его толщу. Даже элементарной тишины вы там не найдете, ибо подводный мир наполнен разнообразными шумами. Но давайте все по порядку, и начнем с течений в океане.

В наше время для изучения течений океана имеется много возможностей. Ученые создали превосходные приборы, при помощи которых можно определять скорость и направление течения на различных глубинах в океане. Однако основные характеристики глобальных океанских течений были выявлены еще ранее совсем элементарными

способами, и прежде всего при помощи расчета сноса судов. Когда корабль плывет по океану, то штурман периодически производит счисление. Зная скорость хода корабля и направление движения, он определяет, в какой точке корабль должен находиться. В действительности корабль оказывается в другом месте, так как его снесло течение. Отсюда и элементарный подсчет скорости течения. Кораблей ходило по океану много еще в далекие времена, и в результате накапливался большой материал, характеризующий течения.

Помогла также бутылочная почта. Бутылки с записками, в которых указывалось, в каком месте и когда они были выброшены в воду, путешествовали по океану. Потом их вылавливали, а сведения о том, когда и в каком месте была выловлена бутылка, передавались в пункт отправления. Из этих данных тоже можно было получить направление и скорость течения.

Основные системы течений в Мировом океане изображены на рис. 2.1. Обратимся, например, к Атлантическому океану.

Западные ветры на севере и северо-восточный пассат, проявляющийся в районах Северной Атлантики ближе к экватору, гонят водные массы вдоль широты соответственно на восток и на запад, но при этом сила Кориолиса старается повернуть их вправо. В результате действия этой силы в районе Саргассова моря уровень океана повышается примерно на 1 м. Это типичный случай антициклона. Вспомните карты погоды. Там имеются области высокого давления, а вокруг этих областей также по часовой стрелке движутся воздушные массы.

Интересно, что если построить линии равного атмосферного давления в атмосфере или линии равного возвышения поверхности воды в океане, то движения водных масс в последнем случае и воздушных масс в первом происходят не перпендикулярно этим линиям, т. е. не в том направлении, в каком непосредственно действует сила. Движение здесь происходит вдоль линий равного давления или равного возвышения поверхности океана. Таково свойство так называемых геострофических течений, реализующихся вследствие наличия силы Кориолиса на вращающейся Земле.

Таким образом, Северное Пассатное течение, переносящее воду в основном в западном направлении, Гольфстрим

и Северо-Атлантическое течение, в которое Гольфстрим переходит в умеренных широтах, а также Канарское течение образуют в Северной Атлантике единый гигантский антициклональный круговорот. Из них наиболее ярко выражен сравнительно узкий, обладающий большой скоростью течения Гольфстрим. Общая же закономерность океанских течений, которая тоже обязана своим существованием вращению Земли, заключается в том, что течения гораздо более четко выражены в западных областях океана, близких к его берегам, чем в восточных. Стоит сравнить, например, слабо выраженное Канарское течение и Гольфстрим.

Аналогичная картина наблюдается в Южной Атлантике. Здесь Южное Пассатное течение, перемещающее в тропических широтах воду в западном направлении, переходит в Бразильское у берегов Южной Америки. Затем работает ветвь Антарктического циркумполярного течения, и, наконец, при участии Бенгельского течения, текущего вдоль берегов Юго-Западной Африки, снова образуется огромный круговорот, но уже направленный против часовой стрелки, как и должно быть у антициклона Южного полушария. В центре, в южной части Атлантики, также имеется возвышение, которое огибается этой системой течений.

Вблизи экватора картина усложняется. Между северо-восточными и юго-восточными пассатами имеется штилевая зона, опять-таки хорошо известная капитанам парусных кораблей. К северу и к югу от нее ветры стараются гнать воду в западном направлении, но из-за силы Кориолиса происходит отклонение движения водных масс к северу в Северном полушарии и к югу — в Южном. Для компенсации ухода вод из тропической приэкваториальной зоны, т. е. так называемой дивергенции (расхождения) вод, снизу из глубин океана на поверхность поднимаются холодные воды. Так появляется экваториальный ап-

←

Рис. 2.1. Основные течения в Мировом океане (по кн.: Дрейк Ч. и др. Океан сам по себе и для нас. М.: Прогресс, 1982)

Вращение Земли приводит к тому, что в Северном полушарии, как в Атлантическом, так и в Тихом океане, генеральный круговорот вод происходит по часовой стрелке, а в Южном полушарии — против часовой стрелки (Э. п. — Экваториальное противотечение)

веллинг. В середине зоны экваториального аввеллинга, кроме вертикальных движений воды, существует еще довольно четко выраженное движение вдоль широты с запада на восток — экваториальное противотечение. Ось этого течения не совпадает с экватором, а лежит примерно на 5° севернее, так что на самом экваторе поверхностные воды текут с востока на запад.

Но на самом экваторе происходит еще более удивительное явление. Оказывается, хотя поверхностные воды перемещаются с востока на запад, на небольшой глубине (200—400 м) прямо вдоль экватора течет с запада на восток «река» шириной около 300 км. По вертикали это экваториальное подповерхностное противотечение простирается примерно на 200 м. В Атлантике оно было открыто советскими учеными в экспедиции на корабле «Михаил Ломоносов» и поэтому названо течением Ломоносова. Скорость переноса вод в нем 1—1,5 м/с. Забегая вперед, скажем, что аналогичные течения на экваторе есть и в Тихом океане — течение Кромвелла, и в Индийском океане — течение, которое советские ученые назвали течением Б. Тареева.

Подобная картина генеральных течений имеет место и в Тихом океане. Аналогом Гольфстрима в Тихом океане является всем хорошо известное Куроисио. Аналогом Бенгельского течения в южной части Тихого океана является течение Гумбольдта, или Перуанское течение, текущее вдоль западных берегов Южной Америки.

Несколько отличается картина в Индийском океане. Это район с ярко выраженной картиной сезонных ветров — муссонов. Под их действием и циркуляция Индийского океана носит также четко выраженный сезонный характер.

Каждое из упомянутых выше течений переносит громадные массы воды. Так, Гольфстрим переносит объем воды, в 80 раз превосходящий сток всех рек нашей планеты. Однако настоящим колоссом среди течений является Антарктическое циркумполярное течение, которое охватывает материк Антарктиду и течет с запада на восток. Это течение в несколько раз мощнее Гольфстрима. Оно поддерживается системой ветров, дующих в высоких широтах Южного полушария также с запада на восток.

Надо сказать, что аналогичная система ветров имеется и в Северном полушарии, но там нет аналога Антарктиче-

скому циркумполярному течению. Объясняется это особым расположением материков. Воды Атлантического океана не могут в большом количестве проникать в Тихий океан на севере из-за отсутствия для этого широких проходов. Единственный путь — Берингов пролив, но он узкий и мелкий, всего несколько десятков метров глубиной. В то же время в Южном полушарии для движения вод вокруг Антарктиды предоставлена полная свобода, поскольку самое узкое место, отделяющее Южную Америку от Антарктиды, — пролив Дрейка шириной 550 км и глубиной 3000 м.

Мощность морских течений измеряется в особых единицах, именуемых свердрупами (1 свердруп равен переносу 1 млн. м³ в секунду, что соответствует 32 тыс. км³ в год). Общий речной сток на земном шаре составляет 38 тыс. км³ в год, т. е. несколько больше 1 свердрупа. Насколько морские течения мощнее наших рек, видно из того, что Антарктическое циркумполярное течение имеет расход около 200 свердрупов, равный почти 200 стокам всех рек земного шара. Расход Гольфстрима в разных его местах разный, но в максимальной его части по довольно достоверным оценкам достигает 90 свердрупов. Расход Куроисио — около 60 свердрупов.

Разумеется, я опустил многие интересные детали и перечислил далеко не все течения. Но об одной особенности циркуляции вод океана нельзя не сказать. Воды, которые из тропических широт, например, течением Гольфстрим переносятся в северные широты, лишь частично замыкаются в том круговороте, о котором мы говорили выше. У некоторой доли этих водных масс иная судьба. Теплые и соленые воды тропиков, попадая в северные широты, охлаждаются, а на поверхности из них начинает образовываться лед. Когда из воды образуется лед, то он оказывается более пресным, чем вода. Соответствующая часть солей остается в воде. Поэтому в северных широтах, где образуется лед, вода получает добавочную соленость и, естественно, оказывается более тяжелой. В результате она опускается на глубину и уже по глубинным областям океана, например той же Северной Атлантики, перетекает в тропические широты. Вот поэтому и в умеренных, и в тропических широтах в придонных областях всегда имеется холодная вода полярного происхождения.

Такая же картина наблюдается и в Южной Атлантике. Там эти холодные воды называются антарктическими. Вместе с экваториальным апвеллингом они тоже образуют своеобразный круговорот, но уже в направлении север—юг и обратно. Последние круговороты в Северном и Южном полушариях происходят очень медленно. Примерные оценки показывают, что здесь времена могут исчисляться тысячелетиями. Более точно этого никто не знает, потому что надежные исследования пока не проводились.

Естественно, столь элементарная картина циркуляции вод в океане справедлива, как говорят, в среднем, т. е. если усреднять движение воды за многие месяцы и годы. Если же вы выйдете в океан и станете измерять скорость течения на различных горизонтах в течение недели или месяца, то получите нечто совершенно иное. Так, например, это и было в 1970 г. при осуществлении советского эксперимента «Полигон». Место для эксперимента было выбрано в районе Северного Пассатного предположительно очень устойчивого течения тропической части Атлантики. На первый взгляд, тут нельзя было ожидать чего-нибудь особенного. Но мы специально выбрали такой район для того, чтобы посмотреть, что происходит на самом деле в местах, в которых, как принято считать, существуют устойчивые стационарные течения.

Что же мы получили? Через 25 дней после начала эксперимента мы подняли приборы на станции, расположенной в центре полигона. Расшифровка их записей показала, что, когда начались измерения, скорость течения была направлена прямо противоположно тому, что считается типичным для этого района. А именно, на всех картах Северное Пассатное течение изображается направленным на юго-запад. Замеренная же нашими приборами скорость вод на глубине 100—400 м была направлена на северо-восток. Через две недели направление скорости течения изменилось и стало северным. Подробная расшифровка всех записей опыта позднее показала, что через область полигона проходили громадные океанические вихри размерами 100—150 км. По глубине вихри захватывали всю область, в которой проводились измерения. Доклад о полученных результатах на Международной океанической ассамблее в сентябре 1970 г. в Токио вызвал исключительно большой интерес.

Через несколько лет аналогичный эксперимент в Атлантике был осуществлен американскими учеными, которые полностью подтвердили и несколько расширили данные полигонного эксперимента. В дальнейшем был поставлен совместный советско-американский опыт (с привлечением ученых ряда других стран), где динамика океанических вихрей исследовалась очень подробно. Эти и последующие эксперименты показали, что так называемые вихри открытого океана существуют повсюду. ими обусловлено около 90% кинетической энергии движения вод океана. В дальнейшем, по предложению члена-корреспондента АН СССР А. С. Момина, вихри такого типа стали называться синоптическими. Они привлекают все больше и больше внимания, и их изучение стало очень важной составной частью физической океанологии. Подробно об этом я расскажу в главе «Как делаются открытия».

Все это относится к вихрям открытого океана. Но существуют другие вихри, вызванные неустойчивостью течений типа Гольфстрим и Куроисио. Гольфстрим не является спокойной рекой, он, как говорят, меандрирует, т. е. ходит из стороны в сторону, и степень отклонения от среднего положения непрерывно меняется, причем по-разному в разных местах. Иногда «русло» течения меняется настолько стремительно и радикально, что образуется совершенно самостоятельный, отщепившийся от основного течения вихрь. Таких вихрей Гольфстрим генерирует за год несколько штук. «Вновь рожденные» вихри существуют в океане по нескольку лет, двигаясь в юго-западном направлении, после чего снова вливаются в Гольфстрим. Отличаются они от вихрей открытого океана заметно большей скоростью вращения и именуются рингами (ринг — кольцо). Ринги, действительно в виде своеобразных колец, хорошо регистрируются с космических аппаратов.

Итак, громадные массы воды переносятся многочисленными течениями океана и вихрями. Но этим дело не ограничивается. Любая частичка океанской воды участвует также в различных видах волновых движений.

Течения переносят воду, и она перемещается порой на громадные расстояния. Специфика волн другая — волна переносит энергию, но частички воды в основном (в среднем) остаются на месте. Посмотрите, как ведет себя щеп-

ка, качающаяся на волнах. Волны бегут, а сама щенка остается на месте.

Волн в океане много — самые разнообразные и по своим периодам, и по своей природе. Наиболее высокочастотные волны механической природы — ультразвуковые хорошо распространяются под водой, куда не проходят ни свет, ни другие электромагнитные колебания. Облучив ультразвуковыми волнами какой-либо объект под водой, можно затем принять рассеянные волны, сфокусировать их в ультразвуковой линзе и получить ультразвуковое изображение предмета. Превратив ультразвуковое изображение в видимое (для этого есть способы), можно увидеть предмет, который находится в воде на десятки, а может быть, сотни метров от вас.

Самые низкочастотные волны в океане — это волны Россби, их период может составлять несколько месяцев, а длины — многие сотни километров.

Рассмотрим некоторые виды волн подробно. Но начнем со знакомых для любого из нас поверхностных волн. У Козьмы Пруткова имеется афоризм: «Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустою забавою». Афоризм этот для океанологов сугубо практичный. Океанологи уделяют волнам большое внимание. В самом деле, волны на поверхности океана присутствуют практически всегда. И по многим причинам их необходимо изучать.

Во-первых, для того, чтобы правильно строить корабли, которые могли бы успешно бороться с волной, а не опрокидываться на ней.

Во-вторых, знание законов поведения поверхностных волн поможет строительству портов и других сооружений, таких, скажем, как нефтяные вышки. Изучая из космоса поверхностные волны, можно определить силу приповерхностного ветра. А это уже совершенно необходимо для прогноза погоды, ведь на океане нет такого количества метеостанций, как на суше. Замеряя приповерхностный ветер и характеристики волны, можно также определить начало зарождающегося тайфуна. Кроме того, в детальном знании характеристик поверхностного волнения нуждаются физики, которые изучают распространение электромагнитных волн над морем или звуковых волн в море. Короче говоря, потребителей много.

Несмотря на то что человек наблюдает морское волнение тысячелетиями и уже несколько сотен лет изучает это явление, результаты пока что далеки от полноты.

Существует много принципиальных экспериментальных трудностей, связанных, в частности, с тем, что измерения осуществляют с борта корабля, который сам качается. Есть приборы — волномеры, которые выпускаются с корабля и измеряют размах волн и частоту колебаний, но эти измерения дают очень ограниченную информацию, поскольку касается она лишь одной точки измерений.

Однако все-таки многое нам известно. Достаточно банально наблюдение, заключающееся в том, что чем дольше дует ветер, тем сильнее волны. При данной скорости ветра, если ветер дует долго, наступает некоторое равновесие. Тогда мы имеем так называемое развитое ветровое волнение, характеристики которого зависят только от скорости ветра. Это волнение очень сложное, в нем присутствуют разные частоты и длины волн; оно весьма нерегулярное. Недаром на сей счет одним ученым было высказано остроумное замечание: «Основная закономерность морских ветровых волн — это отсутствие всякой закономерности».

Имеются некоторые закономерности для описания лишь определенных средних характеристик волнения. Так, известно, при какой силе ветра какой период волны максимально выражен. Например, при умеренном ветре силой в 4 балла (скорость ветра около 7 м/с) максимум энергии приходится на волну с периодом 6 с. Высота волны при этом составляет 60 см. При очень крепком ветре — в 8 баллов (скорость около 19 м/с) — сильнее всего выражена волна с периодом 11 с. При этом ее высота составляет 6 м. Нередки случаи, когда волна достигает высоты 20 м. Наличие девятого, наиболее сильного вала (пресловутый девятый вал) ни теорией, ни экспериментом не подтверждено, хотя самое простое наблюдение за морской волной показывает, что высота гребней меняется от одного к другому. Измерение морских волн — дело достаточно сложное, но не менее сложна их теория. Сложности происходят главным образом из-за нелинейности уравнений гидродинамики, описывающих это явление. Следствие нелинейности — искажение вида волны при ее распространении, а также взаимодействие волн различных частот.

Крайний случай проявления нелинейности можно наблюдать, так сказать, невооруженным глазом. Когда вы стоите на палубе корабля и смотрите на волны (сознаюсь, что это мое любимое занятие во время отдыха в экспедиции), то даже при слабом ветре и слабом волнении вы видите, как тут и там волны обрушиваются, возникают пенные пятна. В этом процессе волны просто «погибают» — их энергия переходит в другие формы.

В море все быстро меняется. После сильного ветра, кружной беспорядочной волны наступает безветрие или слабый ветер. Тогда ветровая волна, очень нерегулярная, постепенно превращается в регулярную зыбь — грозу для людей, которые укачиваются в море. Теория морской зыби разработана лучше всего. Здесь можно идеализировать волну в виде синусоиды, а тогда все упрощается. Так как обычно высота зыби мала по сравнению с длиной волны, то можно также пренебрегать нелинейными эффектами.

Другой хорошо разработанный теоретический случай — это волны на мелкой воде, длина которых много больше глубины моря. Именно в теории таких волн возникли очень полезные математические модельные представления, которые широко использовались и в других отраслях науки. В частности, именно на волнах в мелкой воде были открыты так называемые солитоны — уединенные волны, управляемые типично нелинейными законами распространения.

Среди представителей волн на мелкой воде имеется грозное цунами. Эта волна возникает во время подводных землетрясений, когда на каком-то участке происходит быстрый сдвиг, поднятие или опускание земной коры. На этом участке изменяет свою высоту и поверхность воды — возникает возвышение или понижение, которое потом распространяется во все стороны со скоростью, зависящей от глубины моря (скорость прямо пропорциональна корню квадратному из глубины). Волна цунами может возникнуть также и при извержении подводного вулкана. Средняя глубина океана примерно 4000 м. При такой глубине скорость волны цунами составляет примерно 200 м/с. Волна не заметна в открытом океане, но становится все выше и выше при переходе на мелководье. Из закона сохранения энергии волны нетрудно получить, что ее высота обратно пропорциональна глубине моря в степени $1/4$. Допустим, что в открытом океане на глубине 4 км распростра-

няется волна цунами высотой 3 м и характерным периодом 10 мин. При этом ее длина в открытом океане около 120 км. Корабль даже не заметит такую волну, когда она пройдет под ним. Но когда волна выходит на мелководье, то на глубине 5 м высота ее становится равной 16 м, а это уже разрушительный вал. Набегая на побережье, он сметает все, что встречает на своем пути. Так, например, в 1886 г. в Японии от одного цунами погибло примерно 27 тыс. человек.

Из-за того что скорость волны цунами зависит от глубины океана, а глубина меняется от места к месту, получается довольно сложная картина распространения волны с усилением ее в одних местах (фокусировка волны) и ослаблением (дефокусировка) — в других. Подводные хребты, где глубина моря меньше, служат своего рода волноводом, по которому волна цунами может, не рассеиваясь в стороны и, следовательно, не сильно ослабляясь, распространяться на громадные расстояния через весь океан, принося большие разрушения.

Сейчас во всех прибрежных странах организована служба цунами, задача которой предупредить население о приближающейся разрушительной волне. Обычно употребляются два метода опознавания приближающейся волны цунами: измерение уровня воды и прием возникающих одновременно с цунами сейсмических волн. Первый способ не дает достаточно заблаговременного предупреждения цунами, со вторым связано слишком много ложных тревог. Ведь далеко не при всяком подводном землетрясении или извержении подводного вулкана, где излучается мощная сейсмическая волна, возникает одновременно и цунами. Ложная тревога происходит из-за того, что, приняв сильную сейсмическую волну и определив, что возникла она где-то в океане на определенном расстоянии, приемная сейсмостанция дает сигнал о приближающейся волне цунами, население укрывается в безопасных местах, а потом оказывается, что цунами и в помине нет. Это подрывает доверие к службе прогноза, и в следующий раз население остается равнодушным к предупреждениям, и вот тогда-то их и может настичь настоящая волна цунами.

За последние годы успешно развиваются новые методики. Прежде всего, это прием акустических волн подводного землетрясения, распространяющихся по воде. Однако

здесь тоже возможны ложные тревоги. Более надежной является фиксация волны цунами сверху из космоса или снизу с дна океана. С искусственного спутника Земли уже теперь можно определять изменение уровня океана с точностью до десятка сантиметров, а в дальнейшем эта точность будет увеличиваться и, следовательно, в принципе можно будет зафиксировать волну цунами, приближающуюся к берегу. Снизу то же самое изменение уровня моря можно определить прибором, лежащим на дне океана, измеряя давление столба воды над ним или время пробега звукового импульса до поверхности воды и обратно.

Выше я назвал цунами волнами на мелкой воде. На какой же это мелкой, спросит читатель, если эта волна пересекает самые большие океанские глубины? Однако дело здесь в том, что ученые океан в любом месте считают мелким, если глубина воды значительно меньше длины волны. Для цунами (в приведенном выше примере ее длина около 120 км) это всегда так.

Волны на мелкой воде могут проявлять себя еще и по-другому. Иногда на акватории замкнутого порта возникают колебания воды, при которых в одном конце порта имеет место возвышение, а в другом в то же самое время — понижение воды, и наоборот. Это так называемые сейши — стоячие волны на мелкой воде. Они могут появляться по разным причинам — действие ветра, волн, приходящих из открытого океана, и т. д. Сейши возникают и в других замкнутых водоемах, например в озерах, в заливах.

Физически сейши — это просто резонансное колебание воды на ограниченной акватории, поэтому их легко рассчитать.

Стоит, правда, заметить, что все не так уж просто. Иногда сейшевые колебания имеют весьма сложный характер, если, например, бухта или озеро, где они существуют, разбивается на ряд областей, в центре которых амплитуда волны максимальна, а области разделены так называемыми узловыми линиями, где возвышение равно нулю. Нередки случаи, когда силы, вызывающие сейши, попадают в резонанс с собственными колебаниями водоема. Тогда они многократно усиливаются и могут сорвать корабли со швартовых у стенки в бухте.

Один из примеров такого резонанса — это когда сейшевые колебания в бухте вызываются приливными волна-

ми, а собственный период этой бухты совпадает с периодом приливных колебаний.

Интересно, что резонансные колебания могут происходить и в открытом пространстве, в окрестности, скажем, острова. Объяснение достаточно элементарное. Скорость волны тем больше, чем больше глубина. Когда волна отходит под каким-то углом от береговой линии в море, то из-за того, что ее скорость (при увеличении глубины) увеличивается, волна рефрагирует и возвращается снова к острову, затем после отражения снова отходит от него и т. д. В результате волна обегает остров много раз, не имея возможности покинуть его. Такую волну называют волной, «захваченной» островом.

Я уже говорил, да это, пожалуй, известно каждому, что поверхность океана может быть совершенно гладкой и относительно спокойной, но это еще не значит, что океан «затих». Под его невозмутимой гладкой поверхностью могут бежать внутренние волны, размах которых порой достигает сотен метров, чего на поверхности даже нельзя и заподозрить, поскольку самые мощные внутренние волны способны вызывать там лишь еле заметные колебания.

Впрочем, иногда, я об этом скажу ниже, и внутренние волны могут дать своеобразный след на поверхности.

Итак, посмотрим, что же собой представляют внутренние волны. Они медленные, с периодами, измеряемыми минутами и даже часами, но это не мешает им порой проявлять себя самым роковым образом. Иногда подводные лодки, попавшие в зону действия такой волны, испытывают множество неприятностей. Подозревают, что внутренняя волна погубила американскую подводную лодку «Трешер».

Внутренние волны в какой-то степени аналогичны поверхностным. Что такое поверхность океана? Это граница воды и воздуха, т. е. с точки зрения физики граница двух сред с различной плотностью. Но и внутри океана часто встречаются слои различной плотности. Небольшая разница в плотности существует из-за разности в солёности и температуре. В условиях покоя границы этих слоев строго горизонтальны, как и поверхность невозмущенного океана. Допустим, однако, что какая-то причина заставила более плотный, т. е. «тяжелый», слой подняться — такого рода возмущения часты не только на поверхности, но и внутри океана. Под действием силы тяжести появившийся «горб» тут же опустится вниз. Так появится возмущение, которое

начнет распространяться во все стороны как внутренняя волна.

Внутренние волны по своей физической природе богаче поверхностных. Допустим, что внутри океана существует граница между слоями воды разной плотности. Такая граница может колебаться, если ее вывести из горизонтального положения. Это аналог поверхностной волны. Но это лишь самый простейший тип внутренней волны (хотя именно благодаря ему были открыты внутренние волны). Если взять теперь не резкую границу, а размытый переходный слой между водой одной плотности и водой другой плотности (как обычно в море и бывает), то в таком случае может существовать много, как говорят, «мод», т. е. разновидностей внутренней волны. Каждая мода имеет свою специфическую зависимость скорости колебания частиц от глубины и скорость распространения по горизонтали. Из них простейшая (первая) мода — это когда слой изгибается весь примерно как единое целое. В модах более высоких порядков слой разбивается на отдельные подслои, в которых колебания происходят в разных фазах: например, в одном слое частицы в данный момент движутся вниз, а в другом — вверх.

Иногда внутренняя волна распространяется в виде уединенного возмущения — солитона. В других случаях появляются так называемые дуги внутренних волн, т. е. последовательность нескольких колебаний. И наконец, самый распространенный случай — широкий спектр внутренних волн разных частот, распространяющихся во всех направлениях.

Внутренние волны существуют в океане практически повсеместно и в любое время. Причины их возникновения могут быть разные. Одна из них — приливные волны с типичными периодами 12 и 24 ч (полусуточные и суточные приливы), которые распространяются по океану и усиливаются около берегов. Эти волны, взаимодействуя с подводными хребтами, могут рождать внутренние волны.

Внутренние волны, как мы уже говорили выше, иногда оставляют свой след на поверхности. Что это за след? Изменение уровня поверхности под действием внутренней волны ничтожно, его мы не заметим. Но оказывается, что горизонтальная скорость движения частиц, участвующих в колебаниях внутренней волны, может быть заметна. На поверхности всегда дует ветер, создающий рябь. Эта рябь

будет разной в зависимости от того, как двигаются частицы поверхности воды под действием внутренней волны — идут они навстречу ветру или по ветру. В результате по разной ряби на разных участках поверхности воды и может стать заметной сверху внутренняя волна. Одно время некоторые космонавты утверждали, что они видели с орбитальных станций подводные хребты в таких местах, где они должны быть расположены на глубине нескольких километров под водой. С самого начала было ясно, что это невероятно. Свет не может проникать на несколько километров в воду. Теперь мы думаем, что они действительно наблюдали проявления подводных хребтов, но лишь в виде следа внутренних волн, возникших на этих хребтах.

Самые спокойные внутренние движения воды — волны Блиновой—Россби. Они не спеша, со скоростью в несколько сантиметров в секунду движутся с востока на запад. Интересно, что перенос энергии происходит в обратном направлении — с запада на восток. Период колебания этих волн чрезвычайно велик — от недель до нескольких месяцев.

Впервые подобные волны были открыты в атмосфере, потом уже их открыли океанологи. Существует предположение, что некоторые синоптические вихри открытого океана образуются системой волн Блиновой—Россби.

Грубо говоря, волны Блиновой—Россби — результат взаимодействия сил гравитации и сил, проявляющихся в результате вращения Земли вокруг своей оси (сила Кориолиса).

Движение частиц, участвующих в переносе волн Блиновой—Россби, почти горизонтально. В так называемых баротропных волнах вся масса воды от поверхности до дна движется с одинаковой скоростью и строго горизонтально. Однако в волнах бароклинных с глубиной меняется и характер волны.

Волны Россби — это явление крупномасштабное. Однако существует явление совсем мелкого масштаба, которое, несмотря на это, самым существенным образом влияет на жизнь Мирового океана в целом. Я имею в виду так называемую тонкую структуру вод океана.

2.2. Тонкая структура и турбулентность

В науке нередко бывают случаи, когда появление принципиально новых приборов для измерения вполне стандартных величин приводит к открытию качественно новых явлений.

Так получилось и в океанологии. Некоторое время тому назад технический прогресс позволил создать чувствительные зонды, при помощи которых можно было измерять непрерывную зависимость температуры и солёности воды от глубины погружения. Раньше считали, что эта зависимость плавная, а получавшиеся в ряде опытов отклонения от этого приписывали просто несовершенству самих приборов. Но вот измерения с помощью современных приборов — зондов показали, что эти представления были абсолютно неверными. Более того, эти измерения выявили очень необычную структуру вод Мирового океана.

Выяснилось, что основные характеристики воды постоянны в пределах относительно тонких слоев, где-то между десятками сантиметров и десятками метров. При переходе же от слоя к слою температура воды, ее солёность, а следовательно, и плотность меняются резко, почти скачкообразно. И подобных слоев может быть очень много. Таким образом, Мировой океан представляет собой своеобразный большой «слоеный пирог», обладающий мелкомасштабной, или тонкой, структурой.

Но и это еще не все. Ученые обнаружили примерно такое же строение у течений. Скорость течения приблизительно постоянна в тонких слоях и затем изменяется почти скачком при переходе от одного слоя к другому.

Слоистая структура меняется во времени и пространстве. В горизонтальном направлении слои остаются неизменными на расстоянии до десятка километров. Сохраняется такая структура в течение нескольких суток. Затем все меняется (но, конечно, не сразу, а постепенно), и возникает новая система — опять-таки «пирог», но с иной «начинкой» и другим распределением слоев.

Вода есть вода, она подвижна, подвержена многим внешним влияниям, так что сама по себе изменчивость — своеобразная «прихотливость» океана — свойство, не вызывающее никакого удивления. Но почему образуется именно тонкая структура, каким образом она удерживается столь продолжительное время — ведь исследователь в

течение нескольких суток может многократно зондировать океан, получая одинаковые результаты,— вот вопросы, на которые однозначных ответов пока нет. Ясно одно: тонкая структура играет очень важную роль во всей жизни океана. Кроме того, она порождает целый ряд чрезвычайно интересных явлений, важных как в теоретическом, так и в практическом отношении. Скажем, на границе между слоями распространяются совершенно специфические внутренние волны очень высоких частот. Раньше мы и не подозревали об их существовании.

В заключение раздела остановлюсь на очень универсальном явлении в океане — турбулентности. Слово «турбулентность» происходит от латинского *turbulentus* — «бурный, беспорядочный» и относится к движениям жидкостей и газов, характеристики которых неупорядоченны, хаотичны, так что отдельные частицы движутся по абсолютно непредсказуемым траекториям.

Очень сильно развиты турбулентные движения в верхнем перемешанном под действием ветра слое океана (толщиной в несколько десятков метров). Чем дольше дует ветер, тем больше толщина перемешанного слоя. Картина турбулентности в этом слое очень похожа на классическую, которая в свое время была развита во многих работах известным советским математиком академиком А. Н. Колмогоровым. Согласно этой теории энергия передается от крупных масштабов турбулентности к более мелким. Таким образом, турбулентность как бы дробится. Наконец, энергия переходит к самым мелким масштабам движения — порядка миллиметров по размерам — и там переходит в тепловую энергию.

Совершенно другой характер турбулентности в глубинных слоях океана, где существенна стратификация жидкости, т. е. изменчивость ее плотности с глубиной. Существующие здесь внутренние волны время от времени обрушиваются так же, как обрушиваются время от времени поверхностные волны на поверхности океана. Только в случае поверхностных волн появляются всем известные «барашки» — белая пена, а при обрушивании внутренних волн — турбулизированные зоны. Последние вследствие стратификации жидкости испытывают так называемый к. ллапс — особый процесс, когда независимо от первоначальных форм турбулизированных областей они постепенно превращаются в своего рода тонкий блин. Та-

ким образом, в глубинах океана всегда должны существовать блины турбулентности, действительно неоднократно обнаруженные исследователями.

В океане все связано друг с другом, все переплетается, ибо ведет себя океан как единая сложная система. Только что рассказанное — один из видов такой связи. Приведу еще несколько подобных примеров.

Поверхностные гравитационные волны, распространяющиеся навстречу или почти навстречу друг другу, «сталкиваясь», излучают в атмосферу и в глубины океана инфразвуковые волны. В глубинах океана последние образуют фон так называемых микросейсм — довольно неприятная помеха для сейсмических исследований в океане. В атмосфере эти волны обнаружены сравнительно давно, еще до второй мировой войны, академиком В. В. Шулейкиным весьма элементарным способом — резиновые шары, наполненные водородом, резонировали на частоту инфразвуковых волн. В. В. Шулейкин очень образно назвал их «голосом моря». Эти волны распространяются в атмосферном звуковом волноводе на многие тысячи километров, слабо затухая при этом. Поскольку встречные гравитационные волны наблюдаются чаще всего в штормовой зоне, то, принимая возбужденные ими инфразвуковые волны на берегу за много тысяч километров, мы можем обнаружить в море зону шторма.

Кстати, стоит заметить, что в популярной литературе иногда встречаются совершенно необоснованные утверждения, будто бы эти инфразвуковые волны могут убивать людей, плавающих на кораблях. Разумеется, эти волны действуют на человека и даже могут вызвать у него головную боль, но убить его они никак не могут. Как показывают расчеты, их энергия невелика.

Интересно, что гравитационные поверхностные волны, распространяющиеся не навстречу, а в близких друг к другу направлениях, тоже могут генерировать волны в глубинах океана, но на этот раз уже знакомые нам внутренние волны. Этот эффект наблюдался неоднократно. Волна возникла в зоне сляка скачка плотности океанской воды, или, как говорят, в сезонном термоклине, существующем в морях и океанах на глубинах от десятков до сотен метров. Наоборот, две внутренние волны, взаимодействуя друг с другом, могут генерировать поверхностную волну, снова, таким образом, проявляя себя на поверхности.

Другим, очень интересным, но пока совершенно неисследованным вопросом является распространение внутренних волн в зоне океанических синоптических вихрей. А ригорі ясно, что внутренние волны в таких вихрях могут усиливаться, а могут и ослабляться. Но как — пока неизвестно. Точно так же недостаточно исследован процесс взаимодействия волн всех видов, о которых я говорил выше, с течениями в океане. Совершенно ясно, что в некоторых случаях волны могут усиливать среднее течение, а в других — наоборот, энергия течения передается волнам. Но все это пока еще мало исследованные явления. Пусть читатель не удивляется, что я все время подчеркиваю существующие нерешенные проблемы. Ведь это как раз самое интересное. Нельзя говорить о науке как о некоем собрании прописных истин и устоявшихся взглядов. Это плохо даже для школьного учебника. Наука динамична, и, как мне кажется, исключительно интересно, знакомясь с какими-то разделами ее, сразу же получить представление о множестве нерешенных проблем.

А их в этом мире вечного и разнообразного движения, каким является Мировой океан, как говорится, хоть пруд пруди!

2.3. Всюду жизнь

На суше проявление живой природы многообразно. Природа одарила нас тысячами, десятками тысяч видов растений, животных, птиц и насекомых.

Прибрежные воды моря тоже наполнены жизнью. Но стоит отойти на корабле подальше от берега, дождаться, когда скроются за горизонтом смутные очертания крыш домов, деревья, уйдет узкая полоска суши, кажется, что и жизнь тоже ушла вместе с берегом.

Правда, вас будут сопровождать птицы, но и они довольно скоро отстанут. Останется лишь небо над головой и безбрежные, безжизненные на вид просторы океана. На границе воды и атмосферы жизнь кое-где проявляется, но трудно поверить, что по всей глубине океанских вод до самого дна процветает жизнь, — океан полон и растениями, и живыми существами, причем по разнообразию видов этих существ он вполне сравним с сушей. Ведь в океане находятся и млекопитающие, и пресмыкающиеся, и земноводные, и членистоногие и т. д. Но имеются формы спе-

цифические, существующие только в морской воде, в том числе на больших глубинах.

Конечно, тот факт, что океан весьма солидно и чрезвычайно разнообразно населен, не был секретом еще для наших предков — для тех, разумеется, кто непосредственно общался с морем. Самые первые письменные или, точнее сказать, художественные свидетельства о жизни древних — наскальные рисунки рассказывают нам о том, как в те чрезвычайно далекие времена люди ловили рыбу и раков, собирали водоросли и различных моллюсков, причем пользовались при этом гарпунами, сетями и даже удочками, напоминающими современные орудия ловли рыбы.

Однако до недавнего времени люди и даже ученые не знали, что океан с самого тонкого слоя поверхностных вод до глубочайших впадин являетсяместищем жизни.

Мы с вами до сих пор знакомились лишь с теми живыми организмами океана, которые могут быть объектом промысла. Биологическая система океана очень разветвлена и включает в себя около 200 000 различных видов животных и растений. Объекты промысла — лишь крошечная часть этой системы, но как часть не могут существовать без целого, поэтому морские биологи последнее время активно заняты изучением всей экологической системы океана. Кроме того, кто знает, какие обитатели моря будут включены в промысел через 20—30 лет и окажутся на столе у человека.

Насколько богатой может быть жизнь в океане, знает каждый, кому посчастливилось поплавать с маской под поверхностью воды в одном из районов коралловых рифов или хотя бы посмотреть подводные кино съемки, сделанные в этих местах. Разноцветные яркие кораллы, желтые, красные, зеленые известковые водоросли, разнообразные губки, морские ежи, звезды (рис. 2.2), моллюски (среди них гигантские тридакны, вместе с раковиной масса их достигает 200 кг). И всюду блестящие стайки разноцветных рыб. Весь этот подводный мир подвергается жестокому воздействию со стороны прилива. В ряде случаев сильны и направленные вдоль берега течения. Тогда кораллы, эти жесткие известковые структуры, пронизанные и покрытые слизкими полипами, приобретают вид деревьев, нагнувшихся под действием ветра. Один такой коралл стоит у меня в кабинете, он несет на себе следы вдольберегового течения. Я достал его на коралловом рифе в атолле одно-

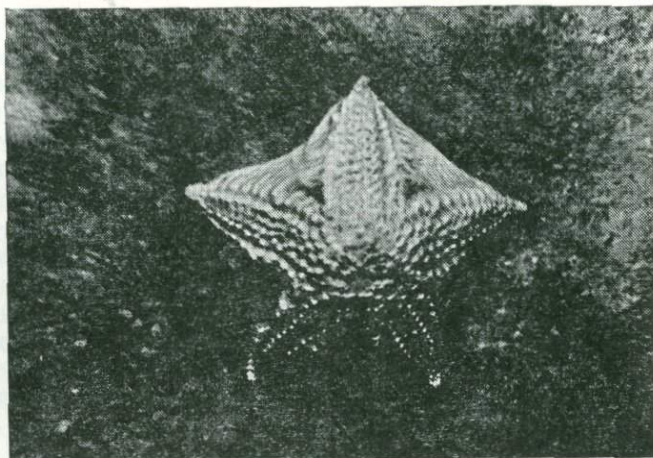


Рис. 22. Эта морская звезда с глубины трех километров, отлитая в драгоценном металле, могла бы превратиться в прекрасный орден или медаль, выдаваемые за выдающиеся достижения в изучении Мирового океана

го из многочисленных Мальдивских островов. Это было в экспедиции на «Дмитрий Менделеев» в Индийский океан в 1975 г. Получив разрешение от властей, мы пошли на юг, где провели на одном из удаленных островков прекрасные полдня. Плавание с масками, азарт охоты за красивыми кораллами, наблюдение изумительных подводных красот кораллового рифа — все это безумно захватывает. После часа-двух, проведенных в воде, какое наслаждение поваляться на горячем песке под лучами тропического солнца, жевать белое сырое мясо тридакны, приятно похрустывающее на зубах, а потом опять в воду...

Заметим, что общая площадь коралловых рифов в Мировом океане отнюдь не мала. Только в Тихом океане она сравнима с площадью Австралии. Протяженность Большого барьерного рифа, например, который расположен как раз у берегов Австралии, 2000 км.

Жизнь в океане всепроникающая. Она всюду — на всех широтах и на всех глубинах. Однако интенсивность (здесь, мне кажется, очень уместно употребить этот физический термин) жизни может быть самая разная. В тех же тропиках она велика на коралловых рифах и гораздо более слабая в открытых частях океана. Мы любуемся голубы-

ми прозрачными водами тропического океана. В то же время надо помнить, что их голубизна и прозрачность означают бедность их питательными биогенными веществами. Но жизнь существует и здесь, притом очень многогранная.

Вот отрывки из описаний К. Броуэром¹ своих путешествий в глубину тропического океана. Кстати, эти импровизированные экспедиции были сделаны ночью.

«В течение шести недель почти каждую ночь мы погружались в глубины на подветренной стороне самого большого из Гавайских островов, горы которого заслоняли нас от ветра, в результате чего около 300 кв. миль площади моря были достаточно спокойны, для того чтобы можно было путешествовать в маленькой лодке. Удалившись от 3 до 10 миль от берега, мы глушили мотор и полагались на течение и ветер.

Самодельная клетка, построенная из пластиковых водопроводных труб и плексигласа, защищающая нас от акул, опускалась на 28 футов в глубину. Однако мы проводили в этой клетке совсем мало времени и опускались глубже — до 150 футов. Тогда так называемая морская пустыня (так называют иногда малообитаемые тропические воды) начинает жить. В сумерках в море начинается интенсивная вертикальная миграция. Мельчайший зоопланктон поднимается кверху для питания. Так начинает функционировать пищевая цепь.

Фантастическая драма разыгрывается в свете двух автомобильных фар, прикрепленных к нашей клетке. Свет фар является маяком в наших путешествиях и магнитом для морской жизни. Здесь похожие на креветок амфиподы и крыль носятся и «танцуют» в таком же темпе, как насекомые в свете уличного фонаря. Личинки рыбы стремятся к свету так же жадно, как лосось прыгает вверх по водопаду. Вместо пустыни мы видим джунгли.

...При ночном погружении всегда ощущается напряжение, но каждый спуск в море обещает восхитительное зрелище.

...Некоторые личинки ракообразных поднимаются вверх, прикрепившись к медузе. Может быть, их цель — такое не требующее усилий передвижение. Или, возможно, так они находят защиту от бесшумно подкрадывающихся хищников, таких, как молодой 5-дюймовый осьми-

¹ Nat. Geogr. 1981. Vol. 160. N 6. P. 834—847.

ног, который меняет свою окраску, сжимая и расправляя хромотофоры — пигментные клетки. Свет отражается от его внутренних органов, защищенных прозрачной мантией.

...Личинка карапуса — одно из самых очаровательных и загадочных созданий, встречающихся нам. Светящиеся хромотофоры усеивают узкое длиной в 10 дюймов тело. На вытянутом луче спинного плавника, превышающего длину тела, словно листья ивы, трепещут украшения неизвестного назначения.

...Личинки креветки образуют парящий ковер на радиолярии *Rhaphidozoium* диаметром 2,5 дюйма. Каждая точка студенистого диска — отдельное животное с тоненькими щупальцами для захвата пищи...»

Такова жизнь в тропических морях, но жизнь в океане есть всюду, даже в ультраабиссали — так называют места с глубинами более 6000 м. Это в основном глубоководные желоба. Кислород в ультраабиссали не лимитирует развитие жизни, его там достаточно. В результате там живут бактерии, черви, ракообразные, иглокожие, двусторчатые моллюски и многое другое, в том числе даже рыбы. Хотя в процессе эволюции все они произошли от представителей жизни в поверхностных слоях, и в частности на шельфе, на больших глубинах живут в основном виды, встречающиеся только там, т. е. эндемики. Например, в фауне на глубинах больше 9 км эндемизм составляет 88%. Организмы, для которых обычны условия глубин больше 10 км, совсем не встречаются, если подняться километра на четыре. Окружающая среда в этих случаях предъявляет к органам живых существ совершенно разные требования. Возьмем, например, газовый пузырь рыбы. Расчеты показывают, что работа, требующаяся для его заполнения газом (вырабатываемым самой же рыбой), при таких высоких давлениях, какие существуют в ультраабиссали, огромна. Поэтому у рыб, заселяющих большие глубины, размер пузыря существенно меньше или он даже совсем заполнен жировой тканью.

Жизнь разных глубоководных желобов совершенно различна. Скажем, на глубинах около 7 км она во много раз обильнее в Курило-Камчатском желобе, чем в Филиппинском или Марианском желобе. Здесь объяснение несложно: богатство поверхностной жизни в этих случаях также различно. В одном случае планктона больше и органические вещества — остатки погибших вверху организ-

мов — достаточно обильно поступают на глубину. В других случаях этот процесс менее выражен.

Не утихают споры о самом происхождении глубоководной фауны. До конца прошлого столетия считалось, что если и есть какая-то жизнь на больших глубинах, то она должна быть очень древней, сравнимой с геологическим возрастом Земли, и совершенно особой. Действительно, казалось, что может быть более недоступным и изолированным, чем большие глубины? Любой обитатель малых глубин, будучи перенесенным в столь непривычные условия, неизбежно должен погибнуть. Соответственно для уникальных обитателей глубин нет места на сравнительном мелководье. Однако выяснилось, что жизнь на больших глубинах довольно разнообразна и в большинстве случаев имеет своих представителей на малых и умеренных глубинах (в том числе даже в шельфовых зонах). После этого родились две гипотезы. Согласно одной из них жизнь в ультраабиссали довольно молодая и возникла там уже после последнего великого оледенения, ибо считалось, что при каждом оледенении холодные воды (ниже 4°C) попадают из полярных районов на большие глубины и жизнь там прекращается.

По другой гипотезе (наш известный морской биолог академик Л. А. Зенкевич развивал именно ее) фауна ультраабиссали очень древняя. Жизнь там никогда не прерывалась, и возможно, что на больших глубинах катастрофических явлений происходило меньше, чем в поверхностных слоях! Какая из этих гипотез соответствует истине, пока что неизвестно.

Совершенно поразительным явлением, открытым недавно учеными, можно считать проявление жизни в районах гидротерм — районах, где образуется новая земная кора. Там из глубин Земли через разломы поступает горячая магма. Холодная вода, проникая в разломы, реагирует с горячей магмой, насыщается солями многих металлов и газами, в основном сероводородом, и затем в виде черных гейзеров поднимается со дна кверху. Все это происходит на глубинах 2—4 км. Света там нет, кислород практически отсутствует. Спрашивается, как же может в таких условиях существовать жизнь? Может, ибо и основана она на совершенно особом принципе. Цепь жизни начинается с бактерий, которые питаются серой обильно поступающего из гидротерм сероводорода. Затем бактериями питаются

гигантские черви до 1 м длиной и другие организмы. И так далее, ступень за ступенью. Цветные фотографии хорошо передают красочность этой странной жизни. Но зачем нужны яркие краски в кромешной тьме? — вот вопрос. Опять загадка.

Однако главные загадки района гидротерм еще только проявляют себя. Так, скажем, в этом районе выявлены самые экстремальные условия существования жизни на Земле. Нигде на суше или даже в лаборатории не обнаружены организмы, процветающие при 250° С и давлении около 300 атм, как в районе гидротерм. До этого считалось, что при температурах лишь несколько больше 100° С разрушается белок, погибают необходимые для жизни аминокислоты. Первые же наблюдения показали, что, по видимому, все это не так. Эти открытия являются чрезвычайно важными для понимания биологической эволюции жизни и, возможно, проясняют условия происхождения жизни на Земле. Новое явление сразу же стало интенсивно изучаться и биохимиками — биохимия обмена веществ при таких условиях совершенно уникальное явление. Правда, последние публикации в научных журналах как будто опровергают первые сенсационные открытия. Но именно так развивается наука. Истина рождается в муках.

Столь разнообразны условия жизни в океане — от самых обычных до уникально тяжелых. Но не менее разнообразны и формы жизни в океане — от бактерий до громадных млекопитающих — китов.

Роль бактериального населения океана долгое время недооценивалась. Исследования последних десятилетий показали, что продукция бактериопланктона существенно превышает продукцию зоопланктона, и поэтому он обязательно должен учитываться при анализе экологической системы в океане, и в частности в анализе потоков энергии. Питаются бактерии в основном растворенным в воде органическим веществом и продуктами разложения. Размножаются они очень быстро. Если бы их никто не выедал, то их количество увеличивалось бы в 2 раза каждые 15—40 ч.

Согласно Ю. И. Сорокину², например, в поверхностных слоях Татарского пролива в среднем суточная продукция

² Биология океана. М.: Наука, 1977. Т. 2. С. 214. (Океанология: В 10 т.).

составляет для фитопланктона 300—600, а для бактериопланктона 300—700 мг/м³ сырой массы. Поедаются бактерии инфузориями и другими планктонными организмами.

Важной задачей современной науки является построение экологической модели океана, учитывающей взаимодействие различных уровней жизни в нем, достаточность или недостаточность питательных веществ, влияние физических факторов, таких, как течения, вертикальное перемешивание, солнечное облучение и т. д. Здесь применяются все современные методы системного анализа. Давайте и мы посмотрим на жизнь в океане с такой вот общей «системной» точки зрения.

Все живое как на суше, так и в воде строится из так называемых биогенных элементов — водорода, кислорода, углерода, фосфора, азота и уже в меньшей степени многих других элементов. Углерода нужно больше всего — в 80 раз больше, чем фосфора, и примерно в 5 раз больше, чем азота. Но не он лимитирует биологическую продуктивность вод океана — его всегда с избытком. Лимитируют жизнь азот и фосфор: где больше фосфора и азота, там богаче жизнь.

Азот и фосфор нужны для роста в поверхностных водах фитопланктона, который служит началом всей пищевой цепи. Высвобождаются эти элементы при разрушении организмов на больших глубинах. Важен вопрос, каким образом биогенные элементы снова могут попасть к поверхности. Оказалось, что здесь основную роль играют апвеллинги — подъемы вод с глубин. Апвеллинги разного вида — прибрежные, срединно-океанические, связанные с синоптическими вихрями, апвеллинги на подводных возвышенностях — именно они выносят биогенные элементы, обеспечивая круговорот последних в морской воде по вертикали.

Разные океаны по-разному богаты фосфором. В глубинных водах Атлантики его почти в 2 раза меньше, чем в Тихом и Индийском океанах. Это потому, что глубинные воды Атлантики образуются при опускании и горизонтальном перемещении холодных арктических вод, более бедных фосфором и азотом, чем антарктическая вода, образующая глубинные воды в Тихом и Индийском океанах.

Жизнь в океане может существовать в разных видах. Прежде всего, это планктон.

Слово «планктон» происходит от греческого корня, означающего буквально «блуждающий». Планктоном называют все морские организмы, обитающие в толще воды и неспособные противостоять переносу течением. Растительная часть планктона — фитопланктон.

На всей площади Мирового океана ежегодно появляется почти 1000 млрд. т фитопланктона — таков щедрый подарок Солнца океану и его обитателям. Для последних фитопланктон дорог вдвойне. Во-первых, с него начинается вся пищевая цепь, а во-вторых, при его образовании в воду выделяется кислород, также необходимый для жизни.

Второе звено пищевой цепи океана и вторая составная часть планктона — мельчайшие живые существа — растительноядный зоопланктон.

Зоопланктон поражает своим многообразием. Об этом говорит простое перечисление его основных форм. Тут простейшие, среди которых известны многим радиолярии. Их кремневые скелетики, напоминающие звезды с характерными лучами, попадают на морском дне. Множество медуз, червей, моллюсков. Но больше всего ракообразных, в том числе криль — мелкие рачки, которые завоевывают популярность у домашних хозяек. Входят туда и многочисленные личинки крабов, креветок и т. д.

Любопытно отметить, что многие представители зоопланктона ночью поднимаются наверх, где поедают образовавшиеся за предыдущий день запасы фитопланктона, после чего снова погружаются на глубину. Это и есть так называемые суточные вертикальные миграции.

Отметим еще одну особенность многих представителей планктона. Свет нашего дневного светила проникает лишь до глубин в несколько десятков метров. Казалось бы, на глубинах больше 100 м должна быть полная темнота. Но здесь роль «осветителей» глубин океана взяли на себя мельчайшие многоклеточные организмы. Замечательное свечение морей — особенно часто можно наблюдать это явление в южных широтах — объясняется излучением планктонных организмов. Светятся они под действием механических или других раздражителей. Надо сказать, что наука пока что не совсем понимает, для чего, собственно, природа снабдила планктонные организмы такими «фонарями».

Одна из задач свечения хищных организмов — привлечение добычи. Однако свечение наблюдается и в достаточ-

но глубинных слоях океана, где большинство обитателей просто лишены органов зрения, так что «увидеть» свет они никак не могут.

Рыбы океана чрезвычайно разнообразны — их там около 16 тыс. видов, но основа морского промысла определяется всего лишь несколькими десятками из них. Рыба стоит на первом месте среди пищевых ресурсов Мирового океана, составляя по массе более 80%. Поэтому сейчас в условиях мирового кризиса пищевых ресурсов возросло и значение рыбного морского промысла, а отсюда и истощение рыбных стад в результате хищнического лова.

Среди рыб, мяso которых попадает на стол человека, имеются и необычные.

Особую привлекательность тропическим морям придают стайки летучих рыб — явление уникальное, ни с чем не сравнимое, зрелище незабываемое. Вы стоите на палубе, как вдруг в воздухе появляются небольшие стайки рыб, что кажется человеку, впервые попавшему в эти края, совершенно противоестественным. Рыбы пролетают несколько десятков метров, расходясь при этом веером, и снова врезаются в воду. Благодаря сильным грудным плавникам, рыбы планируют в воздухе с большой скоростью.

Зачем они проделывают столь непривычные для рыб воздушные путешествия? Наверное, тут и способ спастись от хищников, а может быть, стремление побыстрее достичь какой-то цели, так как в воде такой скорости рыба развить не может.

Летучая рыба, или, попросту, «летучка», — любимое блюдо участников тропических экспедиций. А их ловля, так же как и ловля кальмаров в темные тропические вечера — для привлечения тех и других используются сильные подводные источники света, — является прекрасным спортом и отдыхом в часто однообразной экспедиционной жизни.

Чаще всего встречаются в тропиках и почти легендарные жители океана, «кровожадные» акулы. Я поставил это слово в кавычки, так как многие биологи считают рассказы о кровожадности акул сильно преувеличенными. Самое интересное заключается в том, что именно гигантская китовая акула — самая крупная морская рыба, длина которой достигает 15 м, абсолютно безопасна для человека. Вспомним столь же безобидного кита!

Акулы имеют поразительное обоняние, точнее говоря, умение обнаруживать самые мельчайшие следы крови в воде. Вот почему акулы так быстро собираются вокруг каких-либо животных, истекающих кровью, — человек тут не исключение.

Немногие из тех, кому приходилось участвовать в длительных морских экспедициях, знают, что хорошо приготовленное мясо акулы является одним из морских деликатесов.

Таковы рыбы океана. Не менее интересен и остальной животный мир.

Самые крупные животные моря — млекопитающие, в частности киты и всеми любимые дельфины, которым капризная природа почему-то уготовила вечную жизнь в воде, жизнь достаточно сложную, так как им необходим воздух, надо дышать, а пища находится в воде.

Начнем с ластоногих. Отличительная особенность — своеобразные ласты — конечности, приспособленные для плавания в воде. Имеются всего три семейства — моржи, ушастые тюлени и настоящие тюлени. Для некоторых читателей это утверждение наверняка покажется достаточно странным — ведь мы все слышали о морских львах, котиках, морских слонах, морских зайцах и т. д. Все это тюлени — настоящие и ушастые, просто отличаются они оригинальным внешним видом: скажем, у морских слонов (настоящий тюлень) на верхней части головы имеется утолщение, похожее на хобот. Морские львы тоже тюлени, но ушастые. Моржей отличают клыки, которые у самцов выступают из верхней челюсти почти на целый метр.

Общее у всех этих замечательных морских зверей — их приверженность к холодным морям, умение великолепно плавать, ласты. Промысел этих животных строго регулируется, ибо человек должен спасти их от полного истребления.

Помощи и защиты требуют и киты. Их всего два подотряда: зубатые (кашалоты и дельфины) и беззубые.

Кит — животное оригинальное, в какой-то мере загадочное и крайне популярное — вспомните «Моби Дика». Существуют многочисленные чисто научные загадки, с которыми связана вся жизнь этих все-таки странных млекопитающих.

Начнем с того, что 33-метровый голубой кит — самое большое и самое тяжелое животное на Земле. И гигант

этот — самое мирное существо. Правда, были случаи, когда киты нападали на корабли и лодки китобоев, но их вынуждали к этому, то были акты самозащиты.

Когда-то, в общем сравнительно недавно, однообразный пейзаж далеких окраин Мирового океана часто оживлялся характерными фонтанами воды, вздымавшимися где-то около горизонта, — свидетельство появления китов. Увы, теперь это большая редкость, ибо поголовье китов уменьшается, и ряд стран уже прекратили китобойный промысел, так как при уровне современной техники гигантские киты просто беззащитны. Со временем промысел, очевидно, возобновится — просто надо точно регулировать его, чтобы не истребить этих замечательных животных, истинного украшения Земли.

Кит — животное мирное. Это утверждение, однако, верно лишь отчасти, так как относится к китам беззубым. Киты зубатые, скажем кашалоты, несколько другого нрава. Зато среди их родичей, относящихся к тому же подотряду, имеются чудесные животные, добрый нрав, отзывчивость и «разум» которых общезвестны. Это дельфины — существа, с которыми связаны и многочисленные сказания и мифы, странные истории, где фигурируют они как мудрые думающие существа. В то же время дельфины — объект самого пристального внимания ученых.

Замечу, что, хоть и называются дельфины мелкими китообразными, их длина достигает порой 10 м. Так что «мелкие» они только по сравнению с самыми крупными китами.

Возможно, наиболее интересной особенностью морских млекопитающих является их высокоразвитый мозг, способность к дрессировке, ну и, наконец, дружелюбие к человеку. Кто не видел замечательных по сложности и красоте цирковых номеров, выполняемых дельфинами, касатками и морскими львами в искусственных бассейнах?

Но морских животных дрессируют не только для цирковых номеров. Во многих странах работы с морскими млекопитающими проводятся в военных лабораториях (см. гл. 8).

Пожалуй, наиболее таинственным для неспециалиста выглядит бентос — население придонных слоев и самого дна. Бентос по разнообразию гораздо богаче, чем это обычно представляется человеку, мало знакомому с морской биологией. Некоторые представители бентоса могут лежать

на дне, другие — плавать. Из рыб представителем бентоса является камбала. Типичными представителями бентоса являются осьминоги, из ракообразных — омары, крабы и т. д.

Среди представителей бентоса, способных передвигаться, хотя эти путешествия обычно весьма ограничены, находятся иглокожие. Их особенно много в арктических морях, где они образуют целые скопления.

Название «иглокожие» само по себе мало что говорит. Зато морские ежи и морские огурцы, конечно, знакомы всем, хотя бы по литературе. К этому же отряду относятся многие виды морских звезд. Особенно красивы виды, живущие в тропиках, но они хищники и пожирают многих обитателей морского дна, в том числе и устриц.

Печальную известность получила в последнее время морская звезда, называемая «терновый венец». До недавнего прошлого ее обычной пищей были двустворчатые моллюски. Теперь она пожирает и кораллы. При этом она выворачивает наружу через рот свой желудок, обволакивает им живой коралл и довольно быстро переваривает полипы.

Мертвый коралл довольно быстро разрушается под действием волн. Таким образом, эти большие звезды — величина их достигает 60 см — уже уничтожили заметную часть Большого барьерного рифа в районе Австралии. Есть подозрения, что этот процесс ускоряется вследствие увеличивающегося загрязнения океанских вод. Из-за загрязнения коралловые полипы заболели, и именно ослабленные полипы пожираются морскими звездами.

Очень интересна способность морской звезды регенерировать. Любая ее оторванная часть становится основой для восстановления новой звезды.

Ближайшие родичи морских звезд — морские огурцы, по-научному голотурии. К ним относятся знаменитые трепанги — излюбленное кушанье жителей многих азиатских стран. А по внешнему виду голотурии действительно похожи на огурцы. Только цвет у них своеобразный — темно-красный или почти черный.

Кое-где едят и морских ежей. Эти представители бентоса немного напоминают морских звезд и в то же время сухопутных ежей. Их тело тоже обладает радиальным строением, но нет лучей, характерных для морских звезд. Вместо лучей из твердой скорлупы, окружающей тело,

отходят специфические иглы — отсюда и аналогия с ежами наших лесов.

Из ракообразных бентоса наиболее интересны и, разумеется, популярны крабы, а также омары и лангусты. Крабы в нашей стране общеизвестны. Омары и лангусты — морские раки, т. е. ближайшие родственники крабов. Все они идут в пищу, все являются деликатесами, все — предмет промысла.

Наконец, среди бентоса распространены моллюски, в том числе и знаменитые, производящие жемчуг и перламутр. Некоторые моллюски ядовиты. С помощью особых стрекательных капсул, снабженных ядовитыми железами, они способны смертельно поразить человека. Опять-таки водятся в тропиках. Как видите, в тропических морях действительно собраны самые оригинальные представители океанской фауны.

Не менее знамениты крупные моллюски — осьминоги и кальмары. Казалось бы, у них нет ничего общего с «обычными» моллюсками, имеющими характерные раковины. Но морские твари, имеющие характерные щупальца, все-таки также моллюски. У кальмаров внутри тела имеются даже остатки раковины.

Кальмары и осьминоги — наиболее крупные носят название спрутов — считались, и многие неспециалисты до сих пор придерживаются этой точки зрения, опасными для человека. Сколько незабываемых страниц любимых книг нашей юности посвящено страшной борьбе человека со спрутом. Вспомним хотя бы «Тружеников моря» Виктора Гюго и «Двадцать тысяч лье под водой» уже цитировавшегося мною Жюль Верна. Однако достоверных сведений о нападении этих действительно гигантских морских тварей на человека нет. А интересны они для исследователей совсем по другим причинам. Дело в том, что кальмары и осьминоги могут передвигаться совершенно своеобразным способом, используя принцип ракеты. Выбрасывая воду в определенном направлении с помощью специальных устройств, находящихся пониже головы, осьминог быстро плывет в противоположную сторону. Кроме того, любопытны и защитные возможности осьминогов. У них имеется так называемый чернильный мешок, где хранятся запасы специфического жидкого вещества, напоминающего чернила. В минуту опасности осьминог немедленно выпускает эту жидкость. Замутненный объем играет роль «лож-

ной цели», к которой устремляется нападающий, а сам осьминог тем временем укрывается в безопасном месте.

Что касается тех представителей бентоса, которые предпочитают спокойную жизнь на месте, то тут прежде всего мы заметим многочисленных губок. Их в океане очень много — более пяти тысяч видов, причем проживают они на самых разных «этажах» океана — от мелкого дна у берегов до глубин в несколько километров. При одном из глубоководных исследований губки были обнаружены на глубине 8,5 км.

В поверхностных слоях жизнь существует за счет первичной продукции в процессе фотосинтеза с использованием солнечной энергии и с усвоением при этом биогенных элементов. За счет чего же существует жизнь на дне океана, куда солнечная энергия не проникает? Трупы погибших организмов, фекалии от живых собратьев, продукты разложения (детриты) под действием силы тяжести опускаются вниз и скапливаются на дне. Это и есть источники энергии для бентоса. Этот процесс сопровождается непрерывным изъятием биогенных веществ из поверхностных слоев и перекачиванием их на глубину. Поверхностные слои стали бы безжизненными, если бы не было обратного процесса, обуславливающего обратный переход биогенов наверх. Это происходит в процессе апвеллинга. Оказывается, имеет место повсеместное поднятие глубинных вод со скоростью примерно 3 м в год (этот подъем компенсируется за счет опускания вод в приполярных районах). Этот процесс усиливается в зонах прибрежного апвеллинга, экваториальной дивергенции вод, синоптических вихрей и т. д.

Теперь подробнее об энергетической стороне дела. Лишь часть солнечной энергии, падающей на поверхность моря, усваивается в процессе фотосинтеза. Но эта часть дает начало всей пищевой цепи и путешествует по этой пищевой цепи дальше. Каковы же ее потери при переходе от одного трофического уровня к следующему? Вопрос кардинально важный для функционирования всей экологической системы океана.

Попробуем разобраться. Энергия солнца, падающая на единицу поверхности, измеряется в килокалориях на квадратный метр в год. Чтобы проследить в дальнейшем за всеми ее преобразованиями, надо количество продуцированного вещества на разных уровнях выразить в этих же

единицах. Биологи это делают, учитывая, что 1 г сухой массы ткани рыбы соответствует теплотворной способности 3 ккал. В результате, например, для Северного моря процесс усвояемости солнечной энергии и ее переноса по дальнейшей цепочке, по различным трофическим уровням выглядит так³: солнечная энергия, падающая на поверхность моря, составляет 250 тыс. ккал/м² в год, количество первичной продукции за год — 500 ккал/м²⁴.

Готовая продукция организмов следующего трофического уровня, т. е. организмов, питающихся фитопланктоном, достигает уже только 56 ккал/м² в год (закон «1:10», см. выше). Годовая продукция хищников, питающихся этими организмами, 5 ккал/м² в год. Вылов пелагических рыб 0,14, придонных — 0,25 ккал/м² в год. Общий вылов рыбы — 0,39 ккал/м² в год соответствует 175 г/м² в год сухой массы рыбы.

Таким образом, все начинается с первичной продукции, и чем выше эта продукция, тем богаче вся жизнь. Но от чего же зависит интенсивность первичной продукции? Для фотосинтеза нужны солнечная энергия, вода, углекислый газ.

В океане воды достаточно. Углекислого газа, как показывают опыты, нужно лишь немногим больше, чем некоторый минимум, и этот минимум всегда имеется. Для строительства вещества живых клеток необходимы еще азот, фосфор, кремний и некоторые другие химические вещества — биогены. В очень небольших количествах нужны, как и человеку, микроэлементы: железо, марганец, медь, цинк, бор и другие. И это все для простейших организмов — таинство жизни! Из биогенных элементов чаще всего в дефиците оказывается азот. Кремний особенно нужен для двух групп фитопланктона — диатомей и некоторых жгутиковых, которые строят из него свои скелеты.

На количестве фитопланктона сказывается скорость выедания его зоопланктоном. Чем больше зоопланктона, тем скорее выедается фитопланктон. Однако при сильном уменьшении массы фитопланктона уменьшается и коли-

³ Цит. по кн.: Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнаус Дж., Турекиан К. Океан сам по себе и для нас. М.: Прогресс, 1982. С. 204.

⁴ Так как фитопланктон живет недолго, то его количество в каждый данный момент в столбе воды площадью в 1 м² примерно в 40—50 раз меньше этой величины.

чество зоопланктона — ему нечем питаться. Зато после того, как количество зоопланктона уменьшилось, количество фитопланктона увеличивается. Так достигается относительное равновесие. Специфическая отрицательная обратная связь — типичный случай системы хищник—жертва.

В тропических районах океана, где солнечной энергии больше всего, жизнь, как правило, очень бедна. Происходит это потому, что биогенные элементы в приповерхностных водах быстро идут в оборот и не поступают с глубин, так как вертикальное перемешивание вод в этих районах сильно затруднено из-за устойчивой стратификации вод. А она, в свою очередь, обусловлена тем, что теплые нагретые воды расположены над более тяжелыми холодными водами и образуется сильный вертикальный градиент температуры. Особенно велик этот градиент в зоне так называемого термоклина.

А вот в приполярных районах, хотя солнечная освещенность меньше, биологическая продуктивность значительно выше. Зимой термоклин отсутствует, сравнительно легко происходит конвективное перемешивание вод — холодная вода опускается вниз, а ее место занимают глубинные воды. Биологическая продуктивность выше и в так называемых фронтальных зонах — на границах различных течений. Здесь продуктивность увеличивается за счет турбулентного перемешивания вод.

Аналогичная ситуация возникает на шельфах. Вода там хорошо перемешана, глубины небольшие и биогены, опустившиеся на дно, быстро включаются в оборот.

Рассказывая о влиянии океана на климат планеты, я упоминал о взаимодействии атмосферы и океана. Однако своеобразное взаимодействие атмосферы и океана есть и в биологической сфере. Птицы над океаном (их около 250 видов) участвуют в жизненном круговороте океана. Они выедают часть рыбы и других морских животных. С другой стороны, птицы, удобряя воду своими экскрементами, повышают ее биологическую продуктивность.

Жизнь в океане интенсивно изучается. Ученых воодушевляют многие еще не раскрытые тайны океана. Одна из них — это миграция обитателей моря. Каким образом речные угри, проведшие 10—25 лет в реке, находят путь в определенные места в море? Личинка угря, окрепнув, проделывает такой же путь в обратном направлении. Откуда она знает этот путь?

Лососевые рыбы, наоборот, живут в океане и уходят за сотни, а иногда и тысячи километров в реки для того, чтобы там нереститься; уверенно находят дорогу в «родные» реки, чтобы уже обратно никогда не возвратиться — дать начало потомству и погибнуть.

Лангусты переселяются с места на место на большие расстояния, двигаясь «нешком» по дну друг за другом длинной цепочкой. Впереди идет вожак. Куда он идет и какие ориентиры использует для определения маршрута всей цепочки?

Другие, не менее интригующие загадки связаны с коллективным поведением морских обитателей. Вы смотрите на стайку рыб, которые блестят своими боками на солнце. Вдруг они получают все одновременно какой-то сигнал и изменяют направление своего движения. Какой сигнал они получают, от кого, каким образом они общаются друг с другом, кто дает команду?

Больше всего загадок связано с морскими млекопитающими.

Вот, скажем, киты. Непонятна прежде всего сама жизнь этих гигантских животных среди бескрайних водных гладей. Ластоногие прекрасно чувствуют себя на берегу. В воде находится их пища, они плавают и возвращаются на родную землю. Но кит не может покинуть свою среду обитания, он не сможет существовать на суше, ибо будет лишен возможности передвигаться. Одна из загадок поведения китов — так называемые массовые акты своеобразного самоубийства, когда целые стада этих животных добровольно, без видимых причин выбрасываются на берег и, естественно, погибают.

Каким образом киты и некоторые другие млекопитающие могут без труда нырять на глубины до 1—2 км, подниматься вверх, не испытывая при этом страшной кессонной болезни? Если бы человек понял тайну этого ныряния, возможно, он мог бы значительно проще сам осваивать глубины океана.

А как интересно слушать песни серых китов, заселяющих многие районы Мирового океана. Эти мелодичные песни оказываются одинаковы для разных районов одного и того же океана (скажем, Тихого), что показывает, что киты общаются друг с другом, слышат друг друга на очень больших расстояниях (это неудивительно ввиду наличия подводного звукового канала, о котором речь пой-

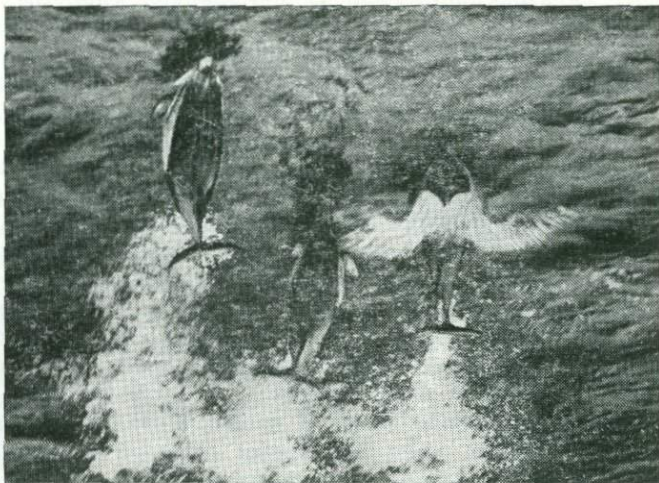


Рис. 2.3. Жизнерадостные дельфины ведут корабль в новый район работы. Фото В. П. Белоусова

дет ниже). Эти песни одинаковы во всех районах океана, но каждый год разные. Так что киты по-настоящему творят, и творят коллективно. Ученые заметили интересную вещь: если записать на магнитофон песнь кита, а потом прокрутить пленку в 14 раз быстрее, то получается песня, очень близкая к пению соловья. Поистине природа едина.

Многие ученые заняты исследованием языка дельфинов. Этот вопрос интересен даже и с лингвистической точки зрения, уж не говоря о том, что, поняв его, мы могли бы более свободно общаться с этими интересными животными. Жизнь и поведение дельфинов вообще полны самых настоящих тайн. Думаю, что не существует на Земле живого существа, которое даже в самой малой степени приближалось бы в этом смысле к дельфинам (рис. 2.3).

Начнем с самого элементарного — с движения дельфина в воде. Каким образом он двигается так легко и свободно с такой малой затратой энергии? Совершенно непонятно. Недаром эти возможности дельфинов привлекли такое внимание инженеров. Ведь если бы удалось построить на таких же принципах подводный аппарат, это вызвало бы истинную революцию в кораблестроении и резко ускорило бы освоение океана.

Но дело не только в том, что дельфины плавают быстро. Они ловко маневрируют, великоленно ориентируются, общаются друг с другом, совершают длительные глубоководные погружения, опять-таки как бы пренебрегая основами науки!

С жизнью дельфинов связано одно исключительно важное и, может быть, имеющее фундаментальный характер для всей физиологии млекопитающих открытие.

Ученых давно интересовало, каким образом дельфины спят. То, что они спят во время плавания, сомнения не вызывало, поскольку на сотнях кадров и фотоснимков было видно, что делает дельфин во время сна. Удивляло другое. Как животное может поддерживать во время сна столь замысловатый способ дыхания? Попросту: как он не утонет, если крепко спит? И каким образом достигает сонного состояния, коли все время приходится поддерживать дыхание. Сухопутному млекопитающему это сделать довольно просто. Но в воде расслабиться — значит утонуть!

И вот в нашей стране были проведены электрофизиологические исследования, результат которых оказался абсолютно неожиданным для ученых. Твердо установлено — для современной физиологии это аксиома, подтвержденная сотнями, тысячами экспериментов, — что у отдыхающего мозга энцефалограмма выглядит совсем по-иному, чем у работающего. Они совершенно разные, и это свидетельствует о том, что мозг в сонном состоянии и во время бодрствования ведет себя различно.

С помощью специальных устройств у дельфинов также снимали энцефалограммы — записи биотоков мозга, и были обнаружены подобные различия. Только относились они к... разным полушариям. Во время сна дельфина одно полушарие его мозга согласно энцефалограмме погружалось в сон, а другое бодрствовало. Затем они менялись ролями. Таким образом каждое полушарие по очереди становилось как бы часовым. Вот почему дельфин так спокойно дышит во время сна.

Физиологам казалось, что они хорошо изучили поведение мозга млекопитающих. А тут такое нестандартное поведение. Ведь, кроме того, что дельфины выбрали столь странную среду обитания, они по строению и работе различных внутренних органов, в частности мозга, казалось бы, ничем не отличаются от своих сухопутных собратьев,

Выходит, отличаются. И достаточно серьезно. Поэтому наблюдения советских биологов имеют столь большое общенаучное значение. Так что к загадкам дельфинов (их поведение, скорость передвижения, эхолокация и т. д.) прибавилась еще одна загадка — физиологическая.

Вот какое это интересное животное!

В последнее время стало модным говорить о патентах природы. Подразумеваются технические новшества, идеи которых почерпнуты из жизни различных существ, населяющих нашу планету.

Известный исследователь моря Жак Пикар приводит несколько любопытных наблюдений, связанных с особенностями поведения живых существ океана, и сравнивает их с различными техническими устройствами. Поскольку Пикар всю жизнь занимался конструированием глубоководных аппаратов, естественно, его внимание привлекли различные виды рыб и моллюсков, использующих для вертикального перемещения в воде самые разнообразные приемы.

Всем хорошо известно, что плавательный пузырь рыб — своего рода поплавок, позволяющий рыбе изменять свой вес, чтобы подниматься в воде или опускаться. Исходя из этого Пикар остроумно сравнивает рыб с... воздушным шаром.

Глубоководные рыбы при этом не могут пользоваться воздухом, так как при быстром погружении у них могут появиться болезни, известные водолазам, — глубинное опьянение, или кессонная болезнь. Поэтому природа пошла на своеобразный трюк.

Плавательный пузырь некоторых глубоководных рыб наполнен жиром, который заведомо легче воды и позволяет компенсировать вес. У других рыб воздух плавательного пузыря заменен инертными газами, которые изготавливаются самими рыбами. Они берут воздух из воды, разлагают его, выбрасывают основные компоненты, т. е. кислород и азот, а аргон пускают в дело.

Крупные спруты также используют для регулирования плавучести закон Архимеда. Внутри тела спрута находится несколько полостей, своего рода резервуаров, заполненных аммиаком, причем эти резервуары занимают больше половины общего объема моллюска! Выталкивая аммиак, спрут становится тяжелее и стремительно уходит в глубину. Запас этой жидкости восстанавливается за не-

сколько часов. Кроме того, кальмары, как известно, используют принцип реактивного двигателя.

Столь же разнообразны системы ориентировки обитателей океана. Некоторые из них, как считают биологи, хорошо чувствуют изменения силы тяжести, причем чувствительность этих живых «приборов» достаточно велика.

Электрический угорь обладает исключительной по совершенству конструкции электрической батареей. Создание такой батареи в условиях проводящей среды, каковой являются тело угря и окружающая вода, явилось бы сложнейшей задачей для современной техники.

Однако, как отметил известный советский специалист в области теоретической физики Д. И. Блохинцев, еще большую загадку тот же электрический угорь задал биологам, занимающимся эволюционной теорией. Последние, как известно, считают, что каждый орган развивается постепенно в результате случайных мутаций и борьбы за выживание. Электрический орган угря не мог развиваться постепенно. Действительно, он дает угрю преимущества в борьбе за существование — электрический разряд опасен для врага, но только когда он достаточно сильный. Если это условие не выполнено, то такой орган никак не помогает борьбе за существование, а во многих случаях может и мешать как бесполезный придаток и должен по той же эволюционной теории постепенно отмирать.

И наконец, самые разнообразные способы использования звуковых волн в океане — от примитивной локации до своего рода «разговора» дельфинов, когда они загоняют стада рыб.

Но о звуках в океане и звуках океана я хочу рассказать отдельно. Во-первых, потому, что акустика моря выросла сейчас в самостоятельную науку, а во-вторых, это моя специальность, моя наука, мое увлечение.

Поэтому рассмотрим подробнее тот мир, который оброчно и явно неудачно был назван когда-то «миром безмолвия». Как мы убедимся, никакого безмолвия в глубинах океана нет и не может быть.

Это мир достаточно шумный.

2.4. Всюду шум...

Я думаю, прежде чем говорить о различного рода шумах океана, об их происхождении, нужно посвятить небольшое время рассказу об особенностях акустики океана, поскольку она достаточно специфична.

Интерес к акустике океана возник прежде всего по той простой причине, что звуковые волны единственные, которым дано распространяться в воде. Любые электромагнитные колебания, будь то радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовые лучи или, казалось бы, всюду проникающий луч оптического лазера, бессильны перед толщей воды. Несколько сотен метров путешествия — и все кончено. Они затухли. Если бы не светящиеся обитатели морей и океанов, а они в океане существуют практически на любом горизонте, уже на сравнительно небольшой глубине и до самого дна океан являл бы собой мрачное зрелище, пространство, куда не проникает ни один луч света.

Зато звуку тут полное раздолье. Именно поэтому звуковые волны несут на себе все тяготы дистанционных исследований толщи и дна океана. Для этого служит самая разнообразная измерительная аппаратура — от эхолота до самых современных приборов. Вот почему так важно изучить все особенности распространения звука в воде, специфику его отражения, поглощения и т. д. А поскольку этих особенностей много, акустика океана и выросла в самостоятельный раздел науки.

Нам еще предстоит много раз встречаться с самыми разными акустическими эффектами Мирового океана, с самыми разными приборами.

Как-то в одной из популярных статей я назвал океан «акустическим королевством кривых зеркал». Мне кажется, что это определение очень точное, так как обычные процессы распространения и отражения звука, известные нам на суше, в воде приобретают особый смысл. И не всегда там звук избирает кратчайшее расстояние между двумя точками.

Особая «прихотливость» распространения звуковых волн в водах океана объясняется сугубой неоднородностью этой среды, где меняются плотность, соленость, температура, а следовательно, и скорость звука, где имеются области, достаточно отличающиеся друг от друга по этим

параметрам. Отсюда и своеобразные траектории звуковых сигналов, в свое время весьма озадачившие исследователей.

Весьма своеобразны и акустические свойства поверхности и дна океана. Первая практически непрозрачна для звуковых волн, распространяющихся в воде, а их отражение рассчитать достаточно сложно, так как форма поверхности все время меняется — спокойной поверхность океана почти никогда не бывает. Таким образом, с точки зрения науки ее следует отнести к так называемым случайным неровным поверхностям. Отражение, а вернее, рассеяние звука на ней описывается достаточно сложными уравнениями теоретической физики. Дно твердое, поэтому нижняя граница, хотя также неровная, стабильна. Трудность расчета отражения и рассеяния звуковых волн на дне заключается в том, что породы, устилающие дно, весьма разнообразны — от твердейших до самых мягких. Слои разных пород чередуются при углублении в дно. Отсюда чрезвычайное разнообразие в коэффициенте отражения. Звуковые волны частично проникают внутрь осадков и твердых пород, из которых слагается дно океана. Часть сигнала поглощается, часть возвращается обратно, что тоже требует особого учета. Таким образом, акустические волны являются далеко не простым инструментом для исследования океана. Но что делать, если с их и только с их помощью можно просматривать океан с его поверхности до самого дна и определять структуру этого дна.

Подводная акустика — очень сложный раздел акустики, можете поверить человеку, всю жизнь занимающемуся этими проблемами.

Шумы океана интересны нам, так сказать, с двух сторон. Во-первых, они являются серьезной помехой в исследовательских работах, поскольку, накладываясь на полезные сигналы, регистрируемые акустическими приборами, они искажают эти сигналы.

Во-вторых, и это тоже чрезвычайно важно, многочисленные шумы океана дают возможность изучать его, можно сказать, из первых рук, так как, зная происхождение этих шумов, можно многое узнать о разносторонней жизни океана и его многочисленных обитателей.

Одним из основных источников шума самого океана является его вечно волнующаяся поверхность. Мы прек-

расно знаем из собственного опыта, что при достаточно сильном ветре она шумит, а при шторме даже ревет. Находясь в море или на его берегу, мы слышим шум, который излучается поверхностью в воздух. Однако не менее мощный шум идет под воду. Так как звук в воде может распространяться на большие расстояния, то гидрофон — прибор, воспринимающий звук под водой, «слышит» шум поверхности океана, собирающийся с расстояний в сотни и тысячи километров. Очень богат частотный спектр этого шума: он простирается от неслышимого инфразвука с частотами примерно от 0,1 Гц (период звука 10 с) до 20 Гц, им заполнен весь диапазон слышимых ухом человека частот (примерно 10 Гц — 20 кГц) и далее значительная часть неслышимого ультразвука. Механизм генерации звука волнением поверхности воды пока еще ждет своего раскрытия. Известно только, что на инфразвуковых частотах это в основном нелинейное взаимодействие поверхностных волн друг с другом, а на высоких частотах (500 Гц и выше) шумят лопающиеся в воде воздушные пузырьки, загоняемые туда обрушивающимися волнами, — можно провести аналогию с шумом закипающего чайника.

Совсем другой характер подводного шума в арктических районах, покрытых льдом. Казалось бы, подо льдом должен быть полный покой и тишина. Но дело обстоит совсем не так — подледные шумы также очень интенсивны. Во-первых, лед трескается из-за неравномерного его нагревания в разных местах. Кроме того, сильные шумы генерируются в процессе торошения льдов, т. е. когда льдины, двигаясь одна относительно другой, крошатся и образуют торосы. Даже поземка — ветер, дующий над снеговым покровом, — и та дает свой звуковой фон под водой.

Разумеется, поверхность океана — не единственный источник подводного шума. Звуки исходят и от дна, где происходят различного рода перемещения грунта, землетрясения, извергаются подводные вулканы.

За последние годы шумовой фон океана резко вырос. Если вы погрузите в воду чувствительный гидрофон (подводный микрофон), то он донесет до вас такую какофонию звуков, что в ней иной раз трудно разобраться даже специалисту.

Акустический фон океана заметно обогатился шумами техническими, ибо XX век с его могучей техникой властно

вторгся в океан. Чего стоят, например, тысячи разведчиков недр и промысловиков, работающих на континентальном шельфе, где разведываются и добываются нефть и газ. Не надо забывать, что геофизическая разведка на море происходит при помощи взрывов и других источников звука.

Наконец, свою значительную ленту добавляют многочисленные корабли, бороздящие океан в самых разных направлениях.

Корабль шумит по разным причинам. Во-первых, звук генерируется вращающимся винтом, который, собственно, и толкает корабль вперед. Шум усиливается, если на поверхности винта образуются кавитационные пузырьки. Шум производит вода, обтекающая корпус корабля, носовые буруны и воздушные пузырьки, захлопывающиеся в кильватерной струе позади корабля. Обшивка корпуса корабля колеблется под действием работающих дизелей или многочисленных других механизмов — насосов и т. д. Эти колебания передаются обшивкой во внешнее водное пространство в виде звуковых волн. В результате корабль оказывается очень богатым источником подводного шума, что достаточно прискорбно для океанологов. Ведь в ряде случаев ученым-акустикам, работающим с подводным звуком, надо создавать режим тишины в воде для того, чтобы корабль не мешал своим звуковым фоном акустическим измерениям, производимым с этого корабля. Это оказывается очень нелегким делом. Фактически замирает вся жизнь на корабле. Не работает камбуз, не печется хлеб, не готовится обед, нельзя ходить по коридорам, если они не застелены коврами. Иногда приходится даже выключать гирокомпас. Дело не в том, что этот прибор шумит, а в том, что он требует энергии, а для этого должны работать дизель-генераторы. Одним словом, корабль — это фабрика подводного шума, который, как мы видели, потом распространяется на большие расстояния. В большинстве районов Мирового океана, и особенно вблизи судоходных трасс, шумовой фон, производимый кораблями, превалирует над всеми другими источниками шумов в полосе частот 50—500 Гц.

Шумовой фон в океане пронизывает всю толщу вод, причем его интенсивность слабо зависит от глубины. Только на очень больших глубинах (4—6 км) имеет место ослабление шумового фона.

У читателя может возникнуть вопрос: а какова же сила этого звукового фона? Как его уровень сравнить с уровнем шумов, к которым мы привыкли в своей повседневной жизни? На этот вопрос не так легко ответить, поскольку у подводного шума другой частотный спектр, чем у тех шумов, которые мы воспринимаем обычно, скажем у уличного. Однако грубое сравнение все-таки можно сделать. Если взять районы океана, удаленные от берега, где уже не играет роли шум перекачивающейся гальки при прибое, и районы, удаленные от интенсивных судоходных трасс, то при достаточно умеренном волнении (силой 5—6 баллов) подводный шум в океане окажется примерно такого уровня, как, скажем, шум в лесу, производимый небольшим ветром, — шум листвы на ветру⁵.

Совсем не значит, что человек, погрузившись в воду, будет своими ушами чувствовать подобный уровень шума. Наши уши не приспособлены для работы в воде. При изучении подводных шумов мы целиком полагаемся на приборы.

Кроме постоянного шумового фона, в океане практически всегда существуют эпизодические, нерегулярные шумы самого разного происхождения. Прежде всего они идут из атмосферы. Гром слышен и под водой. Дождь, падая на поверхность воды, создает довольно сильный шумовой фон. Интенсивность подводного шума от тропического ливня может в сотни и даже тысячу раз превышать обычный шумовой фон океана. Извержения подводных вулканов, подводные землетрясения создают время от времени сильные инфразвуковые шумы. Очень далеко в океане разносятся звуки подводных взрывов, которые используются при сейсморазведке нефти в недрах дна океана.

Чрезвычайно разнообразны шумы биологического происхождения. О своеобразных песнях китов мы уже говорили. Но эти океанские гиганты используют звуки и для общения друг с другом. Многообразна «речь» дельфинов. У них существует богатый язык. Дельфины издают и ори-

⁵ Если измерять интенсивность шума в децибеллах, как это делают акустики, то это 45—50 дБ. Это существенно меньше уличных шумов в больших городах. Например, шум на Ленинском проспекте в Москве составляет 75—80 дБ, т. е. по интенсивности в 1000 раз больше. Заметим, что шум 85 дБ и выше уже считается опасным для здоровья человека, если он длительное время пребывает в этом шуме.

гинальные короткие звуки типа щелчков, которые служат им для обнаружения рыбы, которой они питаются (метод гидролокации). «Звучат» и различные рыбы. Звуки типа скрипа и скрежета создаются трением зубов и челюстей или движением плавниковых лучей. Обычно рыбы шумят во время кормления, но иногда издают звуки, испугавшись чего-то, а также для устрашения врага.

Многие рыбы обладают специальными мышцами, прикрепленными к плавательному пузырю. Такая система работает как хороший излучатель, генерирующий почти гармонические сигналы частотой в несколько сотен герц, что, по-видимому, связано с перестом и с защитой своей территории, а также может быть вызвано тревожным состоянием или испугом. Наиболее яркие представители таких рыб — почти все виды горбылевых, крокеры, морские барабанщики, групперы, зубатки, морские окуни и другие. Зубатки сильно «горланят», когда собираются по ночам в косяки.

Целым набором звуковых излучателей обзавелись ракообразные — креветки, крабы, рачки и т. д., а также кальмары и осьминоги, морские ежи и другие беспозвоночные. Основной вид акустических сигналов, издаваемых беспозвоночными, — щелчки. Уровень шума даже одного рака-щелкуна очень высок. Когда же их собираются тысячи, то на блоке слухового контроля, подключенного к подводному приемнику звука, их щелканье производит такой грохот, как будто в закрытом помещении стреляют несколько пулеметов. Никакие акустические работы при этом проводить, конечно, невозможно. Говорят, что во вторую мировую войну японцы подсаживали в американские гавани раков-щелкунов, чтобы на фоне их шума американские гидролокационные системы не могли обнаружить японские подводные лодки.

Этот многочисленный животный мир производит звуки, в отдельных случаях в десятки и сотни раз превышающие уровень непрерывного шумового фона океана. Все это вместе взятое является серьезной помехой для применения океанических акустических систем.

Ученые-акустики разработали ряд мер борьбы с вредными шумами. Первая состоит в создании больших антенн, которые позволяют принимать интересующие исследователей звуки только с определенных направлений и отсеивать шумы океана, приходящие с других сторон. Второй

путь — соответствующая обработка получаемых с гидрофонов сигналов уже в электронных цепях. Тут имеются определенные достижения. В простейшем случае, если нужно принимать звуковой сигнал, лежащий в очень узкой частотной полосе (квазимонохроматический сигнал), в электронную цепь включается фильтр, который «зарезает» все остальные частоты, пропуская без ослабления нужную частоту. Ясно, что при этом резко возрастает так называемая помехоустойчивость системы. Если же необходимо принять широкополосный сложный сигнал, то следует использовать согласованные фильтры, специально учитывающие особенности сигнала.

В заключение хочется сказать еще об одной особенности подводного звука. Выше мы говорили, что звук из воздуха, например разряд молнии, слышен под водой; слышны под водой и пролетающие самолеты. Рыбак, сидящий на берегу, любит тишину, потому что всяких звуков рыба пугается. Спрашивается, а можем ли мы слышать подводные звуки, находясь в воздухе? Оказывается, нет. Рыбы нас слышат, а мы рыб не слышим. Происходит это потому, что наше ухо, как, впрочем, и органы восприятия звука у рыб, реагирует на так называемое звуковое давление, т. е. на небольшой избыток периодического давления в воздухе и в воде, который и называется звуком. При переходе звука из воздуха в воду звуковое давление увеличивается в 2 раза, а при обратном направлении (из воды в воздух), наоборот, уменьшается больше чем в 1000 раз.

Так и получается, что мы и рыбы — неравноправные собеседники!

Один из интереснейших акустических эффектов океана — существование так называемого дна-призрака.

В начале 20-х годов началось широкое применение новых для практики приборов — эхолотов. В 1922 г. был получен первый эхолотный профиль в Атлантическом океане между Северной Америкой и Гибралтарским проливом. В 1925—1927 гг. с немецкого исследовательского судна «Метеор» проведены систематические работы по измерению глубин дна южной части Атлантического океана. Не прошло и четверти века с тех пор, как практически все морские суда были оборудованы эхолотами, которые стали не менее надежными помощниками мореходов, чем звезды и компас.

Однако со временем стали замечать, что часто на регистраторах эхолотов можно увидеть «дно» на глубинах, много меньших истинной. Например, дно оказывалось на глубине 400—600 м вместо 5 км. Контрольные проверки проволочными лотами (свинцовый груз на тонкой проволоке — прибор, которым измеряли глубину моря до акустических эхолотов) свидетельствовали, что на этих глубинах не существует никаких препятствий — падающий груз свободно проходил на большие глубины.

Дальнейшие наблюдения выявили, что в глубине океанских вод повсюду от одного материка к другому существует «призрачное» перемещающееся дно. Два раза в сутки — утром и вечером — оно приходит в движение: при заходе солнца поднимается к поверхности, а на рассвете опускается на глубину в несколько сотен метров. Это навело на мысль, что природа эффекта биологическая. И действительно, первые же обловы показали, что глубины, где звуковые эхолоты регистрируют эти загадочные образования, соответствуют большим скоплениям множества мелких морских организмов — зоопланктону. Надо признать, что до открытия морскими эхолотами таких скоплений морские биологи не подозревали об их существовании. Живые опускающиеся и поднимающиеся слои получили название звукорассеивающих.

Встал вопрос о том, какие же морские организмы, обитающие в глубинных водах, являются основными рассеивателями звука и создают на регистраторе эхолота наблюдаемый эффект. Ответ долго вызывал споры и был предметом многочисленных научных дискуссий. Рассмотрим коротко существо дела.

Первые годы обловы животных проводились планктонными сетками, предназначенными для ловли мелкого планктона (размером менее 1 см). Такого планктона оказалось много в уловах с глубин звукорассеивающих слоев. Казалось, что ответ найден — слои образованы мелким планктоном, который отражает, точнее, рассеивает звук, давая отметку на регистраторах эхолотов. Эта точка зрения сразу завоевала много сторонников и быстро переключала в популярную литературу об океане, породив одно из распространенных заблуждений.

Однако первые же количественные оценки, сделанные физиками-акустиком, показали, что наличия таких концентраций мелкого планктона далеко не достаточно, чтобы

создать наблюдаемый эффект. Акустики утверждали, что рассеивателями в слоях должны быть гораздо более крупные организмы. А они могли легко уйти от планктонных сеток и не попасть в улов. Действительно, когда обловы с учетом этого обстоятельства стали производить тралами, движущимися по горизонтали на глубине звукорассеивающих слоев, то исследователи обнаружили большое количество рыбы и ракообразных, достигавших в длину 10—12 см. Многие из рыб обладали наполненными газом плавательными пузырями. Родилась новая «акустическая» гипотеза: главными рассеивателями звука являются рыбы с плавательным пузырем и, несмотря на сравнительную малочисленность, их роль доминирующая.

Эта теория основывалась на известном в физике факте, что небольшие подводные газовые полости являются акустическими резонаторами — рассеивают некоторые частоты звука аномально сильно. Таким же резонатором может стать плавательный пузырь тела рыбы. Если частота звука, излучаемого эхолотом, близка к резонансной частоте плавательного пузыря, то последний начинает резонировать, создавать сильное рассеянное поле.

Эффект резонанса просто поразительный. Даже при такой малой концентрации рыбы в звукорассеивающих слоях, когда 1—2 рыбки приходится на объем в 1000 м³, уже наблюдается описанный выше эффект. Если бы эффект создавался нерезонансным зоопланктоном, то нужно было бы предположить, что в каждом кубическом сантиметре содержится несколько животных такого вида. Разница очевидна.

Приведем некоторые количественные соотношения. Рыбы, обнаруженные в звукорассеивающих слоях, имеют длину от 2—3 до 10—12 см. Объемы их плавательных пузырей изменялись соответственно от 0,04 до 0,5 см³. У рыбки длиной 5 см газовый пузырь резонирует на частоте примерно 3,8 кГц, если эта рыбка находится на глубине 30 м. Однако согласно теории, развитой акустиками, при углублении рыбы резонансная частота повышается, и для той же рыбки в 5 см длиной на глубине 200 м резонанс происходит уже на частоте более 7 кГц. Наблюдения над звукорассеивающими слоями целиком подтвердили этот эффект глубины.

Надо отметить, что «призрачное дно» наблюдается и при использовании высокочастотных излучателей звука

в качестве эхолотов, даже на таких высоких частотах, как 50—100 кГц. Здесь резонанс отсутствует. Зато на этих частотах и нерезонансные рассеиватели — тот же зоопланктон, медузы — могут давать вполне заметный эффект. Теперь уже вполне достоверно выяснилось, что дело обстоит именно так.

Таким образом, звукорассеивающие слои являются биологическим сообществом мелких рыб, зоопланктона, а также некоторых других видов морских организмов. Это сообщество с наступлением сумерек поднимается с глубин 500—600 м на глубины 50—100 м, а с рассветом снова опускается на большие глубины. Загадка таких вертикальных миграций слоев разгадывается достаточно просто. Утром слои поднимаются кверху, потому что зоопланктон кормится фитопланктоном, расположенным в верхних слоях, а рыба следует за зоопланктоном, потому что она питается им. С наступлением сумерек все сообщество опускается на большие глубины для того, чтобы сэкономить свою энергию — процессы жизнедеятельности на больших глубинах (при низких температурах) замедлены, а также для того, чтобы не быть съеденными другими хищниками.

Каким образом факт наличия звукорассеивающих слоев может быть использован для науки и практики? В первое время, когда были открыты эти слои и факт существования «призрачного дна» уже никто не оспаривал, многие офицеры морского подводного флота считали, что для того чтобы скрыться от обнаружения гидролокаторами противника, достаточно опуститься под это «призрачное дно». Довольно быстро расчеты и эксперименты опровергли это предположение. Хотя «дно» и дает заметный эффект отражения (скорее, рассеяния) звука, оно все-таки достаточно прозрачно и значительно больше энергии проходит через него, чем отражается. Поэтому для подводной лодки невозможно скрыться под таким «дном».

Однако акустики показали, что эффект звукорассеяния на ложном дне может быть очень важным. Из анализа того, насколько различные частоты рассеиваются такими слоями, можно, используя как «резонансную» теорию, так и «нерезонансную» (на высоких частотах), определять качественный состав биологического населения звукорассеивающих слоев, что имеет ряд преимуществ перед обычными биологическими обловами. Во-первых, подобные изме-

рения производятся очень быстро. Их можно делать даже на ходу корабля. Во-вторых, если от биологического трала рыба может ускользнуть (коэффициент «уловистости» трала иногда составляет всего $1/10$), то от акустической волны никуда не скроешься. Впрочем, правильное решение, как и во многих других случаях, состоит в том, чтобы применять тот и другой метод, поскольку они дополняют друг друга.

Одновременно с обнаружением «призрачного дна» наблюдали и его волнистую природу. Оказалось, что оно не горизонтально. По нему бегут волны длиной от нескольких сотен метров до нескольких километров. Вертикальный размах такой волны составляет иногда десятки метров. В дальнейшем выяснилось, что такой рельеф «призрачного дна» обусловлен просто тем, что на этих глубинах всегда существуют внутренние волны. Частицы воды во внутренней волне колеблются вверх и вниз, а с ними вместе, как на качелях, совершают колебательные движения и организмы, населяющие звукорассеивающие слои. Таким образом при помощи самого простого прибора — акустического эхолота — ученые сумели наблюдать и внутренние волны.

Однако надо считаться также и с тем, что звукорассеивающие слои иногда являются серьезной помехой для акустиков. В самом деле, если вы осуществляете эхолокацию каких-либо объектов под водой, то звукорассеивающие слои, давая ложное, дополнительное рассеяние, маскируют полезный сигнал. Акустики говорят в таких случаях, что звукорассеивающие слои создают реверберацию, которая маскирует полезный эффект. Особенно усиливается эта «вредная» реверберация, если звукорассеивающие слои расположены в местах концентрации звукового поля.

Вот, пожалуй, и все, что я хотел рассказать об одном из самых шумных мест нашей планеты.

В дальнейшем к этой теме мы еще будем возвращаться, поскольку эффективное изучение океана в наше время без использования акустических средств невозможно.

Глава третья

КАК ДЕЛАЮТСЯ ОТКРЫТИЯ

Эта идея недостаточно безумна, чтобы быть правильной.

Н. БОР

Как происходят открытия? Любопытный вопрос, не правда ли? Очень важный для науки, да и для всех нас, так как каждое открытие — существенный шаг вперед в познании окружающей человечество природы. Действительно, крупные открытия в истории каждой науки можно перечислить по пальцам. И в океанологии их немного — не более десятка.

Как же это все происходит? Случайно или закономерно появление нового открытия?

Многие, включая самих ученых, часто задаются этим вопросом. Естественно, что четких руководств о том, как делать открытия, нет и не может быть. Единственное, что можно сказать об открытиях, это то, что их чаще всего невозможно предвидеть. Это все-таки дело случайное. Другой вопрос, что для рождения открытия нужны научные предпосылки и хорошая интуиция, толкающая ученого на пристальное изучение той или иной проблемы, на проведение определенного комплекса исследований.

Часто открытия делаются в результате целенаправленного поиска с вложением достаточно больших средств для создания принципиально новых средств исследования. Примеры такого целенаправленного поиска являет ядерная физика, когда усилиями крупных коллективов ученых, имеющих в своем распоряжении мощные ускорители частиц высоких энергий, открываются все новые элементарные частицы. Но таких примеров очень немного. Чаще всего открытия случайны и оттого чрезвычайно интересны как для самих участников событий, так и для широкого круга неспециалистов. Ведь история таких открытий — своего рода научный детектив, с той разницей, что автор — ученый никогда не знает, чем увенчаются его поиски.

После этого небольшого предисловия, где я, разумеется, не претендую на роль первооткрывателя, ибо истины эти в достаточной мере тривиальны, я хочу рассказать о

трех важнейших событиях последних десятилетий, произошедших в моей науке.

Во-первых, это открытие движущихся литосферных плит верхней оболочки Земли толщиной около 100 км, что обуславливает движение континентов.

Вторым будет рассказ об открытии подводного звукового канала, открытии, имеющем огромное практическое значение, так как оказалось, что звуковые волны, т. е. акустические сигналы, могут распространяться на тысячи километров под водой. Именно наличие таких своеобразных подводных морских волноводов в последнее время используется для создания акустической томографии океана — способа, который позволит осуществлять непрерывное наблюдение за структурой всего Мирового океана.

Затем я остановлюсь на открытии синоптических вихрей океана, изменившем наши представления о движении океанских вод.

К двум последним открытиям я сам имел непосредственное отношение, поэтому и могу проанализировать весь процесс рождения открытий. Если бы я был биологом и участвовал в глубоководных исследованиях, я несомненно выбрал бы для анализа такие выдающиеся открытия, как обнаружение жизни на максимальных глубинах и жизни в экстремальных условиях в районе гидротерм.

3.1. Тектоника Земли и литосферные плиты

Открытие, о котором сейчас будет рассказано, состоит в установлении факта, что внешняя оболочка Земли толщиной около 100 км (так называемая литосфера) состоит из небольшого числа плит, движущихся относительно друг друга. Если считать только основные, наиболее крупные плиты, то их восемь, причем самая крупная — Тихоокеанская, простирающаяся почти под всем Тихим океаном. Все плиты лежат на сравнительно мягком, податливом слое — астеносфере, по которой и происходит скольжение. Силы, вызывающие движение плит, возникают как следствие конвективных движений жидкого вещества верхней мантии — на глубинах 100—1000 км. Горячая «легкая» магма поднимается вверх, холодная же «тяжелая» опускается вниз.

Представление о движущихся литосферных плитах, называемое теперь обычно концепцией тектоники литосфер-

ных плит, с единой точки зрения объясняет множество фактов. Некоторые из них известны уже давно, но или совсем не были объяснены, или объяснение было сугубо индивидуальным и чаще всего весьма искусственным. Я бы сказал, что только появление концепции тектоники литосферных плит позволило создать единую теорию Земли. Прежде всего именно она объясняет движение континентов, что долгое время оставалось лишь гипотезой. Даже беглый взгляд на карту выявляет поразительное сходство очертаний берегов Европы и Африки, с одной стороны, и Северной и Южной Америки — с другой. Еще в 1620 г. английский философ Фрэнсис Бэкон в своем труде «Новый органон» отмечал необычайное сходство границ этих континентов, высказывая мысль, что это неслучайно. Другой философ — Пласе в 1658 г. высказал предположение, что Старый и Новый Свет были когда-то вместе и разделились в результате... всемирного потопа!

Теперь мы точно знаем, что Атлантический океан действительно расширяется, а Европа и Африка удаляются от обеих Америк со скоростью несколько сантиметров в год. Современными физическими методами это передвижение может быть измерено непосредственно.

Одновременно концепция литосферных плит естественным образом объясняет существование Срединно-Атлантического хребта, протянувшегося с севера на юг через весь Атлантический океан как раз посередине между Европой и Америкой. В районе хребта расплавленное вещество поступает из недр Земли и расталкивает плиты. Здесь под океаном образуется новая земная кора.

Заметим, что срединно-океанические хребты простираются во всех океанах, образуя единую систему. Что здесь происходит?

Расплавленное вещество из недр Земли поступает в расщелины в срединных областях хребтов. В расщелины же под давлением всей толщи океана поступает сверху морская вода, которая тотчас же вступает в контакт с горячей магмой, образуя минеральные растворы. Растворы выталкиваются затем вверх в виде образований, которые ученые, воочию наблюдавшие эту картину, назвали «черными дымами» или «черными гейзерами». Выпадая в осадок, растворенные минералы затем образуют новые рудные залежи — сульфидные руды, названные так из-за большого количества серы в них. Многие руды в местах,

в настоящее время далеких от современного океана (в том числе на Урале), образовались именно таким путем.

В районах горячих гейзеров развиваются новые виды жизни, о чем я уже говорил.

Все эти процессы — и появление оригинальных животных, и «черные гейзеры», и образование рудных залежей — объясняет тектоника литосферных плит.

Ученые Института океанологии АН СССР, спустившись в Красном море на глубоководном обитаемом аппарате «Пайсис» до глубины около 2 км, своими глазами видели свежую, вновь образовавшуюся земную кору в одной из таких расщелин.

В Тихом океане представление о перемещающихся литосферных плитах объясняет наличие вулканических поясов, островных дуг и океанических впадин. В районах впадин покрытая морем плита изгибается и уходит под континент, земная кора деформируется, вследствие трения выделяется большое количество тепла и, как следствие всего этого, происходят многочисленные землетрясения, извержения вулканов, образуются глубокие впадины и новые острова.

Теперь о другом интересном факте. К настоящему времени во всех морях и океанах (всего примерно в 600 точках) осадочная толща пород пробурена вплоть до твердого основания. Это было сделано в результате международного научного сотрудничества с использованием американского бурильного корабля «Гломар Челленджер»¹. Во всех случаях определен возраст вынутых образцов пород. И вот оказалось, что не найдено пород, более старых чем примерно 200 млн. лет. Между тем Земля существует более 4 млрд. лет, а океан, по-видимому, более 3 млрд. лет. Где же старые породы, и прежде всего морские осадки?

Представление о движении литосферных плит объясняет и этот парадокс. Земная кора под океаном непрерывно обновляется. Новые области ее возникают в районе срединно-океанических хребтов, а старые погибают в районах, где литосферные плиты уходят под континент. Максимальный возраст земной коры под океаном определяется не возрастом Земли в целом, а скоростью этих процессов. Около 220 млн. лет тому назад все континенты нахо-

¹ В настоящее время эти исследования проводятся с использованием более совершенного корабля «Джойдес Резолушн».

дилься в составе единого праматерика. Тогда-то он и раскололся, после чего началось перемещение образовавшихся отдельных его частей. В результате за это время земная кора под океаном полностью обновилась. В настоящее время Атлантический и Индийский океаны раскрываются, Тихий океан закрывается. Австралия, например, движется со скоростью 6 см в год на север.

Концепция тектоники литосферных плит объясняет и многие другие явления. Так что это совсем не преувеличение — именно она помогла создать единую теорию Земли.

Богатство развернувшейся перед нами картины особенно поразит нас, если мы сравним ее с представлениями, господствовавшими до этого. Ведь долгие годы ученые считали, что, остывая, Земля в основном сжимается. Горные хребты возникают при этом как морщины и выпуклости на коже печеного яблока! Но все другие явления подобная теория, разумеется, объяснить не могла.

Теперь посмотрим, как же рождалась концепция тектоники литосферных плит, как появилась и укрепилась эта еретическая поначалу мысль, как оформилась теория, ставшая общепризнанной.

Если отбросить упоминавшееся выше представление о всемирном потопе, то нужно начинать с 1858 г. Именно тогда итальянский ученый А. Снидер-Пеллигрини высказал предположение, что обе Америки, с одной стороны, и Европа с Африкой — с другой, были когда-то единым материком, который затем раскололся и отдельные части отошли далеко друг от друга. Он даже опубликовал карты, где эти континенты были изображены в контакте друг с другом. Его высказывания были сделаны уже не только на основании умозаключений, вытекающих из поразительно-го сходства береговых линий, но в результате анализа характерных особенностей залежей каменного угля и ископаемых остатков растительности с обеих сторон океана. Он же оценил время, когда континенты были вместе, — конец каменноугольного периода (около 280 млн. лет тому назад). Как теперь мы видим, это оказалось не так уж далеко от действительности.

Но все же гипотеза раздвижения континентов стала известна как теория Вегенера, обосновавшего ее в 1912 г. более убедительно, чем кто-либо до него. Являясь выдающимся ученым, в основном метеорологом, Вегенер не мог,

к сожалению, найти правильное решение ключевой проблемы — для него осталось загадкой происхождение сил,двигающих континенты. Настоящий подвижник науки Альфред Вегенер не успел этого сделать, так как героически погиб во льдах Гренландии, куда он направился для того, чтобы найти геологические свидетельства движения этого гигантского острова.

В 1928—1929 гг. А. Холмс опубликовал схему движения континентов, но при этом он также назвал вероятной причиной этого движения конвекцию в мантии Земли. Согласно догадке Холмса, конвекция происходит как результат нагрева снизу вследствие радиоактивного распада вещества верхней мантии — схема, близкая к современной. Однако еще в 1953 г. он сам считал эти представления слишком фантастическими.

Кроме вопроса о движущих силах, важен также вопрос, как могут плиты, даже если они существуют, плавать по твердой оболочке Земли? И вот тогда оказались существенными старые работы Гутенберга. Изучая распространение сейсмических волн, вызванных землетрясениями, немецкий ученый обнаружил, что сначала интенсивность этих волн при удалении от эпицентра землетрясения, как и следовало ожидать, уменьшается, но на расстоянии около 2000 км она вдруг снова начинает возрастать, т. е. существует своеобразная фокусировка волн. Анализируя результаты наблюдений, Гутенберг пришел к выводу, что такого рода явление можно объяснить наличием на глубинах около 100 км размягченного слоя, где скорость сейсмических волн понижена. Этот слой и был назван астеносферой. Выяснилось, что литосферные плиты вполне могут «плавать» по этому размягченному слою.

В результате в 50—60-х годах нашего столетия появились все научные предпосылки, чтобы гипотезу движения литосферных плит превратить в теорию. И все же для этого понадобился еще один толчок. Им оказались исследования намагничивания пород, образовавшихся в геологическом прошлом Земли.

Многие горные породы на земном шаре представляют собой застывшие лавы вулканического происхождения. Если в их состав входит какой-нибудь ферромагнетик (чаще всего железо), то при застывании лавы направление ее намагниченности остается таким, каким было направление магнитного поля Земли в процессе этого застывания. Эф-

фект проявляется даже в том случае, если проба содержит лишь отдельные зерна какого-либо ферромагнетика. Это было общеизвестно. И совершенно неожиданно француз Д. Брюна в 1906 г. обнаружил, что у некоторых лав, исследованных им во Франции, направление намагничивания обратно направлению современного магнитного поля Земли.

После второй мировой войны этим вопросом занялись ученые многих стран. И действительно, оказалось, что в геологическом прошлом направление магнитного поля Земли много раз изменялось на обратное. Иными словами, Северный и Южный полюсы Земли многократно менялись местами².

Обратимся теперь к одному интересному факту, зарегистрированному океанологами при изучении магнитных аномалий северо-восточной части Тихого океана уже совсем недавно — в 1958 и 1961 гг. Было обнаружено, что при пересечении подводного хребта и при движении перпендикулярно к нему на протяжении многих сотен километров магнитные аномалии периодически (через каждые 30—40 км) меняют знак, т. е. направление намагниченности пород, составляющих дно, многократно изменяется на обратное.

В дальнейшем выяснилось, что такая «полосчатая» структура аномалий сохраняется в окрестности всех срединно-океанических хребтов. Более того, эти полосы расположены симметрично относительно оси подводного хребта на обеих сторонах хребта.

В 1963 г. английские ученые Ф. Вайн и Д. Мэтьюз опубликовали работу, где объяснили подобную структуру магнитных аномалий тем, что в районе оси хребта жидкая лава, когда она застывала в геологическом прошлом, фиксировала направление магнитного поля Земли. Далее из-за раздвигания земной коры эти породы оказывались на некотором расстоянии от оси хребта (оси раздвижения).

² Такой обмен местами Северного и Южного магнитного полюсов происходит через 1—2 млн. лет. По сравнению с этим время, в течение которого длится каждая перестройка, очень мало — всего несколько тысяч лет. Причины такого поведения магнитных полюсов по-настоящему не ясны. Наиболее вероятно, что оно обусловлено особенностями движений во внешнем (жидком) ядре Земли.

За этой лавой появлялась более поздняя застывшая лава с обратным направлением намагничивания и т. д.

Догадка исключительно оригинальна. Таким образом, на раздвигающейся земной коре, как на ленте магнитофона, записаны смены полярности магнитного поля в геологическом прошлом. Уже зная из исследований на континентах времена смены полярности земного магнитного поля, Ф. Вайн и Д. Мэтьюз показали, что подобная картина оказывается в полном соответствии с наблюдениями, если предположить, что движение для каждого хребта происходит с определенной скоростью в обе стороны от его оси. Таким образом, границы между полосами аномалий соответствуют временам смены полярности магнитного поля в далеком прошлом.

После этих работ представление о движущихся литосферных плитах стало почти полной достоверностью. Однако окончательное доказательство было получено при бурении морского дна в открытом океане на исследовательском судне «Гломар Челленджер». В вынутых колонках, достигавших иногда длины 500 м, ученые определили возраст осадков. Естественно, оказалось, что с углублением он увеличивается. На границе же со скальной породой он соответствует возрасту породы, определенному по аномалиям магнитного поля. Ученые получили равномерное увеличение возраста пород при удалении точки бурения от оси хребта, где образуется новая земная кора. Таким образом, было доказано, что не только скальные породы, но и прилегающие к ним осадки тем старше, чем дальше они расположены от оси хребта. Так было получено решающее доказательство существования процесса раздвижения плит и непрерывного образования новой земной коры под океаном.

3.2. Подводный звуковой канал

Выше уже указывалось, что звук является весьма перспективным средством исследования подводных глубин. Однако способность звука распространяться в океане и в море на крайне большие расстояния от одного континента до другого связана с наличием в природе подводного звукового канала, открытого советскими и американскими учеными независимо друг от друга в середине 40-х годов.

В газете «Правда» от 15 марта 1951 г. содержался список работ, удостоенных Государственной премии за 1950 г. Он открывался группой из четырех человек — Л. М. Бреховских, Л. Д. Розенберг, Б. Н. Карлов и Н. И. Сигачев. Этой группе была присуждена Государственная премия первой степени (тогда были Государственные премии трех степеней) за научные исследования в области акустики. Эти исследования и заключались в открытии подводного звукового канала. Кто же были эти авторы и при каких условиях им удалось сделать это открытие? Б. Н. Карлов в открытии участия не принимал, хотя и был участником дальнейших исследований явления «сверхдальнего», как мы тогда его называли, распространения звука в море. Н. И. Сигачев был начальником экспедиции, где были сделаны наблюдения, приведшие к открытию, и о которой речь пойдет ниже.

Таким образом, науку в этой группе представляли Л. Д. Розенберг и Л. М. Бреховских. Первый — профессор, доктор технических наук, до 1941 г. работал на строительстве Дворца Советов. Наверное не многие помнят, что это грандиозное сооружение было задумано как памятник той эпохи. Все размеры этого сооружения были колоссальны, беспрецедентны. Главный зал, например, в проекте имел купол высотой (от пола) около 100 м. Группа научных работников — акустиков, которой руководил Л. Д. Розенберг, занималась сложными вопросами акустики этого сооружения, в частности борьбой с возможным вредным эхом от купола в главном зале.

Я же окончил в 1939 г. Пермский университет по специальности «теоретическая физика» и поступил в аспирантуру Физического института Академии наук СССР (ФИАН) к М. А. Леонтовичу — позднее академику, а тогда члену-корреспонденту. Работал над теорией рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах, занимался также вопросами распространения радиоволн.

Читателю, наверное, будет интересно знать, как Л. Д. Розенберг и я, работавшие в таких разных областях, и к тому же далеких от моря, в конце концов оказались в одном коллективе, ведущем исследования в области морской акустики.

После начала войны 22 июня 1941 г. все в ФИАНе думали, чем можно помочь обороне страны. Перед тем как утром начать работу, собирались у карты военных дей-

ствий и обсуждали последние события. Я с радостью согласился на предложение Н. Н. Андреева — тогда члена-корреспондента, позднее академика — войти в его группу по разработке средств борьбы с немецкими акустическими минами. Основу группы как раз составляли сотрудники бывшей Акустической лаборатории строительства Дворца Советов, руководимой Л. Д. Розенбергом (к тому времени они уже работали в ФИАНе).

Новая группа во главе с Н. Н. Андреевым в конце 1941 г. и в начале 1942 г. работала в Казани. В мае—ноябре 1942 г. работы шли на Черном море в Потти, а в декабре 1942 г.—феврале 1943 г.— в Баку.

Основная идея борьбы с акустическими минами состояла в том, чтобы с помощью специальных источников звука (акустических тралов) создавать мощные звуковые поля, которые взрывали бы акустические мины на больших, безопасных для носителя этого источника расстояниях. Для того чтобы создать акустический трал, необходимо было знать закон убывания силы звука в море с расстоянием с учетом влияния поверхности моря и поглощающего дна. Так как я уже до этого занимался теорией волновых процессов, то, естественно, эта задача легла на меня. Вот тогда я по настоящему занялся исследованием законов распространения звуковых волн в море, чем и занимаюсь поныне.

Перехожу теперь к сути дела.

В 1946 г. готовилась экспедиция в Тихий океан. Начальником экспедиции был назначен Н. И. Сигачев. Научным руководителем являлся профессор Л. Д. Розенберг. Задачи экспедиции были таковы, что она должна была выйти в океан к определенному сроку. Как это иногда бывает, произошло опоздание с подготовкой, и, когда корабль с акустической аппаратурой наконец был готов, выяснилось, что выходить в Тихий океан уже поздно. Чтобы «заряд» не пропал даром, т. е. чтобы вся работа по подготовке научной экспедиции не оказалась совсем напрасной, решили провести простой акустический эксперимент в Японском море. Суть его достаточно элементарна. Один корабль с опущенным на глубину 100 м гидрофоном — приемником звука — лежит в дрейфе в точке вдалеке от берега в месте с глубиной 2 км, а другой уходит полным ходом до максимальной дистанции (в данном случае 300 морских миль — около 550 км), устанавливая по

дороге акустические заряды на заранее определенных расстояниях. Эти заряды были отрегулированы так, чтобы они взрывались также на глубине 100 м. Звук этих взрывов и регистрировался на «приемном» корабле.

И вот Л. Д. Розенберг, наблюдая записи акустических сигналов на движущейся ленте самописца на «приемном» корабле, заметил, что сила акустического сигнала в пике убывала с расстоянием лишь примерно до 30 миль, а далее становилась практически стабильной или убывала крайне медленно. Характер принимаемого акустического сигнала также кардинально изменялся при переходе от малых расстояний к большим. На малых расстояниях сигнал, развернутый во времени, представлял собой резкий удар типа ударной волны, сопровождаемый вторичными, более слабыми ударами, к тому же более растянутыми во времени по сравнению с первым.

На больших расстояниях (более 30 миль) сила звука в начале сигнала была очень мала, постепенно сигнал набирал силу, превращался как бы в раскаты грома, а затем внезапно обрывался.

Так как в Акустической лаборатории ФИАНа я тогда считался «главным специалистом» по вопросам распространения звука в море, то, возвратившись в Москву, Л. Д. Розенберг передал мне все полученные записи и просил подумать, как можно объяснить необычные особенности сигналов.

Я стал разбираться в результатах. Возможности для этого занятия, надо прямо сказать, у меня были неплотные. Акустическая лаборатория находилась тогда в небольшом двухэтажном «акустическом павильоне» на том месте, где теперь находится основная территория ФИАНа (главное здание ФИАНа тогда располагалось на Мясуской площади). Мы с женой и дочкой жили на первом этаже здания лаборатории. Одновременно в моем распоряжении была совсем крохотная комнатка (5 м²) на верхнем этаже, куда я мог удалиться в любое время дня и ночи и работать.

Характер акустического сигнала на близких расстояниях объяснить оказалось легко. Он был обычен для звука, генерируемого подводным взрывом. Сначала действительно приходит ударная волна. Для взрыва в воздухе этим дело бы и ограничилось. При подводном же взрыве

после детонации взрывчатого вещества образуется пульсирующий газовый пузырь. Он то расширяется, то почти схлопывается. В моменты «почти схлопывания» излучаются вторичные импульсы давления. Их и записывает акустический приемник и регистрирующая система. Ничего нового в этом не было.

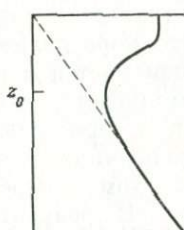
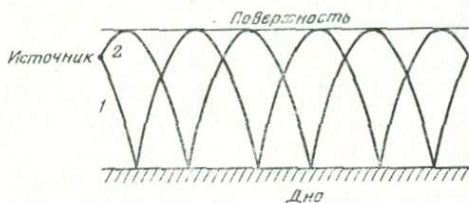
Сложнее было с дальними акустическими сигналами.

При анализе распространения звука на большие расстояния необходимо учитывать рефракцию (изгибание) звуковых лучей, вдоль которых распространяется звуковая энергия. Рефракция вызвана тем, что море является неоднородной средой — скорость звука изменяется с глубиной. Это происходит главным образом потому, что с глубиной изменяется температура воды, а при разной температуре скорость звука разная. Экспедиция происходила в летнее время при хорошо прогретом и перемешанном верхнем 20-метровом слое воды. В результате перемешивания температура оставалась почти постоянной в этом слое, затем резко падала в слое 20—60 м, затем при увеличении глубины также продолжала падать, но уже более медленно и на глубине около 200 м была около 2°C . Основная масса более глубоких вод была почти однородной и имела температуру около $0,5^{\circ}\text{C}$. Изменение температуры с глубиной в верхнем 200-метровом слое было основным фактором, влияющим на скорость звука. Скорость звука в морской воде зависит также от ее солености. Однако небольшие вариации солености в данном случае сказывались меньше.

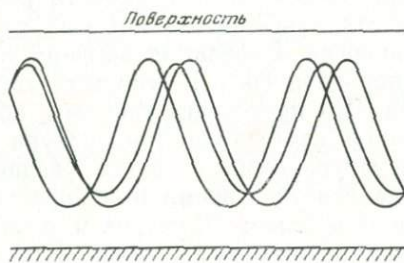
Таким образом, вырисовывалась, казалось бы, следующая модель стратификации Японского моря по скорости звука. Скорость звука, как и температура, приблизительно постоянна в пределах верхних 20 м, затем резко падает при углублении до 70—100 м, затем падение замедляется и скорость постепенно становится постоянной на всей остальной однородной толще моря.

Теоретический анализ распространения звуковых волн в рамках таких представлений дал, однако, результат, полностью противоположный наблюдаемому в экспедиции. Волны в такой модели распространяются путем многократных отражений от дна. Действительно, для рефракции любых (а не только звуковых) волн в любых средах имеет место универсальное правило — волны ухо-

Рис. 3.1. Картина звуковых лучей в море для случая, когда скорость звука уменьшается с глубиной в верхних слоях моря и остается постоянной — в нижних



а



б

Рис. 3.2. Распространение звука при наличии подводного звукового канала

а — профиль скорости, б — ход некоторых лучей, распространяющихся без контактов с дном и поверхностью воды

дят из зон с повышенной скоростью распространения и стремятся в зоны с меньшей скоростью.

В результате звуковые лучи, вышедшие из источника на глубине 100 м наклонно к горизонту вниз, уходят к дну (луч 1 на рис. 3.1) и отражаются от него с частичным поглощением. После отражения они идут вверх, где отражаются от поверхности или вследствие рефракции в верхнем слое с сильным вертикальным градиентом скорости заворачивают вниз, не достигая поверхности (тот же луч 1 на рис. 3.1), после чего история повторяется.

Если луч вышел из источника наклонно к горизонту вверх, как луч 2 на том же рисунке, то он сразу рефрагирует в верхнем слое или отражается от поверхности, после чего его ход аналогичен ходу луча 1. При каждом отражении от дна определенная доля энергии звуковой волны теряется. В результате интенсивность звуковой волны должна была бы быстро убывать с расстоянием.

Этот случай мне был хорошо знаком по распространению звука в мелководной части Черного моря, с чем мы сталкивались при работе над акустическими тралами.

Существование дальнего распространения указывало на то, что хотя бы часть лучей должна распространяться без губительных для них контактов с дном. Как это могло быть? Лучи уходят к дну вследствие указанного выше универсального закона рефракции, потому что скорость звука у дна меньше, чем в поверхностном слое. Если в действительности существовали лучи, которые избегали контакта с дном, то значит существовал какой-то фактор, обуславливающий повышение скорости звука при приближении к дну. После поисков решения этой загадки и размышлений такой фактор был найден. Это гидростатическое давление в глубине! Вода на больших глубинах находится под большим давлением (около 200 атм на глубине 2 км). Ее сжимаемость при этом уменьшается, что приводит к увеличению скорости звука с увеличением давления, т. е. глубины. Правда, одновременно под действием давления увеличивается плотность воды, что вызывает уменьшение скорости (скорость звука обратно пропорциональна корню квадратному из произведения сжимаемости среды на плотность). Таким образом, все решалось тем, какой фактор из двух окажется сильнее. Оказалось, что пересиливал фактор, связанный с уменьшением сжимаемости, так что скорость звука (при прочих постоянных параметрах) с глубиной должна возрастать! Это действительно так и оказалось. Следовательно, в глубинных слоях также должна происходить рефракция звуковых волн, но в обратном направлении по сравнению с рефракцией в поверхностных слоях.

До того нам никогда не приходилось учитывать изменение скорости звука, обусловленное изменением гидростатического давления в воде, потому что мы имели дело со звуковыми лучами, распространяющимися на небольших глубинах, где эффект влияния давления был пренебрежимо мал.

С учетом гидростатического давления зависимость скорости звука от глубины будет такой, как это изображено на рис. 3.2, а. В верхнем перемешанном слое она почти постоянна. Затем резко падает с увеличением глубины из-за падения температуры. После достижения минимума на некоторой глубине z_0 она начинает возрастать

из-за увеличения гидростатического давления. Это возрастание продолжается вплоть до дна.

Звуковые лучи, вышедшие из излучателя под достаточно крутыми углами вниз, слабо почувствуют изменение скорости звука с глубиной из-за гидростатического давления (оно составляет всего лишь несколько процентов по отношению к самой скорости) и снова будут ударяться в дно. То же самое будет с лучами, вышедшими круто вверх после их отражения от поверхности воды. Такие лучи на больших расстояниях будут очень слабыми. Они на рис. 3.2 не изображены.

Совершенно по-другому будут вести себя лучи, вышедшие из излучателя вниз или вверх под небольшими углами к горизонту. Для них те же малые изменения скорости звука с глубиной будут заметно сказываться, лучи будут заворачивать, не доходя до дна (рис 3.2, б). В результате они будут распространяться снова и снова, возвращаясь на горизонт z_0 без потерь энергии на дне.

Мы видим, что луч, распространяющийся на большие расстояния, складывается из большого количества «циклов». Каждый цикл состоит из верхнего (короткого) полуцикла, где луч заворачивает в слоях с высокой скоростью звука или просто отражается от поверхности (что происходит без потерь звуковой энергии), и нижнего (длинного) полуцикла, где он заворачивает в слоях с повышенной (из-за гидростатического давления) скоростью звука. В одну и ту же точку на расстоянии несколько сотен километров может приходиться большое количество лучей, отличающихся числом циклов, из которых они состоят, и заворачивающихся на разных глубинах. Длины циклов изменяются примерно от 1 до 10–15 км.

Таким образом нам удалось качественно объяснить сверхдальнее распространение звука. Оно обусловлено наличием лучей, не имеющих контактов с дном, энергия которых к тому же концентрируется в ограниченном по глубине слое. Было ясно, что мы имеем дело с новым никогда не наблюдавшимся ранее явлением, имеющим потенциально большое практическое значение. Однако таких качественных соображений было мало. Необходимо было построить количественную теорию распространения звука в таких условиях и сравнить ее с экспериментом.

Теперь, используя электронно-счетные машины, можно задать любой вертикальный профиль скорости звука, любое положение акустического излучателя и напрямую рассчитать звуковое поле в любой точке. В 40-х же годах даже расчет хода одного луча представлял сложную проблему, так как счет велся обычно на арифмометрах. Поэтому нужно было так упростить задачу, чтобы она, правильно отображая основные черты действительности, допускала все же простой расчет, как и простой анализ закономерностей, связанных с распространением звука. Теперь мы бы сказали, что необходимо было построить простую, доступную для анализа, но в то же время достоверную модель явления.

Закон изменения скорости звука с глубиной в основной толще моря от глубины 200 м и до дна был прост — она увеличивалась с глубиной линейно. Здесь уже нечего было упрощать. Сложности были в верхних 200 м. Естественно, возникает вопрос, а так ли уж важны эти 200 м по сравнению со всей толщей моря, нельзя ли просто предположить, что линейное возрастание скорости звука начинается не с глубины 200 м, а с самой поверхности, как это изображено пунктиром на рис. 3.2, а. Эта идея оказалась плодотворной. Лучи теперь стали просто дугами окружностей, смотревшими своими выпуклостями вниз (рис. 3.3, а). Звук распространялся по этим лучам, многократно отражаясь от поверхности воды. В каждую точку приходило много лучей, различавшихся количеством отражений от поверхности и, следовательно, длинами циклов (расстояниями от одного отражения до другого). В такой модели легко рассчитывались и время пробега звукового импульса по любому из лучей, и его интенсивность.

Отражение от поверхности воды не связано с поглощением звуковой энергии. Правда, поверхность может быть неровной, и, казалось бы, звук на ней мог рассеиваться. В общем это так и есть. Однако когда мы имеем дело с низкими частотами (с большими длинами звуковых волн), как это и было в эксперименте в Японском море, то этим рассеянием можно пренебречь. Затухание волн низких частот в самой воде тоже ничтожно. Волна с частотой 100 Гц может пройти 10 000 км прежде, чем ее энергия ослабнет вследствие поглощения в 10 раз. Конечно, волна ослабляется также из-за расхождения фронта волны, но это частично компенсируется тем, что лучи, распространяясь,

остаются все время в некотором слое, занимающем определенную толщину по глубине, т. е. имеет место некоторая концентрация звука в этом слое.

Расчет с использованием такой простой модели дал результаты, полностью совпадающие с экспериментом как в отношении спадаения силы звукового сигнала с расстоянием, так и изменения его формы и длительности на разных расстояниях.

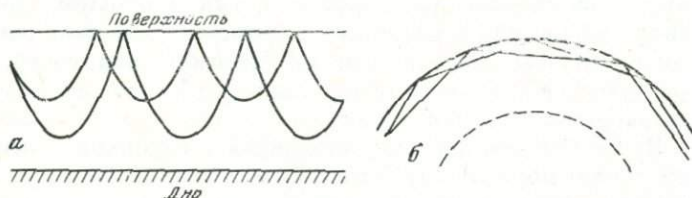


Рис. 3.3. Распространение звуковых лучей при линейном возрастании скорости звука с глубиной (а) и вдоль искривленной стенки — явление «шепчущих галерей» (б)

Более того, в результате этого упрощения мы получили явление, совершенно аналогичное давно известному в классической акустике явлению «шепчущих галерей», в свое время обнаруженному известным английским ученым Рэлеем в соборе св. Павла в Лондоне.

В этом соборе под куполом имеется круговая галерея, куда допускаются посетители. Часть этой галереи в плане очень схематично изображена на рис. 3.3, б. С внутренней стороны галереи находится балюстрада (штриховая линия на рисунке), с внешней — гладкая вертикальная изгибающаяся стенка, в которой имеется лишь одна дверь, через которую можно попасть в галерею. Замечательное явление, открытое Рэлеем, заключается в том, что если, находясь в каком-нибудь месте галереи, очень тихо произнести вблизи стенки несколько слов, то все сказанное будет отчетливо слышно на противоположной стороне галереи, на расстоянии нескольких десятков метров. Я сам был в соборе св. Павла и со своими друзьями проверял это явление. Оно производит поразительное впечатление.

Рэлей дал простой расчет и объяснение этого явления. Звуковые лучи, распространяющиеся вдоль стенки, многократно отражаются от нее под малыми углами и в результате как бы стелятся вдоль нее, оставаясь заключенными

в тонком слое, прилегающем к стенке. Вследствие этого звуковая энергия концентрируется вблизи стенки.

Совершенно аналогичное явление имели и мы. Разница заключается только в том, что в «шепчущих галереях» лучи прямые, а граница кривая. У нас же, наоборот, граница плоская, а лучи кривые. Однако, как показала развитая позднее более точная теория, важно было не это, а относительная кривизна границы и лучей, которая была одинакова по своему характеру в том и другом случаях. Конечно же, масштабы нашего явления были больше масштабов в «шепчущих галереях» во много тысяч раз. Однако в том-то и состоит роль науки, чтобы в, казалось бы, совершенно разных явлениях в природе найти общие черты.

Таким образом, было открыто то, что позднее стали называть подводным звуковым каналом (ПЗК). Оказалось, что ПЗК существует в любом море и океане, если глубина достаточно велика. Ось ПЗК (уровень минимальной скорости звука) лежит в разных морях и частях океана на разных глубинах. В арктических районах она поднимается к самой поверхности, в то время как в центральной части Атлантического океана она заглубляется до 1200 м.

Первое время наши работы по понятным причинам не появлялись в открытой печати. Первая публикация с представлением академика С. И. Вавилова была направлена в «Доклады АН СССР» в июле 1948 г.

Позднее оказалось, что аналогичное открытие сделано и американскими учеными. Первая их публикация в открытой печати появилась также в 1948 г.³ Из-за трудности послевоенных научных связей этот журнал попал к нам со значительным опозданием.

Позднее, бывая в разных странах, я отыскивал явление «шепчущих галерей» везде, где оно могло наблюдаться. Так было в 1956 г. в Храме Неба под Пекином. Там монастырь — большое здание — окружен высокой гладкой с хорошей каменной кладкой цилиндрической стеной диаметром около 100 м. Вдоль искривленной стены также распространялся звук. Вы можете перешептываться со своим спутником, который находится на противоположной стороне стенки, отделенный от вас большим зданием. «Шеп-

³ Ewing M., Worzel J. Long-range sound transmission // The Geol. Soc. of Amer. 1948. Memoir 27. October 15. P. 1—35.

чущие галереи» я наблюдал также и в соборе св. Петра в Риме в галерее, расположенной под куполом собора.

Нам полезно иметь представление о том, как затухает звук в океане. На рис. 3.4 дана зависимость коэффициента поглощения от частоты. Поглощение возрастает с повышением частоты. Теоретически оно хорошо описывается сплошной кривой. Однако на частотах 100 Гц и ниже имеется дополнительное затухание, пока еще не достаточно точно описываемое теорией. На врезке указаны дистанции D , на которые распространяется звук при ослаблении его интенсивности из-за поглощения звука в воде в 10 раз. На частоте 50 Гц это 10 тыс. км! Конечно, надо иметь в виду, что звук ослабляется также из-за геометрического расхождения лучей, но все равно дистанции, покрываемые звуком, огромны. В одном эксперименте звук от небольших взрывов, распространяющийся в ПЗК, регистрировался на расстоянии 22 тыс. км.

Наконец, о практическом значении открытия ПЗК. Явление дальнего распространения звука в подводном звуковом канале — краеугольный камень современной подводной акустики. Оно важно с самых разных точек зрения, и прежде всего для подводной связи и сигнализации. И этим пользуется не только человек.

Киты могут общаться друг с другом на громадных расстояниях. Недаром у горбатых китов песни одинаковы по всему океану. И хотя они каждый год новые, но опять-таки одинаковы.

Спустив гидрофон в ПЗК, исследователь может слушать эти песни. Одновременно он может регистрировать звуковой сигнал от землетрясения, произошедшего за много тысяч километров, и предупредить население прибрежных зон о приближающейся волне цунами. Ведь звуковая волна бежит в несколько раз быстрее цунами! Одновременно будут слышны шумы, вызванные далекими штормами, звуки взрывов, производимых в далеких районах океана для сейсморазведки, шумы надводных и подводных кораблей и многое другое. Другими словами, вы будете фиксировать акустическую жизнь огромного района океана, т. е. будете в курсе многих происходящих на акватории этого района событий.

В распоряжении военно-морского флота США как в Атлантическом, так и в Тихом океане имеются сети таких акустических станций, которые позволяют не только реги-

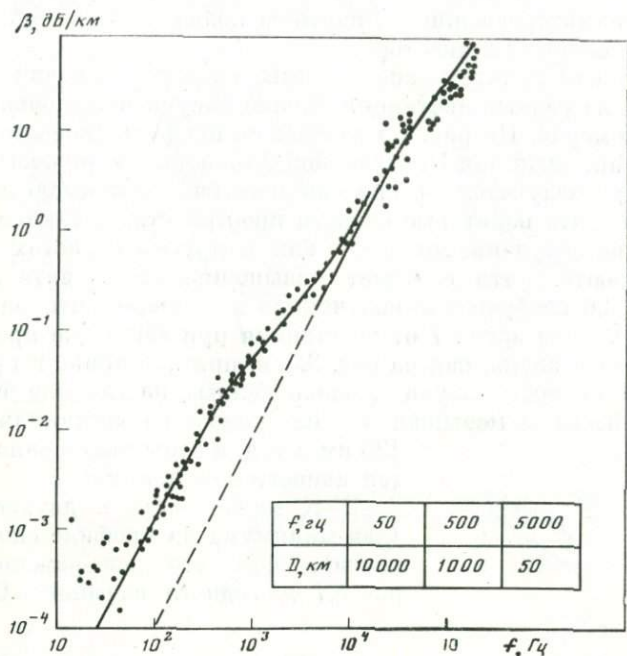


Рис. 3.4. Зависимость коэффициента поглощения звуковых волн в морской воде β от частоты волны f

стрировать звук разной природы в океане, но и определять одновременно место его возникновения.

В Атлантике такая система в 1978 г. была подключена к совместной советско-американской работе «ПОЛИМОДЕ» по исследованию синоптических вихрей в океане (см. далее). Для этого использовались буи «нейтральной плавучести», которые при выбрасывании их за борт опускались на определенную наперед заданную глубину и перемещались там вместе с подводными течениями. Один раз в 5 мин буй испускает звуковой сигнал. Этот сигнал, хотя он и слаб (это видно хотя бы из того, что батареи, питающей излучатель, хватает на целых полгода), может регистрироваться в ПЗК на расстоянии до 1—2 тыс. км. Упомянутые выше акустические станции принимают эти сигналы, и при помощи их каждые 5 мин определяют координаты буя. Таким образом, возникает уникальная воз-

возможность прослеживать картины подводных течений сразу на обширных акваториях.

Решая практические вопросы, надо иметь в виду, что ПЗК на разных дистанциях может озвучиваться очень неравномерно. На рис. 3.5 изображен профиль скорости звука, типичный для Центральной Атлантики, и звуковые лучи при излучателе, расположенном на глубине 400 м. Мы видим, что некоторые области пространства остаются совсем не облученными, тогда как в других областях лучи ступают, что означает повышение силы звука. На рис. 3.6 изображена полученная в эксперименте зависимость силы звука I от расстояния при таком же профиле скорости звука, как на рис. 3.5, а, при источнике и приемнике скорости звука, расположенных на глубине 400 м. Видны зоны повышенной силы звука на дистанциях 65, 130 км и т. д. и зоны пониженной интенсивности между ними.

ПЗК может быть и двухосевым (два минимума на профиле скорости звука), как это изображено на рис. 3.7 для одного из районов Север-

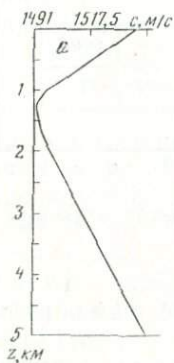
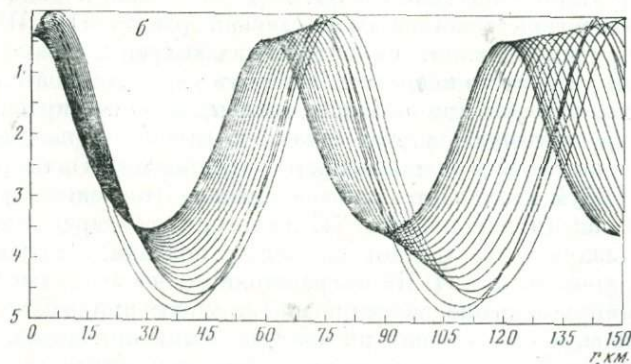


Рис. 3.5. Типичная зависимость скорости звука c от глубины z для Центральной Атлантики (а) и картина звуковых лучей в этих условиях при источнике, расположенном на глубине 400 м (б) (изображены только лучи, не имеющие отражений от дна)



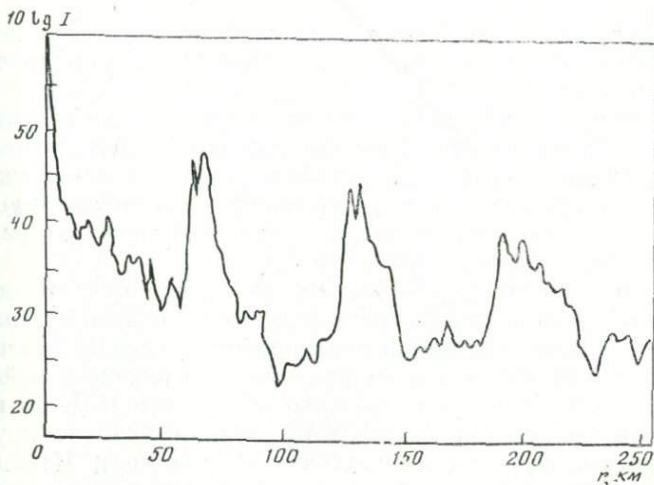


Рис. 3.6. Зависимость силы звука I от расстояния r при профиле скорости, изображенном на рис. 3.5, a (глубина излучателей и приемника 400 м)

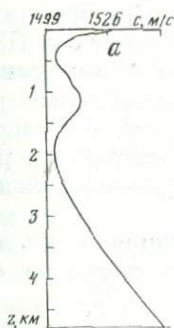
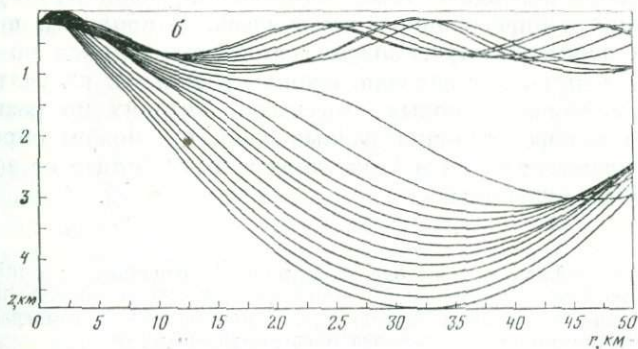


Рис. 3.7. Двухосевой подводный звуковой канал

a — зависимость скорости звука от глубины,
 b — картина распространения лучей при глубине источника 200 м



ной Атлантики. Как видно, лучи разбиваются на два класса — одни из них остаются в верхнем канале, а другие проникают в нижний.

Возможности ПЗК далеко еще не использованы. В настоящее время ученые думают применить его для создания системы акустической томографии⁴ океана, позволяющей осуществлять непрерывное наблюдение за состоянием водных масс и их движением сразу на огромных акваториях океана (площадью до 1 млн. км²).

Идея состоит в следующем. Допустим вначале для простоты, что характеристики воды в океане зависят только от глубины и остаются неизменными в горизонтальном направлении, что в первом приближении близко к действительности. Поместим мысленно вблизи оси ПЗК на некотором достаточно большом расстоянии друг от друга излучатель звуковых импульсов и их приемник. Каждый испущенный излучателем звуковой импульс будет доходить до приемника многими различными путями, распространяясь по лучам, имеющим на пути разное число циклов и удаляющимся на разное расстояние от оси ПЗК. Так как времена пробега звука по разным лучам разные, то один излученный импульс превратится в целый ряд импульсов на приеме. Теория, как, впрочем, и эксперимент, показывает, что первыми приходят импульсы, распространяющиеся по лучам, больше всего удаляющимся от оси канала и почти касающимся дна.

Последними приходят импульсы, бегущие вдоль оси канала. Их путь короче, но зато скорость звука на оси минимальная!

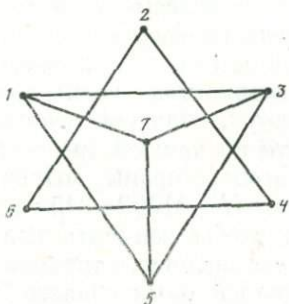
Мы можем мысленно разбить океан на слои горизонтальными поверхностями. Каждый звуковой луч будет пересекать определенное число слоев. Наибольшее число слоев пересечет луч, более всего удаляющийся по оси ПЗК. Так вот, определяя время пробега от излучателя до приемника звуковых импульсов, бегущих по разным лучам и пересекающих разные слои, мы можем определить скорости звука в этих слоях и в результате ее зависимость от глубины.

⁴ «Томография» в переводе с латинского означает «последовательное описание». Акустическая томография океана в определенной степени аналогична компьютерной рентгеновской томографии в медицине, но только снова масштабы разные!

Допустим, что мы определили времена пробега n импульсов (по n лучам). Это значит, что мы получили информацию, достаточную для того, чтобы определить скорость звука в n слоях, на которые следует разбить всю толщу океана. Эксперимент показывает, что в глубоком океане можно принять раздельно на больших расстояниях 15–20 лучей, т. е. $n=15\div 20$.

Рис. 3.8. Пример возможного расположения приемноизлучающих станций при акустическом, томографическом изучении океана

Расстояния между станциями могут составлять многие сотни километров



Зная изменение скорости звука с глубиной, можно определить распределение как температуры, так и плотности с глубиной, для чего, правда, необходимо иметь некоторые априорные представления о распределении по глубине солености.

Акустическим методом можно определить и проекцию скорости течения на линию, соединяющую наши две «корреспондирующие точки» (излучатель и приемник). Для этого надо в каждой из этих двух точек поместить как излучатель, так и приемник и прозвучивать трассу в одном и другом направлениях. По разнице времен пробега звуковых импульсов по различным лучам в обоих направлениях можно определить не только составляющую скорости течения на линию, соединяющую обе точки, но также и ее изменение при переходе от слоя к слою (также томография!).

Ну а как же быть, если океан неоднороден по горизонтали, а в нем есть синоптические вихри, фронтальные области, мощные струйные течения — другими словами, когда океан имеет сложную трехмерную структуру? В этом случае надо взять не две, а большее число корреспондирующих точек N , расположив их по периферии и внутри области океана, которой мы интересуемся, как это сделано, например, на рис. 3.8 для $N=7$, где изображен вид

на океан сверху. В каждой точке должен быть как излучатель, так и приемник звука. В результате мы можем организовать количество акустических трасс, равное $N(N-1)/2$, т. е. число сочетаний из N по 2. Для этого надо каждую из точек соединить акустической трассой со всеми остальными. На рис. 3.8 изображено 9 трасс из возможных 21.

Разные трассы пересекают разные части выбранной нами области океана, и времена пробега звуковых импульсов по ним (в одну и другую стороны) несут информацию о характеристиках водных масс, по которым они распространяются, включая течения. При $n=15$, $N=7$ с учетом того, что по каждой трассе наблюдается распространение звука в обе стороны, мы получаем информацию, состоящую из $n(N-1)N/2=315$ чисел. Она может быть использована, чтобы получить неплохое, хотя и довольно грубое, представление о трехмерной структуре вод и течениях в выбранной нами области. Для этого надо решить непростую, как говорят, «обратную» задачу. Задачами такого рода уже давно интересуются математики.

Акустическая томография океана, позволяющая контролировать процессы в толще океана, будет весьма удачно дополнять космическую систему наблюдения океана. Последняя использует средства — электромагнитные волны различных диапазонов, которые дают нужную информацию о поверхности океана, но не проникают в толщу вод.

3.3. Синоптические океанские вихри

Читатель, заглянувший в атласы океанов, найдет не один десяток течений, обозначенных на картах стрелками как реки в океанах. Однако сотрудник Института океанологии АН СССР профессор В. Б. Штокман еще в 30-х годах ставил вопрос о том, что течения могут оказаться совсем не похожими на реки в океане, они могут оказаться сильно изменчивыми. Он доказывал, что необходимо провести детальные измерения течений в океане современными методами. Были бы очень ценны долговременные измерения в одной и той же точке на разных глубинах. В 60-х годах он сам поставил ряд опытов ограниченного масштаба в Каспийском, Черном и Аравийском морях. Хотя эти опыты и показали, что течения могут быть сильно изменчивыми, каких-либо ясных закономерностей выявлено не

было. Для того чтобы получить решающий ответ на поставленные В. Б. Штокманом и другими учеными вопросы, было решено осуществить большой эксперимент в Северной Атлантике в 1970 г. В его подготовке В. Б. Штокман уже не мог участвовать, так как он безвременно скончался за несколько лет до этого. Большая заслуга в непосредственной подготовке экспедиции принадлежит профессору В. Г. Карту, однако сам он принять участие в экспедиции не смог.

Готовилась большая экспедиция, в которую должны были войти два тогда самых крупных исследовательских корабля Института океанологии — «Академик Курчатов» и «Дмитрий Менделеев», один корабль Гидрографической службы, исследовательский корабль Морского гидрофизического института АН УССР «Академик Вернадский», два корабля Акустического института — «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев». Автор настоящих строк был назначен научным руководителем всей экспедиции в целом. Три последних из упомянутых кораблей провели интересные сопутствующие исследования, но так как непосредственного отношения к открытию вихрей они не имели, то о них в дальнейшем речи не пойдет. Штаб экспедиции был расположен на «Дмитрии Менделееве», где начальником рейса был кандидат географических наук Л. М. Фомин.

Задолго до выхода кораблей в океан в Отделении океанологии, физики атмосферы и географии в Президиуме АН СССР регулярно, раз в неделю, собиралась планирующая группа для обсуждения деталей предполагаемых работ.

Во-первых, надо было выбрать место эксперимента. Все единодушно пришли к выводу, что измерения надо провести там, где течение считается наиболее стабильным. Глубина должна быть типичной для океана, а дно сравнительно ровное. Ветер тоже должен быть стабильным по своей силе и направлению, чтобы все эти факторы сами не возмущали течение. В результате выбор пал на район Северного Пассатного течения в Атлантическом океане. Выбрана была и точка, вокруг которой должны были группироваться измерения, — в восточной части Атлантического океана на широте примерно Дакара, на расстоянии более 1600 км от него ($16^{\circ}30'$ с.ш., $33^{\circ}30'$ з.д.). Здесь дуют постоянные ветры — пассаты, рельеф дна приблизительно ровный, глубина около 5 км. Инструмент для

изучения изменчивости течения был выбран в принципе тот же, что и использовавшийся в работах профессора В. Б. Штокмана. Это буйковая станция. Она состоит из длинного стального троса, на одном конце которого находится тяжелый груз — якорь, опускаемый на дно. К другому концу троса прикреплен плавающий на поверхности воды буй, имеющий достаточную плавучесть, чтобы выдержать тяжесть троса. На трос в определенных точках навешиваются автономные приборы — измерители течений — в то время это были так называемые буквопечатающие вертушки Алексева. На бумажной ленте этого прибора через определенные промежутки времени отпечатывались значения направления и скорости течения. Время от времени, когда «память» прибора заполнялась, станция поднималась и приборы перезаряжались новыми бумажными лентами.

Мы собирались посмотреть, как меняются течения не только во времени, но и в пространстве. Для этой цели было принято решение установить в океане 17 таких буйковых станций с размещением на каждой станции десяти измерителей течений на разных глубинах.

Очень важно было расположить станции на акватории океана таким образом, чтобы наиболее полным образом изучить все масштабы пространственных изменений течения. В результате долгих дискуссий мы приняли систему постановки станций, предложенную сотрудником Акустического института К. В. Конаевым. Система представляла собой своеобразный крест из четырех лучей. Лучи этого креста длиной в 100 км пересекались под прямым углом и направлены были по меридиану и по параллели. Центральная станция располагалась на пересечении лучей, остальные 16 (по 4 на каждом луче) были установлены с таким расчетом, чтобы расстояние между ними увеличивалось с удалением от центральной станции. Десять вертушек на каждой станции было решено установить на горизонтах с глубинами от 25 до 1500 м. Течение должно было замеряться на каждом горизонте через каждые полчаса. Вся эта система по существу должна была явиться огромной разветвленной трехмерной океанической антенной. Никто и никогда до этого такой антенны не создавал. Было решено ее функционирование поддерживать в течение полугода. Буйковые станции планировалось поднимать каждые 25 дней для перезарядки приборов.

«Дмитрий Менделеев» и «Академик Курчатов» прибыли в район «полигона» — так мы стали называть нашу зону исследований — в феврале 1970 г. и приступили к развертыванию системы. Система начала функционировать с конца февраля и работала до середины августа.

Хорошо помню наше волнение при подъеме первой станции после того, как она отработала свои 25 сут. Однако, просто глядя на длинные узкие ленты с записями, вынутыми из «вертушек», разобраться в чем-либо было невозможно. Построение различных графиков, фиксирующих изменение направления и скорости течения через каждые полчаса, тоже не дало сколько-нибудь ясной картины. Помогла электронно-вычислительная машина.

Появилось подозрение, что картину затуманивали короткопериодные изменения течений, такие, как приливные течения с периодами 12 и 24 ч и инерциальные течения, вызванные вращением Земли. Период изменения последних был тот же, что и период вращения плоскости маятника Фуко, если бы его поместить в данную точку Земли. Поэтому расшифровку данных проводили следующим образом. Данные с ленты переносили на перфоленту ЭВМ, а затем уже при помощи ЭВМ все данные усреднялись за скользящий интервал времени, равный 3,5 сут. Обработкой и анализом результатов измерений руководил М. Н. Кошляков.

После такого усреднения и выявилась поразительная картина. Прежде всего оказалось, что, когда начались измерения, течения в слое до 1500 м были направлены не на запад—юго-запад, как дует ветер и как положено быть направленному Северному Пассатному течению (именно так оно выглядит на всех картах), а на северо-восток, т. е. почти в прямо противоположном направлении. Примерно через две недели направление течения изменилось и стало северо-западным. Еще через три недели направление течения снова изменилось и т. д. Из этого следовало, что мы наблюдаем в океане какое-то фундаментально новое явление с временным масштабом в несколько недель или месяцев, о котором мы до того не подозревали. Однако больше ничего по данным одной станции сказать было нельзя. Более того, на других глубинах изменчивость течений была иная. Так, из рис. 3.9 видно, что течение на глубине 50 м, бывшее первоначально северо-восточным, изменилось 10 марта преимущественно на юж-

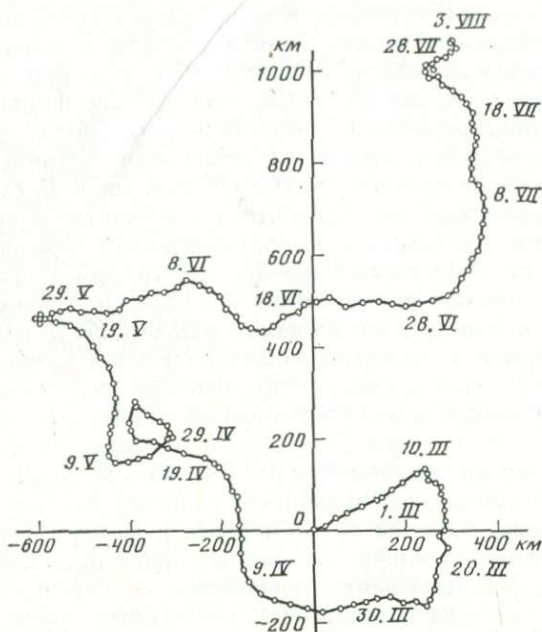


Рис. 3.9. Картина изменений течений на глубине 50 м во время эксперимента «Полигон-70»

Каждый отрезок между двумя соседними точками дает направление движения вод и расстояние, проходимое за сутки. Вертикальная и горизонтальная оси координат — расстояния по параллели и по меридиану соответственно

ное, а еще примерно через 2 недели на западное и т. д.

Анализ данных всех станций за все полугодие, проведенный М. Н. Кошляковым вместе с Ю. М. Грачевым, показал, что через зону «полигона» проплывали огромные вихри размером 100–150 км, причем скорость перемещения водных масс вокруг центра вихря составляла 10–20 см/с. Сами вихри сравнительно медленно перемещались (со скоростью примерно 4 см/с) в направлении, известном ранее как направление Северного Пассатного течения.

Вот так впервые в океанологической науке и были открыты океанские вихри, о чем было доложено в октябре месяце того же года на Международной океанографиче-

ской ассамблее в Токио. Естественно, наши результаты вызвали очень большой интерес всех океанологов.

Несколько лет спустя аналогичный эксперимент был поставлен американскими учеными. Он проходил в марте—июле 1973 г. в районе Саргассова моря. Как продолжительность этого эксперимента во времени, так и его масштабы в пространстве были несколько меньше, чем у нас. Американский эксперимент просто подтвердил наше открытие и дал мало что нового. Американцы стали называть эти вихри мезомасштабными, т. е. вихрями промежуточных масштабов. Действительно, их масштабы были промежуточными между масштабами известной до того океанской сравнительно мелкой турбулентности и масштабами таких планетарных течений, как, например, Гольфстрим. Как уже говорилось выше, в советской научной литературе более принято называть эти вихри «синоптическими».

Позднее возникла идея поставить совместный советско-американский эксперимент и пригласить ученых других стран участвовать в нем. Многое еще оставалось неясным. Действительно, было ясно, что вихри должны играть важную роль в динамике океанских течений, но было неясно, как возникают эти вихри, как они взаимодействуют друг с другом и со средним течением. Неясных вопросов было много. Большой совместный эксперимент был осуществлен в 1977—1978 гг. Он стал называться «ПОЛИМОДЕ». Название это произошло вот каким образом. Наш эксперимент 1970 г. назывался «Полигон-70», а более поздний американский — МОДЕ (Mid Ocean Dynamical Experiment). Так как новый совместный эксперимент должен был объединить тот и другой, то, соединив оба названия, мы и получили название нового эксперимента. Руководили экспериментом с советской стороны директор Института океанологии АН СССР член-корреспондент А. С. Мониц, а с американской — профессор А. Робинсон. Для оперативной связи между океанологами СССР и США была установлена телетайпная связь.

В рамках этого эксперимента советские ученые создали и поддерживали больше года систему из 19 буйковых станций.

Измерениями на буйковых станциях дело не ограничилось. Советские ученые, как и в эксперименте «Поли-

гон-70», осуществили густую сеть гидрологических съемок, по результатам которых картину течений можно было вычислить, используя уравнения гидродинамики. С советской стороны в этом эксперименте участие принимали до десяти кораблей разных ведомств, и прежде всего Академии наук СССР.

С американской стороны важным вкладом было использование дрейфующих акустических буйей нейтральной плавучести. Эти буи могли погружаться на заранее заданную глубину и плыть вместе с водными массами. Наблюдение за их траекториями производилось акустическими средствами (см. предыдущий раздел).

Анализ данных, полученных на советской системе буйковых станций и на американской системе дрейфующих буйей, еще раз убедительно доказал большую роль, которую играют обнаруженные нами вихри в жизни океана. Подтвердилось, что не менее 90% кинетической энергии океана заключено в вихрях.

После этих опытов вихри стали находить в самых разных местах. Хорошо выраженные вихри были обнаружены в Арктике и Антарктике. Они были найдены и в Тихом океане. Их стали находить даже в архивных записях (т. е. в результатах опытов, проведенных ранее) после соответствующей их обработки.

Наряду с этим ученые стали детально изучать и вихри другого рода. Дело в том, что такие мощные течения, как Гольфстрим, Куроисио и некоторые другие, изменяясь во времени, образуют так называемые меандры — сильные изгибы или даже петли. Время от времени такие меандры — петли — отщепляются от основного течения, и в результате получают вихри, которые начинают самостоятельное существование. Такие вихри называют вихрями пограничных течений, или рингами. Они хорошо детектируются при помощи космических средств по контрастам температуры поверхностных вод.

Вот так в результате совместной работы океанологов многих стран выявилась богатая картина вихревых течений в океане. Тем самым уже совершенно по-иному стала выглядеть динамика океана. Что касается практического значения открытия вихрей, то, я думаю, читатель вполне представляет себе, сколь это важно для всех аспектов освоения океана человеком.

Теперь давайте подведем итоги. Как же все-таки де-

лаются открытия? Случайность это или закономерный процесс? Правильным здесь будет сказать, что это бывает и случайность, но основную роль играет закономерное развитие науки.

Как вы, надеюсь, убедились, первое открытие — создание концепции литосферных плит — результат работы многих ученых, работавших на протяжении многих десятков лет. Каждый из них внес свою лепту в общий труд, делая свои, хоть и небольшие, открытия, пока все в конце концов не объединилось во всеобъемлющую, если так можно выразиться, концепцию, которая позволяет говорить о единой теории Земли.

Во втором открытии большую роль играл случай, и прежде всего то, что экспедицию не смогли подготовить для основной ее деятельности.

В третьем случае скорее выражена закономерность, чем случайность. Вначале В. Б. Штокман, а затем другие ученые настойчиво указывали на необходимость провести решающие эксперименты в области океанических течений, чтобы наконец исследовать как следует их изменчивость. Систематические усилия, заключавшиеся сначала в постановке опытов ограниченного масштаба, а потом уже и в большом эксперименте, дали совершенно новый результат, что и стало открытием.

Глава четвертая

ЧЕЛОВЕК ПОЗНАЕТ ОКЕАН

Наука всегда продвигается вперед рывками. Ее передний край в каких-то точках разрывается узкими стрелами блестящих открытий, подчас далеко опережающих общий фронт научных поисков...

...Подобная картина ныне наблюдается на стыке наук об океане и космосе.

Г. И. МАРЧУК

Познание океана началось с изучения его географии, чем, собственно говоря, и занимались многочисленные экспедиции, начиная с первых плаваний египтян и финикийцев — отважных мореплавателей, далеко раздвинувших для своих современников границы мира.

Большинство мореплавателей средних веков, да и нашего времени, к сожалению, занимались колонизацией вновь открытых земель — островов, архипелагов и даже материков (Австралия), что вело к беспощадному истреблению местного туземного населения. Но одновременно велись и географические работы. Во всяком случае, карта морей и океанов обрастала различными деталями, становилась все достовернее.

В России до Великой Октябрьской социалистической революции наиболее крупным мероприятием в этом направлении была организация Великой северной экспедиции (1733—1743 гг.). Целью ее было описание берегов Северного Ледовитого океана, поиск путей в Японию, а также выяснение вопроса, сошлась ли Азия с Америкой? Последний вопрос был решен вторым тихоокеанским отрядом экспедиции под командованием В. И. Беринга. Этот отряд обследовал северные и восточные берега залива Аляска, а также впервые нанес на карту целый ряд островов.

В 1803 г. на кораблях «Надежда» и «Нева» вышла первая русская кругосветная экспедиция, возглавляемая адмиралом русского флота, почетным членом Петербургской академии наук, мореплавателем и ученым И. Ф. Крузенштерном. Экспедиция ставила перед собой не только географические цели. Множество океанографических и метеорологических наблюдений было сделано в Атланти-

ческом, Тихом и Индийском океанах. Проводились и глубоководные исследования в океане.

Выдающееся значение для определения границ Мирового океана имело открытие Антарктиды экспедицией Ф. Беллинсгаузена и Н. Лазарева в 1819—1821 гг. До этого о существовании большого материка в районе Южного полюса можно было догадываться лишь по косвенным данным. Так, Дж. Кук в своих тихоокеанских экспедициях (1768—1771, 1772—1775 гг.) прошел Южным океаном вокруг южной полярной области умеренными широтами и показал, что в этих широтах материка отсутствуют. Однако он был твердо убежден, что материк в районе Южного полюса существует, так как только этим можно было объяснить наличие в умеренных широтах айсбергов, которые могли образоваться только в результате разрушения и сползания в океан материковых ледников. Экспедиция Беллинсгаузена и Лазарева на двух парусных шлюпах длилась 751 сут. Она, кроме Антарктиды, открыла еще 29 земель и островов.

Огромный вклад в географическое изучение Мирового океана внесли полярные исследователи, мужеством которых будут восхищаться еще многие поколения и после нас.

Первое сквозное плавание из Атлантического океана в Тихий северным путем совершил в 1903—1906 гг. Р. Амундсен на маленькой яхте «Йоа» за три навигации с тремя зимовками.

В 1909 г. американец Р. Пири впервые достиг Северного полюса на собачьих упряжках, показал, что в районе полюса не существует земли, как многие предполагали ранее, и смог измерить даже глубину океана в этом месте (2750 м).

Самое крупное территориальное открытие нашего века — это открытие гигантского архипелага Северная Земля русскими судами «Таймыр» и «Вайгач» (1913 г.).

Героическим был дрейф на льдине четверки советских ученых И. Папанина, П. Ширшова, Е. Федорова, Э. Кренделя в 1937 г. в Северном Ледовитом океане. Он дал ряд важных данных о глубинах океана, течениях, жизни в океане, геофизических полях, а также открыл эру для нового метода исследования ледовых областей — работа на дрейфующих льдинах. Этим методом широко с тех пор пользуются советские, американские и канадские полярные исследователи.

Началом эры океанологических исследований заслуженно считается кругосветная английская экспедиция на корабле «Челленджер» (1872—1876 гг.). Это скромный по современным понятиям парусный корабль водоизмещением около 2300 т со вспомогательным паровым двигателем. Одним из главных элементов его оборудования была паровая лебедка мощностью 18 л. с., с помощью которой и троса длиной 7300 м (диаметр 5—8 мм) брались водные пробы и производилось траление на глубинах для взятия биологических проб. Не говоря уже о результатах физической и геологической природы, укажем, что после этой экспедиции число известных видов живых организмов, обитающих в океане, сразу увеличилось в несколько раз. Наименование «Челленджер» (в русском переводе «Бросаящий вызов») позднее многократно повторялось в названиях кораблей науки.

Многие замечательные путешествия русских океанологов связаны с кораблем «Витязь». «Витязь», подобно английскому «Челленджеру», стал синонимом исследовательских кораблей-тружеников. На первом из «Витязей» плывал к берегам Новой Гвинеи знаменитый русский этнограф Миклухо-Маклай. Он не был, разумеется, океанологом, но оставил интересные описания берегов тропического моря, что свидетельствует о его любознательности и наблюдательности, свойственных настоящему ученому, который старается разобраться в сути различных явлений, находящихся, казалось бы, далеко от его интересов.

Вторым «Витязем» в русском флоте был знаменитый исследовательский корабль, на котором в 1886—1889 гг. совершил большое плавание адмирал Макаров, также сочетавший в себе талант мореплавателя и ученого. Напомним, что он был еще и конструктором-изобретателем, намного опередившим свое время.

Данные экспедиции адмирала Макарова серьезно обогатили науку о Мировом океане. Недаром на фронте Океанографического института в Монако — одном из крупнейших международных океанографических центров — среди самых известных океанологических судов всех времен и народов стоит имя «Витязя».

Все, конечно, знают, что не менее славным оказался и третий советский «Витязь», пожалуй, наиболее известный корабль советской науки. Но об этом мы еще поговорим.

Переместимся сейчас на 60 лет назад, в начало 20-х годов, когда советская океанология делала свои первые шаги, и поговорим подробнее об этих исследованиях.

По декрету, подписанному В. И. Лениным, для исследований Мирового океана был создан специальный институт Плавморнин (Плавучий морской научный институт).

В его распоряжение был предоставлен ледокол, названный позже «Малыгиным» в честь С. Г. Малыгина, известного полярного исследователя середины XVIII в., капитана-командора, составителя первой карты Северного Ледовитого океана и первого русского руководства по навигации.

Отправился «Малыгин» в свою первую научную экспедицию в конце лета 1921 г. Стоит отметить, что в числе участников экспедиции были наши замечательные океанологи, будущие академики С. А. Зернов и Л. А. Зенкевич. Начальником экспедиции стал И. И. Месяцев, имя которого связано со всеми дальнейшими работами научных морских экспедиций молодой Советской страны. Экспедиция на «Малыгине» не была особенно успешной. Но результатом неудачи была все-таки удача, так как выяснилось, что для научной работы нужен специально оборудованный корабль, выполняющий только научные задачи. «Малыгин» же одновременно должен был выполнять функции ледокола — проводить караван судов через Карское море. Это «совместительство» оказалось неудачным.

После этого И. И. Месяцев добился передачи в распоряжение Морского научного института небольшого судна «Персей». Корабль был недостроен, не оборудован. Не хватало самого необходимого. Остается удивляться и восхищаться энтузиазму и необычайной работоспособности группы океанологов, объединившихся вокруг И. И. Месяцева.

И вот 1 февраля 1923 г. — этот день и знаменует собой рождение советского научного океанологического флота — «Персей» вышел в свое первое плавание.

Это была деревянная двухмачтовая шхуна водоизмещением 550 т. Длина палубы составляла всего лишь 41,5 м. Экипаж состоял из 24 человек. Кроме того, на судне было 16 научных участников экспедиции, работавших в семи лабораториях, расположенных в палубных надстройках. Приборы в основном были изготовлены самими участниками экспедиции.

Художник В. М. Голицын изготовил флаг «Персея» — вымпел, на котором издали были видны синие буквы МНИ (Морской научный институт). А известный советский географ и популяризатор науки академик С. В. Обручев написал гимн, который потом долгие годы пели на «Персее». Поскольку первые рейсы корабля были посвящены исследованию Севера, это отразилось и на словах гимна:

...Со всех сторон стеснились льдины,
Грозят «Персея» раздавить...
Дрожит весь корпус — миг единый,
Еще удар — и путь открыт.

Нам с кромки льда тюлень лукавый
Кивает круглой головой...
Скорее, штурман, мимо, мимо,
На север путь мы держим свой.

И вымпел гордый пусть «Персея» —
Рой звезд и неба синева —
Над всем полярным морем реет
Сегодня, завтра и всегда...

Пожелание это исполнилось. Более 80 рейсов совершил «Персей» в северных морях. На нем сделали свои первые шаги многие видные советские океанологи: академик В. В. Шулейкин — специалист по физике моря, академик Л. А. Зенкевич и член-корреспондент АН СССР В. Г. Богоров — видные гидробиологи, многие годы занимавшиеся изучением биопродуктивности океана, и другие.

За 19 лет работы, закончившейся героически в июле 1941 г., первый корабль науки прошел путь, в 5 раз превышающий длину земного экватора.

Особенно важный материал собрали исследователи относительно северных морей нашей страны. Так, именно эти данные позволили судить достаточно точно о тепловом режиме весьма капризного Нордкапского течения и установить его связь с общей циркуляцией холодного Баренцева моря и атмосферы над ним. В результате работ «Персея» появились первые подробные карты рельефа дна Баренцева моря.

Работа была нелегкой. Штормило, ломалось оборудование, были и приключения иного рода.

Ученые исследовали морские течения, обладающие большой скоростью и громадными объемами переносимых вод. Так, Нордкапское течение, которое бороздил «Пер-

сей», довольно слабое по сравнению с другими течениями Мирового океана, тем не менее вносит в Баренцево море лишь в 2 раза меньше воды, чем сток всех рек земного шара. Вот что такое морское течение.

10 июля 1941 г. «Персей» направился к Рыбачьему полуострову, чтобы взять оттуда раненых бойцов. Четырнадцать воздушных фашистских пиратов набросились на беззащитное судно. И «Персей» погиб.

В настоящее время на другом «Персее» ученые Института морской геологии и геофизики Дальневосточного научного центра Академии наук СССР исследуют строение дна западной части Тихого океана и прилегающих к нему морей.

Весной 1946 г. вышел в свой первый экспериментальный поход третий «Витязь» русской океанологии, достойный наследник первых двух «Витязей» и славного «Персея». Он носил звание флагмана советского научно-исследовательского флота 18 лет, пока в 1964 г. не уступил первенство кораблю «Академик Курчатов». А в 1979 г. «Витязь» совершил свой последний, 65-й рейс, прослужив ученым верой и правдой 33 года. Начальником первого рейса «Витязя» был С. В. Бруевич. Это был испытательный рейс. Затем последовали научные рейсы. Начальником первого из них был академик Л. А. Зенкевич.

Новое научное судно в отличие от «Персея», все-таки сохранявшего многие черты своего первоначального предназначения деревянной зверобойной шхуны, было хорошо оборудовано для научной работы океанологов. По сути дела, это был самый настоящий научный институт на воде, где в 16 лабораториях работало более 60 сотрудников. Экипаж составлял 70—75 человек.

На этом поистине легендарном корабле набирались опыта и учились работать почти все советские океанологи.

С результатами их работы, с открытиями, которые прославили «Витязя», я сейчас и познакомлю читателя.

Надо сказать, что сначала экспедиции «Витязя», как это было в то время принято, носили комплексный характер, когда в каждом рейсе проводились самые различные исследования, общим для которых был лишь район наблюдений. Фактически мы изучали саму природу морей и океанов, причем получали интереснейшие результаты, во многом изменившие наши представления о целом ряде регионов океана, особенно дальневосточных морей.

В списке научных достижений, связанных с именем «Витязя», — исследование жизни на максимальных глубинах Мирового океана. Само изучение глубин дало массу интересных материалов. Особенно подробно были изучены океанические желоба. Именно на «Витязе» была открыта самая глубокая точка океана в Марианской впадине, был нанесен на карту Курило-Камчатский желоб, простирающийся на целых 2000 км от Японии до Алеутских островов. Были обследованы и открыты многочисленные подводные хребты. По сути дела, открыты целые подводные страны с горами, долинами и глубокими пропастями-впадинами. В послужной список «Витязя» входит и открытие подповерхностного экваториального противотечения в Индийском океане, названного именем Б. Тареева, молодого советского ученого, преждевременно скончавшегося во Владивостоке перед выходом в очередной экспедиционный рейс.

Постепенно программы исследований становились все более целенаправленными, тематическими.

Некоторые рейсы были геологическими. Руководителем многих из них был известный советский морской геолог член-корреспондент АН СССР П. Л. Безруков. Так, в 48-м рейсе (1970 г.) изучались Южная и Центральная котловины Тихого океана. Были обнаружены и исследованы достаточно мощные залежи железомарганцевых конкреций, новые их разновидности. Оказалось, например, что в некоторых районах на каждый квадратный метр дна океана приходится до 75 кг конкреций.

Были изучены осадки в подводных желобах до глубин, превышающих 9 км. В этом же рейсе были проведены одни из первых исследований так называемых гидротермальных руд (теперь их чаще называют сульфидными рудами), образующихся в местах рождения нового морского дна.

Особое внимание океанологов было приковано к Индийскому океану. Расположенный там (Восточно-Индийский подводный хребет) многие морские геологи считают одной из интереснейших и загадочных структур всего дна Мирового океана. 54-й рейс «Витязя», посвященный в основном этому району Мирового океана, дал интересные результаты.

Самым кропотливым образом обследовали геологи район предгорий Восточно-Индийского хребта, где дно

образует чрезвычайно сложный профиль. Надо сказать, что исследования не только подтвердили это обстоятельство, но и были открыты новые ранее неизвестные формы рельефа, в том числе 22 горы, множество разной формы подводных гряд, холмов и изломов поверхности дна.

Наблюдения были продолжены участниками геологической экспедиции, состоявшейся в 58-м рейсе «Витязя» в 1975—1976 гг.

Много экспедиций на «Витязе» было посвящено биологии. Хочется подробно остановиться на 39-м рейсе «Витязя». Дело в том, что это был первый чисто биологический рейс, так сказать, первая ласточка специализированных биологических исследований океана в наше время. Экспедицию возглавил крупнейший советский гидробиолог академик Л. А. Зенкевич. В качестве района наблюдений была выбрана Курило-Камчатская впадина. Тому был ряд причин, чисто научных и практических.

Начну с практической. В то время — середина 60-х годов — промысловая разведка рыбы столкнулась с интересным и непонятым явлением. Оказалось, что большие скопления рыбы обнаруживаются далеко за пределами материкового шельфа на материковом склоне, или, как говорят океанологи, на батiali, причем на глубинах до 1500 м. Важно было определить, что же привлекает сюда рыб, почему они там скапливаются.

Научных вопросов было много, касались они всех представителей фауны и флоры океана. Ученые хотели охватить весь круг биологических явлений в регионе, все вопросы трансформации органического вещества, все процессы, относящиеся к биологии. Исходя из этой задачи, 34 биолога экспедиции были разделены на 6 отрядов. Это были микробиологи, ихтиологи, биохимики, ученые, изучающие первичную продукцию, специалисты по планктону и биологи, исследующие донную фауну.

Район Курильских островов, разумеется, был выбран не случайно, так как несколько экспедиций «Витязя» проводили в этих краях различного рода океанографические работы.

О том, как проходила работа, о трудностях и энтузиазме научных работников и всей команды рассказывает руководитель экспедиции Л. А. Зенкевич: «В 39-м рейсе для научного персонала и экипажа создались очень трудные условия работы, тем более что за два с лишним меся-

ца пребывания в плавании заход в порт занял всего два дня.

Сильно мешали работам также и сплошные туманы, господствовавшие в это время года в районе Курил: неделями „Витязь“ вел исследования в сплошном „молоке“ при влажности воздуха 98—99%, не видя ни солнца, ни горизонта. Несмотря на все это, исследования проводились с огромным увлечением круглые сутки: на палубе кипела работа, грохотали лебедки, опускались за борт приборы, не потухал свет в лабораториях. Корабль оправдал свою славу плавучей морской лаборатории: он заполнял белые пятна, открывал новые факты, находил им объяснения, вскрывал своими приборами „тайны моря“. Так проходила работа! Ошеломляющих открытий не состоялось. Однако было получено много интереснейших и важнейших результатов, которые в дальнейшем использовались как основа для исследований другими группами ученых. Подобных экспедиций много в реестре советских океанологов. Поистине периодом великих океанологических открытий можно назвать вторую половину XX в.

Оснащение глубоководными эхолотами многочисленных исследовательских кораблей в разных странах мира позволило к началу 50-х годов выявить основные особенности рельефа дна океана. Обнаружилось, что в каждом из океанов — Северном Ледовитом, Атлантическом, Индийском и Тихом — имеются вдали от берегов мощные поднятия, простирающиеся на несколько сотен километров в ширину и на многие тысячи километров в длину. Их называли срединно-океаническими хребтами. В 1955 г. советский ученый О. К. Леонтьев пришел к выводу, что срединно-океанические хребты образуют единую систему. В 1956 г. этот вывод уточнили и расширили американские ученые Дж. Юинг и Б. Хизен. Позднее существование глобальной системы подводных океанических хребтов было объяснено на основе возникшей и быстро развивающейся концепции тектоники литосферных плит, о которой я подробно говорил в предыдущей главе. Зоны этих хребтов оказались областями, где образуется новое океаническое дно.

Многочисленные океанские экспедиции ученых разных стран позволили детально изучить и более тонкую структуру срединно-океанических хребтов. По осевым линиям хребтов тянутся сравнительно узкие впадины — так назы-

ваемые рифтовые долины. В поперечном по отношению к оси хребта направлении простираются частые, еще более узкие и менее глубокие впадины — трансформные разломы. В процессе движения литосферных плит земная кора раздвигается в районе осевой линии хребта и смещается вдоль трансформных разломов. На линии каждого такого разлома образуется своеобразный сдвиг участков коры на его противоположных берегах.

Начавшаяся в 1968 г. Международная программа глубоководного бурения морского дна с использованием американского корабля «Гломар Челленджер», в которой участвовала 21 страна, в том числе и Советский Союз, позволила существенно расширить наши знания о строении дна океана и его осадочных породах. Как уже было сказано, результаты этих работ были решающими доказательствами концепции тектоники литосферных плит. Кроме того, исследуя микроокаменелости в буровых колонках, ученым удалось расширить и уточнить наши представления о жизни в океане и о циркуляции вод океана в далеком прошлом.

Не менее впечатляющими были открытия, касающиеся движения глубинных вод в океане. В 50-х годах американские ученые под руководством Т. Кромвелла обнаружили и исследовали в экваториальной области Тихого океана так называемое Подповерхностное экваториальное противотечение. На поверхности в районе экватора воды движутся на запад (в Южном Пассатном течении), а под поверхностью существует нечто вроде широкой реки, которая течет в обратном направлении. Затем советские ученые, работавшие на исследовательском судне «Михаил Ломоносов», в 1959 г. открыли аналогичное течение в Атлантическом океане. Оно было названо течением Ломоносова. Наконец, в 1959—1960 гг., как уже говорилось, советские ученые на «Витязе» открыли аналогичное течение Тареева в Индийском океане. У этой глобальной системы подповерхностных противотечений вдоль экватора имеются общие характеристики: глубина течений 100—400 м, ширина — несколько сотен километров, скорость течения порядка 1 м/с. В дальнейшем обнаружилось, что течения не остаются спокойными или постоянными. Вдоль них распространяются волны длиной порядка 1000 км. Таким образом, течение иногда извивается, как веревочка, если дернуть за ее концы.

О том, как мы обнаружили синоптические вихри в океане во время советской экспедиции «Полигон-70», уже говорилось. Основные работы в этой экспедиции были выполнены двумя также очень заслуженными исследовательскими кораблями Академии наук СССР — «Академик Курчатов» и «Дмитрий Менделеев».

В течение 60-х годов был открыт ещё один важный элемент в строении океанических вод — тонкая вертикальная структура полей температуры, солёности и плотности. Удалось это сделать благодаря появлению малоинерционных зондов. Эти приборы умеют отличить по глубине структурные элементы в пределах десятков сантиметров и фиксировать их изменения во времени за доли секунды. Существенный вклад в изучение тонкослойной структуры океана внесли советские ученые А. С. Мониин, К. Н. Федоров, В. П. Швецов, которые обнаружили, что глубинные течения в открытом океане также имеют слоистую структуру. Течение остается постоянным в пределах некоторого слоя толщиной 10 см — 10 м, а потом меняется почти скачком при переходе к соседнему слою и т. д. Так что океан является слоистым пирогом не только в отношении его плотностного строения. Аналогично построены и его горизонтальные течения.

В 50—70-е годы существенно пополнились наши знания в области биологии океана. В настоящее время известно около 200 тысяч различных видов морских организмов, и почти каждая биологическая экспедиция открывает новые виды. Однако все они укладываются в сравнительно небольшое число типов морских животных. (Напомню, что на всей нашей планете, включая сушу и море, имеется только 23 разных типа.) Казалось бы, уже невозможно открыть что-нибудь новое. И вот сенсация. В 1914 г. крупнейший французский зоолог М. Коллери сообщил о некоем загадочном существе, найденном в сборах голландской глубоководной экспедиции на судне «Зибога», работавшей в конце прошлого столетия в морях Малайского архипелага. Никто тогда не обратил внимания на это сообщение. Между тем оказалось, что ученые обнаружили новый, доселе неизвестный тип морских животных — погонофоры. Это странное существо — нитевидное животное, живущее в длиннейшей защитной трубочке, — подробно изучил советский ученый А. В. Иванов в период 1949—1969 гг. в ряде экспедиций «Витязя». На «Витязе» впервые погоно-

форы были обнаружены в северо-западной части Охотского моря, а затем в тропических частях Тихого, Индийского океанов. Позднее они были найдены и в Атлантическом океане.

Существенным было также изучение жизни на максимальных глубинах океана, где решающий вклад внесли работы советских ученых в 39-м рейсе «Витязя» (1966 г.) и в других рейсах этого славного корабля.

И, конечно, совершенно поразительными можно считать результаты экспедиций, которые обнаружили живые существа в районе гидротерм, там, где образуется новая земная кора под океаном (впервые подобные наблюдения сделаны в районе к юго-западу от Галапагосских островов).

Некоторые думают, что океан уже хорошо изучен и время великих океанологических открытий подошло к концу. Думающие так уподобляются Плинию Старшему (23—79 гг. н. э.), который, перечислив 179 морских животных, заключил, что жизнь в океане хорошо изучена.

Многого ученые ожидают от применения акустических методов при исследовании океана. Звуковые волны всепроникающи. С их помощью можно изучать как строение водных масс в океане, так и структуру дна. Первые советские исследовательские корабли, хорошо оснащенные акустической техникой, «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев» вышли в океан в конце 1960 г. Много интересного было получено с тех пор, но возможности акустики океана еще далеко не исчерпаны.

Таким образом, очень многое еще впереди, и для тех, кто собирается посвятить свою жизнь изучению океана, будь то химики, физики, климатологи или биологи, открывается широчайшее поле деятельности!

Глава пятая

КАК ИССЛЕДУЮТ ОКЕАН

Настоящие ученые никогда не рассматривают процесс познания как задачу, имеющую конечное решение. Познание вечно, непрерывно и бесконечно, как бесконечна природа.

Д. И. ЩЕРБАКОВ

Мы уже говорили о методах, применяемых в науке для изучения океана, а также о соответствующих приборах и оборудовании. Пришла пора рассмотреть эти вопросы более подробно.

Естественно, океан изучают сейчас с помощью самых разнообразных средств — с кораблей, с самолетов, из космоса. Применяют также автономные средства.

Я начну с кораблей. СССР и США имеют наиболее мощные исследовательские океанские флоты. Скажем, в распоряжении Академии наук СССР имеется около двух десятков исследовательских судов неограниченного района плавания, которые могут работать в любом районе Мирового океана. Их основная задача — исследование фундаментальных процессов, протекающих в толще океана, в земной коре под океаном, жизни в океане во всех ее видах, различных форм взаимодействия атмосферы и океана.

Большим числом исследовательских судов обладает Государственный комитет по гидрометеорологии и охране природной окружающей среды. Эти плавучие лаборатории проводят систематическое исследование океана и атмосферы над ним для выявления факторов, определяющих климат и погоду нашей планеты, и в особенности на территории нашей страны.

Богаче всех исследовательский флот рыбной промышленности, призванный самым детальным образом изучать биологическую продуктивность различных районов океана и прилегающих к нему морей с целью создания рыбопромысловых прогнозов. Большую роль в освоении океана играет и деятельность гидрографических кораблей Военно-морского флота. Они ведут, в частности, кропотливую работу по изучению рельефа дна океана и составлению морских карт, необходимых для судоходства.

В первое десятилетие после второй мировой войны под исследовательские суда переоборудовались корабли, первоначально имевшие другое назначение. Так, первый крупный корабль исследовательского флота Академии наук СССР после войны — легендарный «Витязь» — первоначально был банановозом. Два других исследовательских судна, также внесших большой вклад в исследования океана, — «Дмитрий Менделеев» и «Академик Курчатов» — первоначально строились как пассажирские корабли. «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев», построенные в Финляндии как торговые корабли, были затем кардинально переоборудованы для целей развития акустических методов исследования океана. При этом стоимость всякого рода переделок и дополнительного приборного оборудования была примерно та же, что и стоимость строительства. Но здесь ничего не поделаешь, акустические методы требуют использования самой современной техники.

В последнее время исследовательские корабли строятся по специальным проектам. Весьма совершенным кораблем является «Академик Мстислав Келдыш», построенный на финской верфи «Холминг». Другой современный корабль, входящий в исследовательский флот Академии наук СССР, — новый «Витязь». Его отличительная особенность — крупный водолазный комплекс с водолазным колоколом, барокамерой, которые позволяют проводить водолазные работы на глубинах до 200 м.

Преимущества кораблей, специально построенных как экспедиционные, очевидны. Их архитектура подчинена единой цели — сделать наиболее эффективным использование средств, опускаемых на глубину, а также применяемых при исследовании приповерхностного слоя атмосферы. На кораблях широко представлена современная вычислительная техника, предназначенная для планирования экспериментов и оперативной обработки полученных результатов.

Каковы же аппаратура и приборное оборудование современных океанологических кораблей?

Прежде всего это зонды разного назначения. Например, зонд температуры, солености, глубины представляет собой совокупность трех миниатюрных датчиков, измеряющих температуру (термистор), соленость (датчик электропроводности, исходя из которой рассчитывается содержание солей в воде) и гидростатическое давление (для определения глубины). Все три датчика объединены в единый

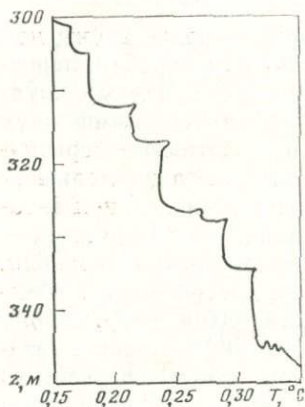


Рис. 5.1. Зависимость температуры воды от глубины в Арктическом районе, полученная при применении чувствительного зонда

Видна ступенчатая структура этой зависимости, характеризующая тонкую слоистую структуру воды

прибор, укрепленный на конце кабель-троса. При опускании прибора кабель-трос сматывается с лебедки, установленной на палубе корабля. Данные о температуре, солености и глубине передаются на электронно-счетную машину, которая тут

же строит конечный график зависимости температуры (рис. 5.1) и солености от глубины. Естественно, существуют аналогичные зонды, предназначенные для регистрации других величин, в частности концентрации различных газов, растворенных в воде, — биологи и химики прежде всего интересуются количеством растворенного кислорода. Часто используются датчики скорости звука. Целый класс приборов предназначен для определения зависимости скорости течений от глубины, включая мелкие ее вариации. Иногда такие зонды работают по принципу свободного падения. Достигая дна, они потом самопроизвольно всплывают, принося исследователю автоматические записи скорости течений как функции глубины. В ряде случаев свободнопадающие зонды скользят по тросу, предварительно выброшенному с корабля и занимающему вертикальное положение благодаря тяжелому якорю на конце.

Широко применяются так называемые теряемые (одно-разового использования) зонды. Среди них наиболее известен зонд температуры и глубины — небольшой прибор, который выстреливается с борта корабля, затем тонет, передавая по тонкой проволоке данные о температуре в зависимости от глубины. При достижении прибором максимальной глубины (в настоящее время порядка 700 м) проволочка обрывается и он тонет. Так как прибор простой и недорогой, то полученные данные стоят потерянной аппаратуры. Аналогичные приборы используются для определения характеристик воды с самолета. Прибор свя-

зан проводочкой с небольшим бумом. Тот и другой выбрасывают с самолета одновременно. Данные с прибора передаются на буй, который остается плавать на поверхности, и оттуда по радио на самолет. Нет принципиальных трудностей усовершенствовать прибор так, чтобы он одновременно с температурой регистрировал и содержание солей (по электропроводности).

В результате развития техники зондирования глубин океана более старые методы с опусканием и подъемом термометров, забором проб воды с разных глубин и последующим их химическим анализом употребляются все реже и реже. Это естественно, поскольку таким способом за довольно большой промежуток времени удастся определить температуру и соленость только на небольшом количестве глубин. Важно также и то, что непрерывной кривой со всеми ее особенностями, отражающими зависимость характеристик морской воды от глубины, при таком методе получить не удастся. Даже планктонные сети, при помощи которых биологи забирали пробы планктона с разных глубин, постепенно начинают заменять приборами типа зондов, опускаемыми на кабель-тросах. Эти приборы автоматически считают количество мельчайших живых организмов в данном объеме воды и передают эти данные сразу на борт корабля в вычислительную машину.

Одна из разновидностей зонда — «рыба» — представляет собой буксируемый за кораблем измеритель температуры, солености и иногда флуктуаций скорости течений (для изучения турбулентности). При этом «рыба» одновременно с горизонтальным перемещением опускается на глубину от нескольких метров до нескольких сотен метров по определенной программе. В результате на ходу корабля многократно прощупывается толща океана в пределах этих глубин. Иногда «рыба» заменяется цепочкой чувствительных температурных датчиков (термисторов). Тогда по ходу судна происходит непрерывная запись температуры на определенном числе горизонтов (глубин). Электронно-счетная машина, куда в реальном времени поступают результаты измерений со всех термисторов, выдает по ходу корабля температурные глубинные профили или положение изотерм (поверхностей постоянных температур).

Двумя последними способами — «рыба» и буксируемая цепочка термисторов — обычно изучают внутренние волны в океане. Для этого корабль выполняет так называемые

мую звездочку, т. е. набор буксировок этих приборов в разных направлениях, но в одном и том же районе; каждая буксировка протяженностью 20—30 км. Таким образом определяют среднестатистические характеристики внутренних волн за время порядка 15—20 ч (время выполнения «звездочки»).

Однако советские ученые выяснили (здесь прежде всего необходимо отметить труды Н. Д. Сабинина), что такой метод хотя и дает некоторые ценные результаты, но не позволяет выявить очень важные особенности отдельных волн. Ими была разработана и многократно использовалась в экспедициях принципиально другая методика. С лежащего в дрейфе корабля на различные расстояния от него выпускался ряд температурных датчиков, образующих своеобразную океанологическую антенну для приема и анализа внутренних волн (как в эксперименте «Полигон-70», но в меньшем масштабе). Каждый датчик также является необычным, хотя и очень простым, — кусок изолированного медного провода длиной 20—50 м. Сопротивление этого провода изменяется с изменением температуры. При распространении внутренней волны прежде всего отмечаются колебания слоя температурного «скачка» (сезонного термоклина), что и регистрируется этими датчиками. Важно, что протяженность такого рода датчиков (их даже и называют «распределенные») позволяет избавиться от случайных флуктуаций температуры, часто маскирующих основной эффект. С помощью описанного метода удается определить, кроме амплитуды внутренней волны, направление ее распространения, а также ее фазовую и групповую скорости. Использование не одного, а нескольких «распределенных датчиков», образующих вертикальную цепочку, позволяет определить и «модальный» состав волны, т. е. сказать, из каких элементарных волн — «мод» — она состоит, имея в виду, что каждая «мода» имеет свою вертикальную структуру.

Важным классом приборов для океанологов являются измерители течений, способные работать на максимальных глубинах. До недавнего времени все они, как правило, были снабжены «вертушками» — пропеллерами, числом оборотов за единицу времени которых и определялась скорость течения. В последнее время при наличии общей тенденции освобождаться от движущихся механических частей (для повышения надежности) стали входить в

практику электромагнитные и акустические измерители течений. В первых из них скорость течения определяется по разности потенциалов, наведенной при движении между электродами морской воды, являющейся проводником электрического тока. Во вторых используется эффект Доплера — изменение частоты звуковой волны при распространении ее в движущейся среде.

Для исследования дна океана до сих пор широко применяются два традиционных прибора — черпак и геологическая трубка. Черпаком берется проба грунта с верхнего слоя дна. Работа прибора достаточно тривиальна. Черпак, укрепленный на конце троса, свободно падает, достигает дна, захватывает пробу, а потом на тросе поднимается наверх. Таким же образом опускается на тросе на дно и геологическая трубка. Внутри нее имеется специальная полость, куда проникает проба грунта, когда трубка вонзается в грунт. Длина так называемой колонки (длина пробы грунта) зависит от твердости грунта и составляет обычно несколько метров. В мягкий грунт трубка углубляется сильнее, в твердый — меньше. Усовершенствованные трубки, в которых используется для внедрения сила гидростатического давления, могут проникать значительно глубже — до 16–20 м.

Однако в настоящее время на помощь геологам, изучающим рельеф дна и его внутреннюю структуру, приходят все более и более совершенные акустические приборы. Самый обычный эхолот, при помощи которого получены все карты морского дна, усовершенствуется, его луч делают все уже и уже. В результате повышается разрешающая способность прибора по горизонтали: так как узким пучком озвучивается только небольшая часть площади дна, в результате можно определить более тонкие детали рельефа дна.

Создаются новые приборы — многолучевые эхолоты. В таких эхолотах излучается не один звуковой пучок, направленный вертикально вниз, а целый веер в плоскости, перпендикулярной оси судна. Таким образом удается определять изменение глубины моря не только по линии, лежащей под кораблем, но и сбоку. В результате увеличивается производительность корабля, изучающего рельеф дна, а данные становятся более достоверными.

Начинает широко применяться также гидролокатор «бокового» обзора, в котором измерение в той же плоско-

сти происходит не дискретными лучами, а непрерывно по всем углам. Этот прибор прекрасно себя зарекомендовал при поиске затонувших предметов и кораблей и даже при разведке железомарганцевых конкреций, о чем речь у нас еще впереди.

Наконец, для исследования внутренней структуры морского дна до глубин в несколько километров применяются сейсмопрофилографы.

На такие глубины могут проникать только звуковые волны достаточно низких частот. Поэтому в сейсмопрофилографе в качестве источника звука обычно применяют пневмопушку, погружаемую на глубины в несколько десятков метров. Принцип ее устройства достаточно прост — периодически (скажем, раз в 10 с) из нее под давлением выбрасывается некоторый объем воздуха, который, расширяясь в воде, излучает звуковой импульс. Превалирующие частоты в этом импульсе 20—40 Гц. Звуковой сигнал достигает дна, проникает в грунт на несколько километров, отражаясь по ходу дела от различных слоев, и возвращается обратно. Отраженный сигнал (эхо), в структуре которого «записано» внутреннее строение дна, регистрируется с помощью гидрофонов, буксируемых за кораблем и объединенных в так называемые косы. В результате получается впечатляющая картина разреза дна.

Конечно, как раньше, так и теперь используются и обычные сейсмические методы исследования структуры дна, когда источником звука служит более или менее мощный взрыв. Взрывные волны проникают на весьма большие глубины, и таким образом может быть исследована структура дна на больших глубинах.

Набор автономных средств для исследования океана столь же, если не более, широк, как и набор устройств, используемых с корабля. Пожалуй, наиболее распространенным из них является буйковая станция. Она представляет собой плавающий на поверхности воды буй, от которого вниз к дну идет стальной или синтетический трос, оканчивающийся лежащим на дне тяжелым якорем. На тросе на определенных глубинах закрепляются автономно работающие приборы — измерители температуры, солености, скорости течения. Данные, получаемые приборами, хранятся в памяти приборов (обычно магнитная лента). Если прибор фиксирует данные через каждые 15—20 мин, памяти хватает на несколько месяцев (иногда

до года). После истечения срока буйковую станцию поднимают на борт корабля, экспериментаторы заменяют магнитную ленту, и станция может быть вновь использована для работы. С помощью набора таких станций (правда, с более элементарной памятью на бумажной ленте) мы работали в эксперименте «Полигон-70». Аналогичной аппаратурой с более усовершенствованными измерителями течений пользовались исследователи в советско-американском эксперименте ПОЛИМОДЕ.

Пока использование систем автономных буйковых станций является единственным методом, позволяющим получить за длительные отрезки времени непрерывные картины изменения скорости течений, температуры, солености на любых глубинах в пределах акваторий океана площадью в десятки тысяч квадратных километров. Однако надо отметить, что способ не лишен и некоторых недостатков. Во-первых, велика трудоемкость. Для непрерывного поддержания системы станций, смены их требуется дежурство одного или нескольких кораблей на полигоне. Кроме того, нередки и потери, когда приборы буйковой станции пропадают в толще вод. (В эксперименте «Полигон-70» они составляли 10–15%.) Происходит это чаще всего за счет коррозии, которая подтачивает прочность стального троса. В результате обрыв — и приборы оказываются на дне океана.

Надо также отметить, что буй, плавающий на поверхности, также подвержен действию океанических волн, и поэтому на трос, соединяющий его с якорем, иногда действуют большие динамические нагрузки, что также может повести к разрыву троса и потере станции. Для предотвращения этого в ряде случаев буй заглубляют так, что он плавает на небольшой глубине в несколько десятков метров, т. е. вне пределов действия волн. Это дает также гарантию от повреждения буев проходящими кораблями. Другое полезное усовершенствование буйковых станций заключается в том, что якорь — обычно тяжелая чугунная чушка — присоединяют к тросу через акустический размыкатель. Когда нужно поднять станцию, то по акустическому сигналу с корабля якорь и трос размыкаются, в результате не нужно втаскивать на корабль тяжелый якорь с риском обрыва троса. Якорь при этом навсегда остается на дне океана.

Другим автономным средством, хорошо проявившим себя в эксперименте ПОЛИМОДЕ, являются акустические буи нейтральной плавучести. Такой буй опускается на определенную глубину и перемещается вместе с водными массами. На бую имеется простой излучатель звука типа органной трубы, излучающий, скажем, каждые 5 мин звуковой сигнал частотой примерно 200 Гц. Если буй плывет на глубине, близкой к оси подводного звукового канала, звук такой частоты может распространяться на очень большие дистанции — несколько тысяч километров. Звуковой импульс регистрируется на нескольких (не менее трех) приемных акустических станциях, расположенных на островах, на побережье или в открытом океане. По разнице времен пробега звукового импульса до различных станций можно более или менее точно определить (точность несколько километров) местоположение буя в каждый данный момент времени. Таким образом, прослеживая дрейф буя, экспериментаторы получают интересные данные о перемещении водных масс. Опыт, проведенный с такими буями в процессе эксперимента ПОЛИМОДЕ, показал, что буи, выпущенные в одном и том же месте на глубинах, отличающихся между собой всего на несколько десятков метров, могут потом дрейфовать по совершенно разным траекториям — лишнее доказательство того, что движение океанских вод — весьма причудливое явление.

Применяются буи и другого рода, обладающие подводным парусом. Эта немудреная конструкция представляет собой поверхностный буй, к которому прикреплен подводный парус, расположенный на глубинах обычно не более 100 м. Буй плывет по велению паруса, в свою очередь подчиняющегося подводным течениям. Дрейф таких буев обычно наблюдают с искусственного спутника Земли, причем одновременно в разных точках определенной акватории выбрасывается целая серия таких буев. В результате удается определить почти полную картину течений в области океана, куда были выброшены буи, правда, на сравнительно небольших глубинах.

В других случаях, наоборот, плавающий на поверхности буй делают большим, несущим в воде на разных глубинах и на мачте в воздухе большое количество различных датчиков. Кроме того, на нем же размещают энергетическую установку и аппаратуру для передачи данных измерений в береговую лабораторию или на искусствен-

ный спутник Земли. К таким станциям относится, например, буй «Монстр», созданный в 60-е годы американскими учеными. Это большая плавучая станция водоизмещением 100 т. На платформе размещается невысокая мачта для получения метеорологических данных, а на тросе, соединяющем буй с якорем, расположены датчики, измеряющие состояние морской воды и океанских течений. Всего приборы регистрируют 10 параметров, касающихся состояния атмосферы, и около 100 параметров, относящихся непосредственно к океану: температура, соленость, гидростатическое давление, вектор скорости течения и т. д. Добавим, что все это относится ко многим горизонтам.

Одно время в Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО разрабатывались планы создания обширной международной системы наблюдений, состоящей как минимум из нескольких сотен таких буев. Тогда можно было бы получать непрерывные данные о состоянии океана в различных его районах. Однако стоимость системы оказалась чрезвычайно высокой, кроме того, она требует для надежной эксплуатации большого количества кораблей. Поэтому до сих пор ничего подобного не появилось, а международная научная общественность все больше и больше начинает склоняться к тому, чтобы мониторинг океана, т. е. непрерывное измерение его основных параметров, проводился с помощью космических методов наблюдения.

Однако опыт по созданию крупных буев не пропал. В некоторых случаях, используя этот опыт, ученые и инженеры еще больше увеличили размеры буев, превратив их в настоящие (уже обитаемые) лаборатории. Один такой буй давно и успешно эксплуатируется французскими учеными на Средиземном море, другой — лаборатория под названием «Флип» — в 60-е годы был создан американскими учеными. И тот и другой представляют собой длинную цилиндрическую трубу, которая плавает в вертикальном положении и закреплена с помощью классической системы трос—якорь. Такая длинная труба мало подвержена влиянию волны и представляет собой стабильную платформу. Над водой станция возвышается на несколько десятков метров. Здесь, как и в подводной части, расположены лаборатории. На буге есть также собственная энергетическая установка. На платформе надводной части имеются выдвижные стрелы для опускания прибо-

ров в воду, лебедки и другое оборудование. Установленная на буйе аппаратура предназначена для измерения акустических полей, поверхностных и внутренних волн, тонкой термической структуры моря, течений и других параметров водной среды и приводного слоя атмосферы. Буй обладает большими преимуществами перед кораблем, так как легко установить режим тишины для акустических измерений: нет двигателей и, кроме того, это сравнительно стабильная платформа, с которой можно с большой точностью измерять поверхностные и внутренние волны. Насколько буй устойчив, видно из того, что при воздействии волн высотой до 5 м с периодом 11 с колебания вертикальной оси буйа не превышают $0,2^\circ$, а амплитуда вертикальных смещений буйа при этом меньше 4 см. А что такое качка обычного корабля в этих условиях, я думаю, представляет любой читатель!

Буй-лаборатория «Флип» имеет интересную особенность. Закачивая воду в определенные отсеки в его корпусе, его можно переводить в горизонтальное положение и буксировать как корабль водоизмещением около 1500 т.

Среди автономных средств несомненно важное место занимают автономные донные станции. Такая станция состоит из способного выдерживать давление максимальных глубин прочного сферического корпуса, в котором расположена различная аппаратура, в том числе датчики различных физических величин, например сейсмических колебаний. Снаружи прочного корпуса находятся акустические системы для изучения шумов океана. Для акустических измерений такие станции особенно удобны, так как их собственные акустические помехи (не в пример измерениям с корабля) практически равны нулю.

Благодаря успехам микроэлектроники донные станции теперь снабжаются устройствами, производящими промежуточную обработку данных. Так что в память этой станции записывается уже некий «полупродукт» измерений, а не просто голый набор данных, который мог бы быстро заполнить всю память станции. По акустическому сигналу, посланному с поверхности океана, донная станция отсоединяется от якоря и поднимается наверх. Поскольку она снабжена проблесковым огнем («мигалкой»), излучателем радиоволн и радиолокационным отражателем, то найти такую станцию при ее всплытии обычно не представляет труда. Но и здесь бывают потери.

Важными автономными средствами являются исследовательские подводные лодки и батискафы. Однако об этом мы поговорим в следующей главе при анализе того, как человек проникает в толщу океана.

Увлекательна и разнообразна работа биологов в море. Но не только в море. Интересные результаты приносят исследования в специальных дельфинариях, где изучаются различные необыкновенные способности этих животных.

Ну а теперь немного о космической океанологии, которая развилась сейчас в самостоятельную науку.

В известной песенке военных лет пелось: «Мне сверху видно все, ты так и знай». Действительно, чем выше вы поднимаетесь, тем больше видите. Казалось бы, космические методы меньше всего могут помочь, скажем, в геологии, где все полезное скрыто под поверхностью Земли. Однако оказалось, что именно из космоса обнаруживаются крупномасштабные образования и структуры, что позволяет повысить во много раз эффективность геологического прогноза. Внизу же, «ползая», так сказать, по Земле, вы можете обследовать образцы по кусочкам, но лишаетесь возможности получить генеральную картину. В еще большей степени это замечание относится к исследованию океана. Плавая на корабле, вы измеряете температуру воды, течения, берете пробу воды и т. д. Все это хорошо и полезно, но из этих «кусочков» не так просто составить общую картину. А из космоса видно так много! В частности, становится понятным, какую роль в нашей жизни играет океан. В самом деле, почти все космонавты рассказывают, что, когда они смотрят в иллюминатор со своего космического корабля, Земля представляется им громадной водной поверхностью, кое-где разделенной континентами — островками суши. Недаром многие ученые говорят, что планету нашу правильно было бы назвать не Землей, имея в виду сушу, а Океанией.

Но взгляд сверху — не просто один из способов оценить всю красоту земного шара, выяснить еще раз, какие контуры имеют моря и океаны и каков в них цвет воды. Нет, изучая океан из ближайшего космического пространства, можно многое понять в его поведении. Кроме того, парадокс современной науки применительно к океанологии выражается фразой: «Чтобы увидеть больше, надо подняться выше!»

Но для начала мы «поднимемся» не так высоко, а посмотрим, что дают при изучении океана методы аэрофото-съемки и аэроразведки, когда исследователи и аппаратура находятся на борту самолетов и вертолетов, т. е. воздушных кораблей вместо привычных морских. Разумеется, тут есть своя специфика.

Самолеты и особенно вертолеты привязаны к своим базам на суше и залетать далеко в океан не могут. Кроме того, аэрофотосъемка основана на использовании тех частей спектра электромагнитных волн (видимый и невидимый свет), которые не способны проникать глубоко в воду. Вот почему самолетные и вертолетные исследования в основном прибрежные.

Однако имеются и крупные достижения. Так, первые наиболее точные методы изучения волнения на поверхности были связаны со стереоскопическими съемками с помощью самолетов и вертолетов. Измерения, производимые с борта корабля, всегда «засорены» его собственным движением — качкой на волне. Поэтому именно аэрофотосъемка дает наиболее точные результаты при регистрации рельефа поверхности, ее волнения. Получаемые стереофотопары требуют кропотливой обработки, но вся эта процедура позволяет выявить основные закономерности поверхностного волнения.

С самолетов и вертолетов можно изучать также течения, особенно *поверхностные*. Для этого в океан выбрасывают баллон с краской, которая затем выливается. После этого регистрируется передвижение цветного пятна и его изменение в размерах. Отсюда получают определенные данные о направлении и скорости течения. Своеобразное «расплывание» пятна и увеличение его размеров объясняются турбулентностью океанской воды.

Аэросъемка дает интересные данные относительно дна, если, конечно, оно находится не очень глубоко. На соответствующих снимках мы отчетливо видим возвышения, впадины, подводные каньоны, простирающиеся у береговой полосы в глубь моря, и многое другое. Легко определить вид растительности дна и даже оценить запасы полезных водорослей.

Очень много дает магнитная аэросъемка океана. Таким способом можно выявить на дне моря области, перспективные с точки зрения поисков некоторых полезных ископаемых. Магнитная съемка с самолета помогла ста-

новлению концепции тектоники литосферных плит, дав для некоторых районов океана весьма точную картину магнитных аномалий морского дна. Естественно, это можно было сделать только в тех районах, где зона срединно-океанических хребтов расположена недалеко от мест возможного базирования самолетов, например в зоне, близкой к Исландии.

С помощью сложной аэрофотосъемки, где применяется целый спектр световых волн, можно обнаружить и контролировать загрязнение прибрежных вод, а применение инфракрасных радиометров, фиксирующих тепловое излучение воды (в сущности ее температуру), позволяет также регистрировать и тепловое загрязнение воды, т. е. повышение температуры, связанное с работой электростанций и других промышленных объектов.

Подводные грязевые вулканы также легко обнаруживаются при детальном изучении снимков поверхности океана. Видны выделения газов, сопутствующие этому процессу, характерный вид имеет сама вода. Залежи нефти и газа иногда проявляются в виде постоянных нефтяных пятен, возникающих в одних и тех же районах океана.

Океанские воды чутко реагируют на рельеф дна, даже находящегося на порядочной глубине. Поэтому умелые исследователи могут обнаружить и открыть много интересного в строении дна, изучая снимки поверхности воды. И именно воздушные фотосъемки дают четкое представление о подводных валах, рифах, скалах и отмелях прибрежной полосы, что необходимо знать мореплавателям.

До сих пор мы говорили об аэрометодах, которые уже давно используются для изучения океана с самолетов. Посмотрим теперь, что можно получить, поднявшись гораздо выше, в ближний космос. Что оттуда видно в океане? Прежде всего мы зафиксируем гигантские океанские вихри, мощные течения, как, например, течение Гольф-стрим, фронтальные разделы между водами различной природы, обнаружим следы внутренних волн на поверхности океана и многое другое, что невозможно «объять» обычными методами. По сути дела, только из ближнего космоса можно снять крупномасштабную карту поверхностной температуры, поверхностного волнения, приповерхностных ветра и течений, а также получить важные

для науки величины отклонения действительной формы океана от теоретического геоида.

Именно появление космической океанографии заставило нас пересмотреть во многом установившиеся методы измерений. Если раньше мы изучали сравнительно небольшие районы океана, то теперь перешли к выполнению громадных программ, охватывающих наблюдениями комплексного характера крупнейшие регионы. Добавлю, что только с помощью космических станций мы можем наблюдать крупномасштабную изменчивость океана, которая приводит к колебаниям важнейших его характеристик, таких, как, например, перенос тепла различными течениями. Именно «сверху» этот сложный и поистине гигантский по охвату площади океана процесс хорошо регистрируется.

Трудно себе представить, как продвигались бы исследования океана, как было бы организовано его освоение, если бы человек «вовремя» не проник в космическое пространство. В самом деле, широкое использование ресурсов океана во всех его регионах, в том числе в районах, удаленных от берегов, требует непрерывного знания его состояния — хотя бы даже обычных сведений о погоде в различных его частях. Широкое использование биологических ресурсов теперь может происходить лишь на основании данных глобального характера, получаемых из космоса. Из космоса сравнительно нетрудно зарегистрировать воды с повышенной биологической продуктивностью. Наконец, только из космоса проводятся крупномасштабные наблюдения за загрязнением Мирового океана — наличием нефтяной пленки и т. д.

Отметим еще необходимость более точных прогнозов погоды на всем земном шаре, в том числе опять-таки над океаном. Отсюда необходимость непрерывных сведений о состоянии вод океана, динамике течений, синоптических вихрях и т. д.

Другими словами, и наука, и практические запросы человечества теперь требуют такого количества информации об океане, которую никак не могут дать отдельные корабли, если бы мы даже и построили их в 10 раз больше, чем имеется сейчас. Необходим совершенно другой подход к исследованию океана и контролю за его состоянием, необходимы космические средства исследования.

Посмотрим теперь, какие же конкретные сведения об океане и каким образом можно получить из космоса.

Все без исключения космические методики наблюдений основываются на использовании одного из трех диапазонов электромагнитных волн — видимого света, инфракрасных лучей и сверхвысоких частот электромагнитных волн (длины волн порядка нескольких сантиметров).

Важнейший параметр, характеризующий состояние океана, — температура его поверхности — измеряется по собственному тепловому излучению этой поверхности. Всякое тело при любой температуре (исключая, конечно, абсолютный нуль) излучает тепловые волны. Их проще всего регистрировать в инфракрасном диапазоне. Так это и делается с космических средств — регистрируется инфракрасное собственное излучение океана, если только, конечно, эта часть океана не покрыта облаками. Облака являются непреодолимой преградой для инфракрасных лучей. Зато через них могут проникать сантиметровые радиоволны, также излучаемые поверхностью океана. По собственному излучению океана в этом диапазоне волн и построено большинство карт поверхностной температуры. Конечно, здесь дело тоже обстоит непросто, так как большое влияние оказывает сама атмосфера. Для того чтобы более или менее точно определить температуру поверхности океана, надо знать так называемую передаточную функцию атмосферы, т. е. определить, как именно атмосфера поглощает волны этого диапазона. В результате температуру поверхности океана в настоящее время определяют с точностью примерно в 1° . Изменение температуры при пролете различных участков океана, т. е. контрасты температуры, можно измерять точнее, с точностью до нескольких десятых градуса.

Приборы, которые регистрируют собственное тепловое излучение поверхности океана, называют радиометрами. Радиометрами можно производить так называемые трассерные измерения температуры, т. е. измерять температуру вдоль линии, лежащей под траекторией спутника или космической станции. Иногда радиометр направляют под некоторым углом к вертикали, чтобы под этим же углом принимать тепловое излучение. Меняя этот угол с определенным периодом во время пролета спутника или космической станции, мы регистрируем температуру поверхности в широкой ее полосе, занимающей много десятков

километров. Такой прибор называют сканирующим радиометром. Совершенно ясно, что последний способ гораздо более эффективен. При его помощи, кстати, можно определять границы полярных льдов, чем и занимаются, в частности, метеорологические спутники.

Столь же досконально можно изучать из космоса поведение приповерхностного воздушного слоя. Особенно важно получить данные о состоянии приповерхностного ветра. Этого, во-первых, требует кораблевождение. Кроме того, эти данные необходимы для расчетов процессов обмена теплом и влагой между атмосферой и океаном. Для измерений используется процесс рассеяния электромагнитных волн на поверхности океана. Узкий пучок радиоволн направляют на поверхность океана под некоторым углом. При отсутствии поверхностного ветра (зеркально-гладкая поверхность океана) отражение произошло бы по закону геометрической оптики. Пучок отразился бы и ушел в сторону. При наличии же ветра на поверхности океана, кроме крупных волн, всегда имеется мелкая рябь, причем ее интенсивность соответствует силе ветра в данный момент и в данном месте. Эта мелкая рябь рассеивает электромагнитные волны во все стороны, в том числе в обратном направлении на спутник или космическую станцию, где они принимаются и регистрируются. По силе рассеяния в обратном направлении волн и судят об интенсивности поверхностной ряби, т. е. о силе ветра. В настоящее время достижима точность измерения приповерхностного ветра порядка 1 м/с.

Одним из важнейших приборов, устанавливаемых на океанологических спутниках, является альтиметр, с помощью которого определяют высоту спутника над поверхностью океана. Работает альтиметр в локационном режиме, периодически посылая вертикально вниз радиопульсы. Как и в обычной локации, расстояние определяется по времени прохождения сигнала до поверхности океана и обратно.

Эти измерения имеют для океанографии огромное значение. Если точно фиксировать траекторию спутника, то из этих данных можно определить форму поверхности океана. Как известно, она, как правило, отклоняется от так называемого теоретического гесида, т. е. от формы, которая была бы, если бы воды океана находились в покое и рельеф дна был бы гладкий. Одна из причин откло-

нений — океанические течения. Вихревые движения синоптического масштаба вызывают аналогичные отклонения. В зависимости от направления вращения вод в зоне синоптических вихрей поверхность океана приподнимается или опускается. Разница в высоте, обусловленная течениями глобального масштаба, составляет один или несколько метров. Если бы мы могли с хорошей точностью, скажем, не меньше чем несколько сантиметров, определить отклонение рельефа от теоретического геоида, то сравнительно точно определили бы и течения. Это замечание относится и к вихрям.

Современные альтиметры позволяют определять (опять-таки при хорошем контроле траектории спутника) отклонения поверхности от теоретического геоида с точностью до 10 см. Такие, а желательно еще более точные измерения высоты морской поверхности позволяют также определить и зафиксировать цунами в открытом океане. Если это удастся сделать до того, как страшная волна подошла к побережью, то можно предупредить жителей на берегу и они успеют покинуть прибрежную зону.

Естественно, возникает вопрос, а нельзя ли с помощью спутниковых измерений определить высоту обычной морской волны. Ведь нам уже известно, как определить со спутника характеристики ветра. Однако ветер и волна прямо между собой не связаны. Недаром моряки всегда отдельно определяют в баллах волнение и ветер. Действительно, ветер может внезапно задуть с большой силой, а волна еще не успела разойтись. Или, наоборот, ветер уже прекратился, а волна в виде морской зыби все еще бежит по всему океану. Высоту волны, оказывается, возможно определить по искажению формы радиолокационного импульса (используемого в альтиметре) при отражении его от поверхности воды. Точность таких определений в настоящее время также около 10 см.

В заключение кинем прощальный взгляд из космоса на океан. По наблюдениям космонавтов океан в районе мелководий — светло-бежевый. При увеличении глубины он становится изумрудным и далее переходит в синий. Индийский и Атлантический океаны имеют темно-синий оттенок. Средиземное море — темно-голубое, Карибское — зеленоватое.

По цветности моря в видимом диапазоне можно определить, как уже выше сказано, биологическую продуктив-

ность океана в данном месте. Однако всегда должны вноситься определенные поправки на влияние атмосферы. Когда мы наблюдаем океан в видимом свете, то надо понимать, что только $1/5$ часть светового потока, достигающая нас, вышла из океана. Остальные $4/5$ обусловлены рассеянием солнечного света атмосферой — атмосферная дымка. Впрочем, это соотношение может меняться в зависимости от того, как высоко стоит над горизонтом солнце.

Словом, сверху видно многое, но, к сожалению, отнюдь не все! Поэтому надо погрузиться под воду, что мы с вами и сделаем!

Глава шестая

ЧЕЛОВЕК СПУСКАЕТСЯ ПОД ВОДУ

Внезапно нам открылась чудовищная пропасть. Жуткое место, такое увидишь разве что в ночном кошмаре! Блестящие черные грани базальта круто обрываются вниз в неизвестное... Мы не знали, сколь широка эта пропасть, ибо даже наши сильные прожекторы не могли одолеть мрака. Мы зажгли мощный сигнальный фонарь Лукаса и направили вниз сильный сноп параллельных лучей. Они падали в бездну все ниже и ниже, не встречая препятствий, пока не затерялись в непроглядном мраке.

А. КОНАН ДОЙЛ

К чести замечательного автора детективных и научно-фантастических повестей, никогда лично не пытавшегося проникнуть в глубь Мирового океана, описание придуманного им путешествия, «состоявшегося» за много лет до первого погружения в глубины океана, вполне соответствует тому, что увидели и пережили настоящие исследователи глубин. Я думаю, многие помнят роман Конан Дойла, кубическую кабину и жуткого краба, перегрызшего канат, на котором держалась кабина, упавшая на дно, что положило начало головокружительным приключениям отважной тройки исследователей. Это лишний раз свидетельствует о том, что фантазия писателя — примеров тому много — порой может предвосхитить, а иногда и подтолкнуть фантазию и творческие усилия инженеров. Любопытно отметить, что в данном случае автором оказался писатель детективного жанра. Но ведь любое научное исследование, где постигаются тайны природы, не что иное, как своеобразный детектив!

Но перейдем к реальным путешествиям в царство Нептуна и для начала сделаем небольшой исторический экскурс.

Человек с незапамятных времен стремился попасть в глубины океана. И уже давно начали создаваться многочисленные приборы и аппараты, предназначенные для этих целей.

Как говорят предания, первым, кто опустился под воду с помощью специально изготовленного для этой цели

колокола, был Александр Македонский. Судя по рисункам, это была небольшая камера, напоминавшая бочонок. Подобная любознательность делает честь великому завоевателю, хотя никому не известно, что именно увидел под водой прославленный полководец древности. Однако в самом факте интереса Александра Македонского к изучению моря нет ничего удивительного. Ведь его учителем был не кто иной, как знаменитый ученый и философ Аристотель, крайне интересовавшийся различными приборами для погружения под воду. Он даже оставил после себя сочинение, посвященное этим проблемам. Видимо, великий учитель сумел возбудить у своего не менее великого ученика интерес к этой проблеме.

Надо сказать, что примерно в то же время — IV в. до н. э. — о водолазной технике упоминал и известный римский военный писатель Вегеций. Затем подобные проекты канули в Лету, о них перестали говорить и думать. Лишь в начале XVII в. голландец К. ван Дреббель построил в Лондоне примитивную подводную лодку. Еще через 100 лет при дворе Петра I русский изобретатель Ефим Никонов демонстрировал свою действующую модель подводного судна. Но лишь в конце XIX в. появились настоящие подводные лодки, естественно, предназначенные для военных целей.

Правда, подводная лодка «Наутилус», «конструктором» которой был известный фантаст, автор романа «20 000 лье под водой» Жюль Верн, вышла в свое бессмертное плавание еще раньше — в 1868 г. Знаменитый фантаст не просто обогнал свое время, но сделал несколько технических предсказаний, которым не перестают удивляться и современные инженеры. Экипаж «Наутилуса» мог по желанию совершать прогулки по дну океана, пользуясь специальными скафандрами. Такие скафандры были изобретены французскими инженерами Рукейролем и Денайрузом лишь за два года до выхода романа. Отсюда видно, как внимательно следил Жюль Верн за технической литературой, как быстро «брал на вооружение» все новинки, порой улучшая их силой своего предвидения.

Современный акваланг, тот самый, которым сейчас пользуются тысячи любителей подводных прогулок и ученых, родился в 1943 г. Изобретен он известным французским исследователем океана Жаком Ивом Кусто и французским же инженером Э. Ганьяном. С аквалангом можно

спокойно, без особого риска находиться на глубинах примерно до 40 м. Для многих целей этого вполне достаточно.

Однако параллельно конструкторы старались сооружать аппаратуру, с помощью которой человек мог бы спускаться гораздо глубже, к тому же имея при себе запасы кислорода. Речь шла о спускаемом аппарате, находясь в котором исследователь спокойно работает, изучая окружающую среду из иллюминатора, собирает пробы грунта при помощи манипуляторов, расположенных снаружи аппарата, и использует различные приборы, находящиеся в корпусе аппарата.

Большая глубина заказана даже для современных подводных лодок. Поэтому с самого начала исследовательские подводные камеры стали делать по-особому. Сначала были изобретены батисферы, опускаемые в глубину с корабля на стальном тросе. Пробраз такого аппарата и дал Конан Дойл, которого я цитировал выше. Первой достаточно удачной батисферой был аппарат, созданный американским ученым У. Бибом. Это была герметическая стальная сфера с иллюминаторами из кварцевого стекла, способного выдерживать большие давления. Внутри сферы находились баллоны со свежим воздухом и специальные поглотители, убирающие углекислоту и пары воды, выдыхаемые людьми, находящимися внутри камеры. Параллельно стальному тросу проходил провод телефона, связывающего участников подводной экспедиции с их товарищами, оставшимися на надводном корабле.

В 1934 г. Биб и Бартон спустились в этой батисфере на рекордную тогда глубину около 1000 м. Сфера имела диаметр всего около 1,5 м, так что удобств для двоих там было мало. Однако неудобства с лихвой компенсировались тем, что отважные исследователи увидели впервые. Их, в частности, поразил своеобразный «снег», идущий снизу вверх. Так выглядели в свете прожектора многочисленные планктонные организмы, пролетающие мимо сферы при ее опускании вниз.

Отметим также, что в 1940 г. Бартон, уже в одиночку, перекрыл рекорд погружения, доведя его до 1360 м.

На этом батисферные погружения закончились. Эстафета перешла к совершенно автономному подводному кораблю, не связанному намертво с надводным. Таков батискаф замечательного ученого и инженера, подлинного энтузиаста науки и техники швейцарского профессора

Огюста Пикара. Это был редкий тип ученого, который создавал аппаратуру для своих исследований и проводил сами исследования в экстремальных условиях. Так, увлекшись изучением космических лучей, Пикар создает оригинальную конструкцию стратостата и поднимается на рекордную высоту 15 780 м в 1931 г. и 16 370 м в 1932 г.

Но задолго до этого Пикар изобрел аппарат для подводного плавания, назвав его батискафом. Принцип действия батискафа был в основном тот же, что и для воздухоплавательного аппарата. Воздушный шар, или стратостат, плавает в атмосфере потому, что он легче воздуха. Точно так же ведет себя и батискаф в глубинах океана, потому что он легче воды.

Изобретен аппарат был в 1905 г., но лишь через 43 года, заполненных для О. Пикара различными научными исследованиями и смелыми путешествиями в стратосферу, он наконец испытал свое детище и из стратонавта стал акванавтом. Так что от идеи, точнее говоря, от конструкции, созданной на бумаге, до ее технического воплощения прошел срок для техники XX в. почти небывалый. Объяснить это промедление можно лишь одним — человечество еще не понимало, недооценивало всю важность исследований глубин океана.

Первое погружение, правда, совершил не сам, уже пожилой к тому времени, профессор О. Пикар, а автопилот, который и вел батискаф в мрачные глубины океана. Аппарат достиг 1380 м и благополучно вернулся на поверхность.

Затем в 1953 г. уже сам Пикар на своем батискафе «Триест» достиг глубины 3150 м. Впервые в мире человек собственными глазами смог увидеть, что происходит на столь больших глубинах.

Несколько слов о конструкции «Триеста». Камера, где находятся наблюдатели, представляет собой стальную сферу. Многие говорили, что, по сути дела, Пикар переделал свой воздушный шар в своего рода подводный дирижабль. К сфере крепится большая емкость, наполненная бензином, который легче воды и поэтому обеспечивает всему подводному кораблю необходимую положительную плавучесть. После того как подводный корабль примет специальный балласт, он начинает погружаться.

Когда нужная глубина достигнута — ее лимитирует лишь прочность стенок камеры — и необходимые опыты

проведены, балласт отцепляют. И кабина с подводными путешественниками плавно поднимается вверх к солнцу, к людям, к воздуху. На батискафе можно было путешествовать и вдоль дна океана. Для этой цели у него имелся винт, приводимый в движение электромотором. Кроме того, имелся тяжелый трос, который волочился по дну и играл ту же роль, что и гайдроп воздушного шара. В результате батискаф сохранял постоянное расстояние от дна.

Конечно, на деле все обстояло не так гладко, как я рассказал. Изготовить батискаф было нелегко, конструкция совершенствовалась по мере проведения испытаний, на что ушли годы.

На смену отцу пришел его сын, экономист по образованию, Жак Пикар. Он был напарником отца в его знаменитом погружении 1953 г. и затем начал самостоятельные погружения, вершиной которых было посещение в 1960 г. самого глубокого места Мирового океана — Марианской впадины (глубина около 11 000 м). О. Пикар дожил до этого триумфа своих идей, хотя сам вследствие преклонного возраста уже не участвовал в погружении. Он умер два года спустя. Гроб замечательного ученого был накрыт швейцарским флагом, который побывал на дне Марианской впадины.

Сын великого изобретателя не стал лишь повторять то, что сделал отец. Развивая идеи отца, он изобрел и построил мезоскаф — усовершенствованная конструкция батискафа. Этот аппарат не просто спускался на дно и поднимался на поверхность, он мог совершать вполне автономные плавания, используя океанические течения. Опять полная аналогия с воздушными шарами, которые перемещаются в атмосфере под действием ветра. Мезоскаф, не предназначенный для больших глубин («мезо» — промежуточный), был снабжен множеством различных приборов — акустическая аппаратура, телевизионные камеры, кинокамеры и т. д.

И вот в 1969 г. экипаж из шести человек во главе с Ж. Пикаром совершил многодневное подводное путешествие по течению Гольфстрим на глубине около 400 м. Было проведено множество интереснейших наблюдений над физическими процессами, протекающими в самом течении, где еще скрывается масса загадок.

С тех пор прошло не так уж много времени, но как существенно расширились возможности для проведения

исследований и многих других работ под водой! В первую очередь это было обусловлено «взрывообразным» расширением масштабов добычи нефти и газа из морского дна, а также повышением интереса к минеральным богатствам дна открытого океана. Я постараюсь познакомить читателей коротко с новыми техническими возможностями.

Прежде всего остановимся на аппаратах системы НПА — необитаемые подводные аппараты. Эти устройства прочно вошли в обиход инженеров-промысловиков и ученых. При помощи кабеля они соединяются с кораблем-носителем, по кабелю передаются и команды для управления аппаратом, поэтому они называются также «телеуправляемыми».

НПА делятся на два класса — наблюдательные и силовые. Первые проще и легче. Они весят от нескольких десятков до нескольких сотен килограммов. Их задачей является детальная акустическая и оптическая съемка дна, инспекция технических установок на дне, и в особенности трубопроводов, выявление неисправностей, нахождение затонувших объектов и т. д. Для этой цели НПА имеют теле- и фотокамеры с передачей изображения на судно, гидролокаторы, системы ориентации (гироскопы) и навигации и даже ультразвуковые дефектоскопы, позволяющие выявлять трещины в металлоконструкциях. Все более расширяется применение стекловолокна для передачи информации (особенно телевизионной) с НПА на судно. Силовые НПА мощнее — вес до нескольких тонн. Они имеют развитую систему манипуляторов для самозакрепления на нужных участках металлоконструкций и проведения ремонтных работ — резки, сварки и т. д.

Рабочие глубины большинства НПА в настоящее время до нескольких сотен метров, но имеются образцы, способные работать на глубине до 7 км. Рабочая глубина аппарата «Звук-6», созданного в Институте океанологии АН СССР, 6 км.

Обычная схема работы НПА такова. Аппарат находится в своем домике — «гараже», который на прочном кабеле опускается с корабля на дно моря. После этого по команде сверху он выплывает из этого гаража и, оставаясь связанным с ним кабелем нейтральной плавучести (называемым «поводком»), осуществляет операции (опять-таки по команде сверху) в радиусе обычно 100—300 м. По окончании работы НПА занлывает снова в «гараж», кабель

сматывается на лебедку и все устройство поднимается на палубу.

Аппарат «Давид», разработанный одной западногерманской фирмой, может работать самостоятельно как телеуправляемый, а также в паре с водолазом. Таким образом осуществляется система робот — человек.

Управляемый с поверхности или самим водолазом «Давид» приходит к месту работ, затем с помощью гидравлического захвата прикрепляется к обслуживаемому объекту. «Давид» предоставляет водолазу энергию, оборудование, инструменты для подводной сварки и неразрушающего контроля конструкции.

Более органичное объединение человека и робота в одну систему осуществляется в так называемых антропоморфных жестких скафандрах. При этом водолаз сам имеет возможность непосредственно присутствовать при выполнении работ и управлять всем технологическим процессом. Управление может осуществляться и сверху по кабелю. Таким образом, аппарат совмещает преимущества обитаемых (присутствует водолаз) и необитаемых конструкций (телеуправление).

Глубина погружения таких аппаратов в настоящее время 700 м. Манипуляторы обычно приводятся в движение мускулами самого человека — водолаза, но рабочие клешни (захваты) снабжены гидравлическим приводом. С помощью телекамеры водолаз демонстрирует свою работу специалистам на поверхности и слушает их советы.

До недавнего времени все НПА управлялись по кабелю либо с кораблей обеспечения, либо со специальных платформ. Однако сейчас начинают широко применяться аппараты, управляемые по акустическому, точнее говоря, гидроакустическому и даже радиоканалам.

Один такой аппарат создан канадскими специалистами. Он предназначен для съемки рельефа дна гидроакустическими методами — с помощью эхолота и локатора бокового обзора. Длина аппарата от 6 до 7 м, масса от 1,35 до 1,85 т. Мы видим, что это уже достаточно солидная машина. Аппарат может заглубляться до 360 м, имеет скорость 5 узлов, автономность в режиме непрерывного движения 20 ч, т. е. за один спуск можно покрыть расстояние 100 миль (182 км).

Движение аппарата осуществляется с помощью двух электромоторов постоянного тока, питание производится

от аккумуляторов. Информация от него передается по гидроакустическому каналу телеметрии на борт судна, где осуществляется ее регистрация. Аппарат снабжен микропроцессором, в который закладывается программа его движения перед каждым спуском. Программа может быть изменена оператором в процессе эксперимента подачей специальной команды с судна обеспечения по гидроакустическому каналу. Аппарат успешно используется канадской гидрографической службой при производстве съемки рельефа дна в Арктике подо льдом.

Другой канадский аппарат управляется по радиоканалу. Он движется на глубине 4–5 м под поверхностью с антенно-перископным устройством, выступающим над поверхностью воды. Скорость аппарата около 20 км/ч, продолжительность работы 20 ч, т. е. за один спуск аппарат проходит около 400 км. Аппарат снабжен микропроцессором, гироскопом, трехкомпонентными измерителями ускорения и совершенной радионавигационной системой. Основное назначение аппарата — производство батиметрической съемки с помощью эхолота. Благодаря очень узкому лучу эхолота (около 2°) можно осуществлять детальную съемку рельефа дна. Движение аппарата осуществляется по траектории, задаваемой программой микропроцессора. Передача измеренной информации осуществляется по радиоканалу на борт судна, где производится ее регистрация.

При исследовании космоса применяются как необитаемые аппараты — искусственные спутники Земли, так и обитаемые — космические орбитальные станции. То же самое происходит и при освоении глубин океана. Как бы ни был широк спектр задач, выполняемых необитаемыми аппаратами, без одускания человека в глубины не обойтись. Вот почему мне хочется поподробнее остановиться на описании ОПА — обитаемых подводных аппаратов, с которых мы и начали эту главу.

Среди энтузиастов освоения глубин океана я уже упоминал знаменитого капитана Жака Ива Кусто. По его идеям и под его руководством впервые в истории изучения океана была создана подводная донная обитаемая лаборатория. В 1965 г. команда акванавтов из 6 человек провела на дне на глубине около 100 м 22 дня. Впервые было показано, что человек на такой глубине может жить и работать длительное время. Так была дана «зеленая улица»

разным системам подводного обитания человека, оказавшимся совершенно необходимыми при эксплуатации нефтепромыслов на море и для многих других целей. За время, прошедшее с тех пор, максимальные глубины, на которые рассчитаны эти системы, увеличились во много раз.

Что касается *самодвижущихся* подводных аппаратов, то и тут Жак Ив Кусто сделал важный шаг вперед, создав «ныряющее блюдо». Этот аппарат не очень тяжелый, легко транспортируемый, маневренный, с помощью которого можно вести визуальные наблюдения, заниматься фотографией морских глубин и собирать образцы породы. Экипаж размещается внутри небольшого герметизированного корпуса, действительно напоминающего центр своеобразного блюда. Края составляют негерметическую легкую часть. Для получения нулевой плавучести у «блюда» имеются балластные цистерны. Погружается «ныряющее блюдо» под большим углом к поверхности океана, уходит на дно по траектории, напоминающей спираль. При достижении дна аппарат уравнивается. Для этого сбрасываются небольшие свинцовые пластины и наполняются водой одна или две цистерны. Наконец экипаж производит дифференцировку, перекачивая вдоль корабля ртуть, которая перемещается в замкнутом объеме.

Теперь аппарат готов к плаванию. Его максимальная скорость около 5 км/ч. Удаляется он от корабля-матки на расстояние 20—30 км. Для всплытия экипаж сбрасывает часть остающегося балласта и быстро поднимается на поверхность. Такое ныряющее блюдо с командой в два человека опустилось на глубину около 420 м в 1959 г.

В настоящее время в мире имеется несколько сотен обитаемых подводных аппаратов разных конструкций и разного назначения. Среди них такие труженики науки, как аппараты «Пайсис» (максимальная глубина погружения 2000 м), на которых советские ученые исследовали дно Байкала, Красноморскую и Северо-Атлантическую рифтовые зоны, французский аппарат «Сиана» (глубина до 3000 м), американский «Алвин» (глубина до 4000 м), при помощи которых сделаны многие открытия, в том числе обнаружена жизнь в экстремальных условиях в районе глубинных гидротерм.

Большинство ОПА предназначено для обслуживания подводных установок на морских нефтяных промыслах,

которые теперь уходят уже на глубину до 700 м. Многие из них устроены так, что акванавты могут выходить из аппаратов в открытую воду и работать в ней достаточное время. На других аппаратах развита система манипуляторов, при помощи которых акванавты, находясь внутри прочного корпуса, проделывают такие сложные операции, как подводная сварка, сборка конструкций, бурение дна и т. д.

В военно-морских флотах разных стран ОПА служат для спасения экипажей потерпевших аварию подводных лодок. Небольшой американский аппарат РС-3В, способный вмещать двух акванавтов и опускаться до глубины около 200 м, участвовал в поисках американской водородной бомбы, утерянной в Средиземном море у берегов Испании. Среди ОПА имеются и такие «гиганты», как американская атомная подводная лодка NR-1, способная опускаться на глубину около 700 м и передвигаться по дну... на колесах.

Не следует думать, что путешествие на подводных аппаратах — своего рода увеселительная прогулка. Отнюдь нет. Глубины океана с их полной тьмой и холодом воспринимаются человеком как чуждая враждебная среда. И среда эта бывает крайне агрессивной. По сути дела, подводный корабль на каждом шагу подстерегают неожиданности, каждая из которых может закончиться катастрофой. Правда, сейчас в морях и океанах плавает такое количество ОПА, что в любом таком случае быстро приходит помощь.

Вот несколько примеров тому.

В 1968 г. один из самых современных по тому времени подводных аппаратов США «плавающее блюдо» «Дип Квест» погрузился на дно. Однако всплыть он никак не мог. Мешал трос, случайно намотавшийся вокруг винта. Помог другой подводный аппарат, маленький «Нектон». Его экипаж освободил потерпевшее аварию судно самым простым способом, перерезав трос.

В том же году случилось несчастье и с упоминавшимся выше известным американским ОПА «Алвин». Он затонул. Произошло это вследствие элементарного недосмотра. Экипаж покинул судно после очередного рейса в глубины океана. Аппарат стали поднимать на палубу обслуживающего судна. В этот момент он потерял равновесие, зачерпнул воду, так как люк был открыт, и немед-

ленно затонул, очутившись на дне на глубине 2300 м, где и пролежал около года.

Поиском занялся экипаж другого ОПА «Алюминаут». Этот аппарат может опускаться до глубин 4570 м.

Надо было не только найти «Алвин», но и поднять его с помощью троса. Нашли «утопленника» довольно быстро. Но операция спасения была трудной и весьма кропотливой. Поскольку люк ОПА оставался открытым, инженеры решили этим воспользоваться. Туда надо было завести специальный металлический стержень с распоркой, а затем с помощью троса судно-спасатель могло бы спокойно поднимать «Алвин».

Со стержнем, зажатым в одной из «рук» манипулятора, «Алюминаут» начал осторожно подходить к спокойно лежащему на грунте «Алвину». Как говорят участники экспедиции, забросить внутрь люка стержень с прикрепленным к нему тросом было операцией, не менее сложной, чем попытка вдеть нитку в иголку, имея на руках железные перчатки. Однако после нескольких неудачных попыток экипаж «Алюминаута» добился своего. Через несколько часов ожидания «Алвин» торжественно появился на поверхности океана.

Инженеры были сильно удивлены тем, что металлические части аппарата практически не подверглись коррозии. Еще более удивили ученых бутерброды, оставленные на столе участниками экспедиции «Алвина». Они, конечно, сильно намокли, но не испортились. Отсюда был сделан очень интересный вывод о малой микробиологической и коррозионной активности на таких глубинах.

В июле 1980 г. советский самоходный аппарат «Аргус», принадлежащий Институту океанологии АН СССР, с тремя акванавтами на борту обследовал подводный каньон Черного моря вблизи Геленджика. Спускаясь вниз по каньону, склоны которого очень интересовали ученых, судно заклинило между дном и подводным кабелем, проходившим поверх каньона. Все попытки акванавтов самостоятельно выбраться из ловушки оказались безрезультатными. Поскольку события требовали немедленного вмешательства извне, были приведены в действие все средства спасения. И после того как «Аргус» пробыл в бедственном положении 44 ч 25 мин (при аварийном запасе кислорода на 72 ч), его освободил от кабеля корабль-кабелеукладчик «Цна».

Правда, подобные аварийные ситуации достаточно редки. Каждая из них обсуждается конструкторами и руководителями соответствующих экспедиций, дабы сделать из этого возможные выводы, касающиеся тонкостей конструирования ОПА и их эксплуатации.

Для облегчения спасательных работ происходит унификация некоторых характеристик ОПА на международном уровне. Унифицируются частоты звукоподводной связи, размеры входных люков и т. д. Улучшается качество ОПА, появляются новые конструкции, используются новые источники энергии. Это очень важная проблема. Аккумуляторы по целому ряду причин все-таки не очень удобны. Они сравнительно громоздки, требуют перезарядки. Поэтому конструкторы обратили внимание на ядерные установки — радиоизотопные источники тепла.

Космические корабли используют энергию Солнца, применяя солнечные батареи. Исследователи гидрокосмоса такой возможности лишены. Отсюда и дополнительные трудности.

Много требований предъявляется и к материалам. Дело в том, что у всякого подводного аппарата, будь то подводная лодка или любой исследовательский аппарат, на учете каждый грамм массы. Корпус должен быть прочным. Прочность должна быть тем больше, чем больше глубина погружения. Это ведет к другому осложнению — увеличению массы ОПА. Выходит, конструкторам нужны материалы сравнительно легкие, но предельно прочные. Разумеется, в своих требованиях океанологи не одиноки. Аналогичные пожелания предъявляют конструкторы самолетов и любых летательных аппаратов, включая космические.

Существует много и особых важных требований именно к конструкции ОПА. Нужно снабдить их более совершенными системами манипуляторов, способных самостоятельно справляться с различными аварийными ситуациями, а также вести любые монтажные и ремонтные работы на больших глубинах. Это кроме манипуляторов, выполняющих научные программы.

Под водой ничего не видно. Между тем, чтобы ориентироваться, прокладывать нужный курс, не удариться о дно, аппарат должен иметь и глаза, и уши, т. е. нужны безотказные системы навигации, средства связи, гидролокаторы и телекамеры. Обычно ОПА ориентируются под водой,

используя сигналы от нескольких (не менее трех) акустических маяков, установленных в определенных точках на дне. Значит, надо подумать и о надежности этих небольших, но важных устройств. Большинство ОПА работают со специальных судов-маток (судов-носителей). На этих судах все приспособлено для спуска и подъема ОПА, для их технического обслуживания между очередными погружениями, для отдыха акванавтов и их подготовки к очередному спуску.

В некоторых случаях такие ОПА, как «Пайсисы», принадлежащие Институту океанологии АН СССР, размещаются на исследовательских кораблях универсального назначения. Такие крупные исследовательские корабли Академии наук СССР, как «Академик Мстислав Келдыш», «Академик Курчатов» и «Дмитрий Менделеев», имеют специальные площадки для размещения, а также приспособления для спуска на воду и подъема различных ОПА.

Вопрос о совершенных спуско-подъемных механизмах также не прост. Интересно, как, казалось бы, самые обычные и простые вещи на море осложняются. Сложность заключается в том, что эти устройства должны работать при наличии волнения на море. Вспомним, что для открытого моря волнение 4–5 баллов является обычным явлением. При этом корабль изрядно качается и все, что висит на стреле за бортом, раскачивается и ударяется о борт, если не принять соответствующие меры предосторожности. Беда не очень большая, если это не тяжелый прибор. Но ведь ОПА достигают весьма внушительного веса — во много тонн. Тут уж обоим кораблям — поднимающему и поднимаемому — несдобровать. Это даже при 4–5 баллах. Но ведь может оказаться и так, что, когда ОПА отправляли под воду, погода была приемлемая, но, пока ученые находились под водой, волнение усилилось и, может быть, даже разыгрался шторм. Под водой долго люди существовать не могут — ресурсы кислорода ограничены. На поверхности в штормовую погоду ОПА находиться не приспособлен. Его надо срочно поднимать на палубу. Вот тут-то и сказывается умение сконструировать подъемные устройства.

Чтобы показать еще раз, как на море все осложняется, приведу случай из моей практики, который, хотя и не касается ОПА, все же показателен. При переоборудовании двух грузовых кораблей финской постройки «В. Чапаев»

и «Д. Фурманов» в научно-исследовательские корабли, названные «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев», на первом из них была предусмотрена площадка и ангар для вертолета. Корабли были построены для Акустического института АН СССР. Главная цель — разработка акустических методов исследования океана.

Вертолет и двух пилотов мы взяли во второй атлантический рейс этих кораблей в 1962 г. Вертолет, поднимаясь с палубы корабля в воздух, должен был на определенных расстояниях от корабля зависать над водой и опускаться до глубины 200 м излучатель звуковых волн, с тем чтобы эти волны принимали гидрофоны «Сергея Вавилова». Была заманчива перспектива быстрого прозвучивания вод океана по определенным трассам от корабля до расстояний в несколько сотен километров. Быстрота здесь нужна не только потому, что время всегда дорого. Дело в том, что при большой продолжительности опыта в конце его состояние вод океана может быть уже не то, что было в начале, и вся работа может пойти насмарку. Отсюда и стремление побыстрее закончить эксперимент.

Один или два первых опыта у нас получились. Однако на третьем лебедку, при помощи которой излучатель подтягивался из воды в вертолет, заклинило. Вертолет поднялся на высоту 300 м, и под ним на кабель-тросе длиной 200 м висел излучатель весом в 200 кг. Теперь вертолету необходимо было зависнуть над палубой корабля, положить излучатель на палубу, а матросам обрезать кабель-трос, после чего вертолет сам мог садиться на палубу. Так бы на суше все и происходило. Однако в море все сложнее. Вертолет завис над палубой, но сильный ветер раскачал висящий на тросе излучатель, и он раз за разом со свистом проносился над палубой. Все при этом, естественно, разбегались. С трудом удалось на этого «дикого зверя» накинуть петлю...

В результате этого и других опытов оказалось, что вертолет может работать только в тихую погоду. За весь четырехмесячный рейс он мог быть использован всего несколько раз. Естественно, что в последующих рейсах мы его вообще не брали с собой.

По-видимому, именно по этой причине на подобных научно-исследовательских судах редко используют вертолеты. Особыми, конечно, являются случаи, когда без них вообще нельзя обойтись, например в ледовой разведке.

Таким образом, проблем много, но они будут решены, ибо человечество всерьез приступило к обследованию тех богатств, что предлагает ему Мировой океан. И гигантские кладовые океанских глубин, его дна должны как можно скорее стать достоянием всего человечества.

Появление обитаемых подводных аппаратов дало громадный импульс в решении этой задачи. Любому человеку, даже весьма далекому от науки, ясно, насколько эффективнее может действовать ученый, собирая пробы со дна океана не вслепую, а с помощью роботов или манипуляторов, работой которых он руководит сам, глядя из окна своей подвижной лаборатории, сколько интереснейших и важнейших наблюдений может он сделать, когда глубочайшие впадины, таинственные хребты и долины, находящиеся глубоко под водой, предстают перед его глазами, отделенные только стеклом иллюминатора. Конечно, еще лучше, если подобные наблюдения ученый сможет провести, путешествуя по дну, вне своего судна. Совершали же подобные прогулки герои Жюль Верна. Какую радость принесло это путешествие профессору Аронаксу, мы все помним.

Ведь спускаются же глубоко под воду различные морские животные. Уже упомянутый нами американский исследователь У. Биб как-то закрепил на якоре своего батискафа морского рака и спустился с ним на глубину 800 м. Ученые считали, что эксперимент проводится впустую, так как заранее можно было предсказать результат. Мягкое тело омара должно было быть выдавлено из панциря, ибо морской рак таким образом подвергался чудовищному давлению в 80 атм. Однако фатального исхода не произошло. Напротив, к удивлению биологов, омар не только не собирался погибать, но выглядел крайне воинственно, свирепо помахивал хвостом и всем своим видом выражал презрение к недалёковидным опасениям ученых.

Но и до этого наблюдения биологам было доподлинно известно, что некоторые киты и морские львы весьма не-принужденно ныряют на глубину до тысячи и больше метров и после возвращения на поверхность чувствуют себя ничуть не хуже. Глубоководные путешествия, видимо, не производят никакого вредного действия на этих млекопитающих — животных, организм которых близок к человеческому.

Возникает естественный вопрос, решение которого может резко подвинуть вперед нашу науку. Почему омар так

благополучно перенес давление в 80 атм, а человек уже на глубине 10 м может почувствовать себя плохо, если он не пользуется специальной аппаратурой? Да и водолаз в самом современном снаряжении не может погружаться ниже определенного, видимо, лимитированного природой уровня. В свое время мы с грустью узнали о трагической гибели одного из пионеров аквалангистской техники Г. Килера, пытавшегося перейти рубеж в 300 м. Стоит вспомнить, что именно он разработал методы получения дыхательных смесей.

Разгадка в особой физиологии человека, отличающейся от физиологии омара, китов и морских львов, прекрасно переносящих глубоководные погружения.

В чем же тут дело, как помочь водолазу, любителю-аквалангисту или ученому преодолеть эту преграду? Вообще, как обстоит дело с погружением человека на глубину вне обитаемых подводных аппаратов? Прежде всего, тренированный здоровый человек может опускаться на глубину более 100 м. Это проделывает, например, француз Жак Майоль. Однако это воспринимается почти как чудо, поскольку для обычного человека ныряние на несколько метров в глубину уже проблема.

Изобретение акваланга сразу изменило положение. Идея акваланга заключается в том, что он доставляет человеку воздух для дыхания под тем давлением, под которым находится человек на глубине. Но и с аквалангом человек не может находиться сколько-нибудь долго на глубинах более 40 м. При больших глубинах возникает проблема газовой смеси, которой мы дышим и которая для нас всех именуется просто воздухом. Естественный воздух состоит, как известно, в основном из кислорода — живительная часть и азота — своеобразный балласт, как мы увидим дальше, для акванавтов и водолазов весьма опасный. Повышая давление воздуха, мы тем самым повысим давление кислорода. А этого делать нельзя. Уже сто с лишним лет тому назад французские физиологи обнаружили, что даже незначительное повышение давления кислорода в газовой смеси — немногим выше 1,7 атм (ничтожная величина по сравнению с тем, что приходится испытывать человеку при глубоководных погружениях) — скверно действует на человека. Кислород, попросту говоря, становится ядом. Многочисленные эксперименты последних лет показали, что для нормального самочувствия человека необходимо,

чтобы масса кислорода в единице объема смеси не отличалась слишком от того, что мы имеем в обычных условиях.

Отсюда ясно, что снабжать акванавта или водолаза чистым кислородом под давлением невозможно. Остальную часть давления, и притом тем большую, чем больше глубина, должен взять на себя нейтральный наполнитель дыхательной смеси, нейтральные газы.

Проще всего было бы воспользоваться наполнителем естественным — азотом привычного нам воздуха. Но природа и здесь поставила физиологические рога. Заключаются они в том, что, начиная с 40 м погружения, азот начинает действовать как наркотик. Наступает своеобразное торможение умственной деятельности, в чем-то подобное алкогольному опьянению. Это состояние недаром иногда называют «глубинным опьянением». Надо сказать, что натренированные водолазы умеют несколько задерживать наступление этого опасного состояния, которое быстро и совершенно бесследно исчезает, как только водолаз поднимается наверх и попадает в условия меньшего давления.

Существует несколько взаимоисключающих друг друга теорий наркотического действия азота. Мы их касаться не будем, лишь с прискорбием зафиксируем непреложный факт, что азот для дыхательных смесей при глубоководных погружениях не подходит.

Остаются другие нейтральные газы.

Водород сразу отпадает, поскольку образует с кислородом взрывоопасную смесь — так называемый гремучий газ. Стали пробовать инертные газы. Аргон, криптон и ксенон оказались малопригодными для составления дыхательных смесей. Больше подходит неон, но он дорого обходится. Остается солнечный газ гелий. Он-то и применяется сейчас для дыхательных смесей, предназначенных для водолазов.

Как мы уже установили, парциальное давление кислорода во избежание отравления не должно превышать его давления в обычном атмосферном воздухе, которым мы дышим. Его там 21%. На глубине 100 м, где давление достигает 10 атм, процент содержания кислорода в дыхательной смеси должен быть не выше 1,8%, на глубине 300 м — 0,65%. Глубине 500 м будет соответствовать весьма малое относительное содержание кислорода в дыхательной смеси — всего лишь 0,39%.

Гелий абсолютно безопасен в обращении. До глубин в 300 м никакого глубинного опьянения при пользовании гелиевой смесью не наступает. Таким образом, водолазы, пользуясь этой смесью, могут спокойно работать на всем протяжении континентального шельфа. Правда, на больших глубинах и гелий становится токсичным. Его действие проявляется в виде целого ряда признаков, объединенных медиками в единый нервный синдром высоких давлений. Нарушения нервной системы, входящие в этот синдром, многообразны. Некоторые из них тоже напоминают состояние пьяного после тяжелого похмелья. Первый признак — ритмическое дрожание головы, рук и ног, даже языка. Затем снижается контроль за своими действиями, резко падает острота мышления, понижается бдительность. Человек становится безразличным ко всему, что происходит вокруг. Это видно даже на его лице — неподвижном, словно застывшем. По данным зарубежной печати при экспериментах на обезьянах было установлено, что на глубинах от 700 м и более появляется возбуждение и припадки, характерные для эпилептиков.

Опять-таки физиологи никак не могут сойтись на одном объяснении этих явлений. Существует несколько вполне логичных гипотез, каждую из которых защищает большая группа ученых.

Работы ведутся, ученые лихорадочно ищут новые смеси, пытаются ввести в обиход и водород, найти методы тренировки организма и т. д. Рекордом настоящего времени по материалам зарубежной печати является длительное (до нескольких недель) пребывание человека при давлении, эквивалентном глубине 680 м.

Но можно ли считать, что акванавты и водолазы вполне безопасно могут опускаться на дно даже до глубин, не превышающих 300 м, работать там сколько положено, а затем спокойно и запросто возвращаться обратно на поверхность к живительным лучам Солнца?

Увы, это совсем не так. Если погружение водолаза можно осуществлять сравнительно быстро, то на обратном пути появляется много опасностей. Никакой быстроты тут уж быть не может. Давно уже выяснилось, какие осложнения получают при резком подъеме водолазов, когда уменьшается внешнее давление, переходя от повышенного к нормальному. На первый взгляд кажется, что ничего особенного в том нет. Но множество людей, испытавших симпто-

мы известной кессонной болезни, сопутствующей работам по прокладке метро, различных туннелей, сооружению подводных каналов, могут подтвердить, что это вовсе не шутка.

При погружении на глубину, как мы уже знаем, должно повышаться количество нейтрального газа в дыхательной смеси. Находясь под большим давлением, он проникает в живые ткани. Следствием является изрядное количество молекул газа, насыщающего все без исключения ткани.

Теперь посмотрим, что же происходит при подъеме. Внешнее давление и давление выдыхаемого газа уменьшаются. Начинается быстрое перемещение молекул газа, растворенного в тканях, через кровь в легкие, ибо все лишнее человек должен выдохнуть. Но, когда все происходит слишком быстро — резкий подъем водолаза на поверхность, — часть молекул газа задерживается в крови и в самих тканях появляется избыток газа в виде маленьких, но чрезвычайно опасных пузырьков. Вспомним, как бурлит шампанское, когда мы открываем бутылку, находившуюся под повышенным давлением. Точно такой же процесс происходит и в организме человека. Только заканчивается он порой не веселым звуком открываемой по поводу какого-то торжества бутылки шипучего напитка, а весьма плачевно, иногда оборачиваясь смертельной катастрофой. Дело в том, что пузырьки газа закупоривают кровеносные сосуды, нарушая кровообращение со всеми самыми серьезными последствиями. Такова физиологическая природа кессонной болезни.

И выход тут один — понижать давление очень медленно. Это означает, что водолаза надо поднимать медленно, так, чтобы опасные пузырьки не смогли бы образоваться. Существует и другой способ, когда снижение давления происходит в специальной барокамере, расположенной на поверхности. Водолаз попадает туда быстро, находясь в специальном «воздушном колоколе» под тем же давлением, которое было у него во время работы на глубине. А затем следует понижение давления согласно специальным схемам, довольно индивидуальным для самих водолазов.

При работах на больших глубинах возникает множество проблем и другого характера.

Прежде всего возникает вопрос, как подавать дыхательную смесь человеку, находящемуся на глубине: по воздушному шлангу или создавать ему автономное дыхание, ис-

пользуя баллон со сжатой воздушной смесью? В зависимости от рода занятий применяют тот и другой методы. Дальше идет речь о возможности наблюдать за тем, что происходит на дне. Иначе нельзя работать, вслепую ничего не сделаешь. Значит, на больших глубинах необходимо создать мощные источники света или научить водолаза обзирать обстановку с помощью ультразвуковой аппаратуры.

Поскольку на дне океана очень холодно, появились обогреваемые гидрокостюмы. Водолазы обычно спускаются под воду с борта судна или со специальных платформ. В настоящее время разработаны костюмы, связанные с кораблем специальным шлангом и кабелем для подачи электроэнергии. Облачась в снаряжение такого рода, человек может работать даже на глубине почти в 700 м.

Повсеместно используется и водолазный колокол — примитивный прототип этого устройства известен очень давно. Когда колокол погружался в воду, его подвижное легкое дно поднималось, сжимая находящийся там воздух. При небольших погружениях сжатие воздуха не очень значительно, и человек, находящийся внутри колокола, может нормально дышать и работать. Добавим, что такой «водолаз» совершенно не нуждается в защитном костюме. Современная модификация колокола, естественно, несколько иная.

Водолазы в полном снаряжении входят внутрь колокола — небольшую герметичную камеру — и задровают люк. Аппарат, в котором поддерживается обычное атмосферное давление, опускают на заданную глубину. Затем давление постепенно повышают, пока оно не достигнет уровня окружающей среды, т. е. воды в месте погружения. Тогда человек уже может покинуть свое убежище и выйти в воду.

Выполнив задание, он возвращается обратно. Колокол, где стабильно поддерживается давление, соответствующее глубине погружения, поднимают. На палубе судна его стыкуют с барокамерой, и здесь происходит декомпрессия. Поскольку выше я говорил об этом процессе лишь в общих чертах, стоит привести цифровые данные. Средняя скорость снижения давления при декомпрессии составляет 1 м глубины за час. Это означает, что для декомпрессии человека, работавшего на глубине 300 м, необходимо затратить 300 ч, т. е. 12,5 сут.

Само по себе повышенное давление при условии, что ему полностью соответствует давление дыхательной смеси, в известных пределах не влияет на жизнедеятельность человека, хотя, разумеется, все условия его существования в таких непривычных условиях резко изменяются. Многочисленные эксперименты показали, что предел погружения для человека, видимо, находится где-то около 800—1000 м. А на глубинах 250—300 м — обычная глубина для водолазов, работающих на континентальном шельфе, — никаких побочных явлений не отмечено.

Интересно, что для водолаза, работающего на больших глубинах (скажем, 200—300 м), должен быть создан микроклимат. Вместо 18—20° С, привычных нам, на глубине температура должна быть гораздо выше — по рецептам физиологов 30—32° С. Зато влажность небольшая — 40—50%. Это, конечно, весьма приблизительные данные. Как считают ученые, для каждого давления и соответственно для каждого вида дыхательной смеси надо подбирать свой собственный микроклимат. Дыхательная смесь все время находится под контролем соответствующих приборов, так как от этого зависит не только работоспособность водолаза, выполняющего весьма ответственные работы, но его здоровье, а порой и сама жизнь.

Множество водолазов весьма успешно работают в этих непривычных условиях, проводя при высоких давлениях по многу суток (в зарубежных водолазных фирмах до 100 сут за год). Конечно, это достаточно индивидуально, бывают и рекорды, но приведенные цифры относятся к случаям, когда здоровье водолазов не подвергается опасности.

Стоит заметить, что работа на таких глубинах сопряжена не только с техническими трудностями, о которых мы уже упоминали и еще поговорим подробно. Тут все трудно и непривычно. Водолазы, конечно, отбираются весьма тщательно, да еще в тех случаях, когда предстоит действовать на таких почтенных глубинах. Но здоровье здоровьем, а всякого рода заболевания никак не исключены. Скажем, обыкновенная простуда. Лечить ее приходится под водой, постепенно поднимая водолаза на поверхность, — помните, 12,5 сут для глубины 300 м.

А вдруг что-нибудь посерьезнее? Врача на глубину не доставишь, диагноз надо ставить на расстоянии по телефону, лечить — тоже по телефону, причем пока что не

очень ясно, как действуют некоторые медикаменты на таких глубинах.

Так что проблем много. Статистика показывает, что риск для человека, погружающегося в глубину океана, существенно больше, чем для человека, поднимающегося в космос. Что касается самой работы, то она в общем достаточно стереотипна, как и всякая деятельность водолазов: профилактический осмотр различного рода подводных установок и сооружений, починка и ремонт. Водолазы режут металл, соединяют различные детали, сверлят, дробят камни — одним словом, производят массу обычных для земных условий операций.

Конечно, все развивается и совершенствуется. Уже существуют и подводные лаборатории, где человек, точнее говоря, исследовательская или производственная группа может длительное время работать на разных глубинах. Однако конструирование и эксплуатация такого рода подводных комбинатов чрезвычайно дороги. Поэтому их еще очень мало.

Но в перспективе, может быть недалеко, такие лаборатории и подводные комбинаты наверняка появятся, и в больших количествах. Иначе не может быть!

Мы все время говорили о специальном снаряжении, которое необходимо для водолазов. Но ведь даже без всякого снаряжения подводным промыслом люди занимаются давным-давно — сотни, если не тысячи лет. Свидетельство тому — жемчуг, которым женщины украшали себя еще в древнем мире. Кто-то ведь должен был добывать его из-под воды, причем с порядочных глубин.

Среди спортсменов-любителей и исследователей океана немало людей, буквально фанатически преданных своему делу, изыскивающих любые возможности как можно глубже проникнуть в океан. К таким людям относится уже упомянутый выше французский естествоиспытатель Жак Майоль. Специальной тренировкой, изучая дыхание йогов и поведение многих морских животных и, так сказать, взяв на вооружение их опыт, он добился того, что на целых 5 мин может задерживать дыхание. Еще в 1971 г. он установил свой первый рекорд — спустился на 70 м под воду без дыхательного аппарата. Через 10 лет рекорд достиг уже 101 м. Просто в бассейне он просидел под водой 5 мин.

Разумеется, Майоль не ставил себе целью установить таким образом рекорд глубоководного погружения. Он хотел уточнить, каковы пределы человеческих возможностей, что может сделать человек в царстве Нептуна. Эти исследования имеют научный и практический смысл. Каков предел погружения водолазов в специальном снаряжении, пока никто не знает. Выше указывалось, что это, по-видимому, 800—1000 м. Это предел при использовании газовой смеси. А что, если вместо этого использовать... воду?

Это звучит странно, но — все-таки. Почему бы человеку не превратиться в... рыбу! Рыбы ведь, как известно, дышат, причем кислород они добывают прямо из воды; он поступает в кровь, а «выдыхаемая» углекислота — в воду.

Морская вода для дыхания земных млекопитающих не подходит по ряду причин. Но, может быть, химики создадут особый раствор для дыхания, раствор, похожий на кровь. Такого рода опыты в конце 50-х годов проводили голландские физиологи. В экспериментах легкие собаки заполняли раствором, напоминающим кровь. И подопытная собака «дышала»!

Надо сразу сказать, что эти эксперименты преследовали не океанологические, а чисто медицинские цели. Речь шла о том, чтобы разработать лечебные процедуры, при которых легкие больного можно было бы промывать специальным раствором.

Для сколько-нибудь длительного пребывания человека под водой подобная система явно не подходит.

Может быть, поможет хирургия? Ведь врастил замечательный хирург, описанный советским писателем-фантастом А. Беляевым, жабры индейскому мальчику. Как вы, наверняка, помните, Ихтиандр в воде чувствовал себя как рыба. Так нельзя ли на современном уровне медицины подумать о чем-нибудь подобном?

Но если бы даже было возможно... то зачем? После такой операции человек сможет существовать только под водой. Сколько угодно, любое время, но лишь там. На поверхности он дышать уже не сможет. Так что появится своего рода Жак Майоль наоборот. Плавает под водой, потом на несколько минут появится на поверхности, посмотрит с тоской на голубое небо, полюбуется солнцем, деревьями и всякого рода деталями сухопутного пейзажа и снова погрузится в воды океана.

Нет, это слишком большая плата.

Наши потомки наверняка не захотят превратиться в рыб. Под водой бывать надо, под водой бывать придется. Все чаще и чаще, все дольше и дольше. Наверняка возникнут и подводные города, и подводные плантации, и заводы по разработке самых глубинных ископаемых. Все будет, но человек останется жителем суши.

Ибо главное все-таки — Земля, ее поля и пашни, ее леса и реки, ее города и поселки, ее голубое небо. Главное — Земля. И для нее человек уходит под воду, чтобы жизнь на Земле была лучше. Все для Земли — таков лозунг и нашей «водной» науки!

Глава седьмая

ПРАЗДНИКИ В БУДНЯХ

*Придается все,
Лишь тебе не дано примелькаться...*

Б. ПАСТЕРНАК

Я уже рассказывал о двух открытиях, участником которых мне посчастливилось стать. Теперь мне хочется познакомить читателя подробнее с буднями и праздниками нашей науки. Я посвящаю эти страницы своим личным воспоминаниям. Сказанное от «первого лица», пережитое тобой самим, как мне кажется, является хорошим свидетелем истины.

Итак, я много раз видел моря и океаны не как турист или пассажир, а как участник океанологических исследований. Все экспедиции, в которых я участвовал, остались в памяти, особенно первая, когда я впервые окунулся в непривычную до той поры атмосферу, где были смешаны и романтика путешествий, и сугубо прозаическая, обыденная жизнь лабораторий своеобразного плавающего научно-исследовательского института. Это очень интересный и необычный симбиоз, каждая часть которого при всей своей специфике не может существовать без другой. Правда, надо сказать, что даже самая рутинная предварительная работа на берегу, а именно планирование предстоящих экспериментов, определение состава аппаратуры и оборудования и т. д., уже исключительно волнующая процедура.

Как поставить перед природой нужный вопрос, чтобы ответ был по возможности однозначным? Какие эксперименты надо провести — их выбор может заранее обречь на удачу или неудачу всю экспедицию. Следует помнить, что каждый эксперимент одновременно и уникальный, и стереотипный. Нечего и говорить о том, с каким интересом и несомненным волнением анализируются ответы океана, переданные многочисленными приборами.

Океанология прекрасна тем, что каждую экспедицию, с какими бы рутинными задачами она ни была организована, все равно можно считать путешествием. Даже посещая районы Мирового океана, где ты уже много раз

побывал, все равно находишь что-то новое — настолько многогранен и неповторим голубой континент!

«Придается все, лишь тебе не дано примелькаться...» — вот как бы я точнее всего выразил свое отношение к океану, используя слова поэта Б. Пастернака.

И все же хочется рассказать о буднях, дабы читатель получил еще одно представление из первых рук о нашей, в общем не такой уж легкой профессии. Поэтому речь пойдет не о прелестях морского пейзажа, не о коралловых островах, пленительных лагунах, экзотических портах Юга и суровых берегах, покрытых льдом на подступах к Арктике и Антарктиде, не о встречах с китами, дельфинами или диковинными рыбами.

Кое-что о специфике работы ученых в море я рассказывал в гл. 3, где речь шла, в частности, об экспедиции «Полигон-70», открывшей гигантские вихри в океане. Конечно, не в каждой экспедиции делаются такие значительные открытия, но каждая приносит материал, из которого постепенно составляются новые представления об океане и его многогранных особенностях.

Первая моя океанская экспедиция состоялась в 1961 г. на корабле «Сергей Вавилов». Конечно, за это время многое стерлось в памяти, да и восприятие того сравнительно молодого океанолога, которым я был тогда, резко отличается от моего нынешнего отношения к работе на исследовательском корабле, когда многое вошло в жизненную привычку, ибо повторялось уже много раз.

Кто-то из полярных исследователей заметил, что первая зимовка, как и первая любовь, не забывается. Наверное, это можно отнести и к морским научным путешествиям.

Что же все-таки осталось в памяти от тех дней?

Само по себе море для меня уже не представляло, так сказать, новой среды. Подводной акустикой я занимался с 1942 г. и с этого времени до 1961 г. участвовал во многих морских экспедициях, в основном на Черном море. Но это был все же не океан.

Корабли, на которых в то время проводилась работа, были случайными, мало приспособленными для серьезных исследований. Вот почему у нас в Акустическом институте АН СССР в середине 50-х годов появилась «голубая» мечта создать два корабля, специально приспособленных для акустических исследований в океане. Два потому, что

для «прозвучивания» океана один корабль должен излучать звуковые волны, а другой — принимать эти волны, возможно на достаточно больших расстояниях.

Почти любую мечту можно претворить в действительность, если этого очень хотеть и быть настойчивым. Так получилось и в этом случае. За дело взялся весь основной состав лаборатории акустических методов исследования океана (ЛАМИО) института, которой я руководил, будучи одновременно и директором института. Душой и движущей «пружиной» всего дела стал мой заместитель по лаборатории И. Е. Михальцев — талантливый инженер и способный организатор.

Такие корабли были созданы на основе двух «сухогрузов» — торговых кораблей финской постройки, их называли «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев» в честь двух выдающихся русских физиков. Вышли они в свой первый атлантический рейс в декабре 1960 г. Из-за занятости другими делами института я смог присоединиться к экспедиции только во время ее захода в Гану (Западная Африка) и вынужден был покинуть ее в Буэнос-Айресе. Таким образом, в этой экспедиции мне представилась возможность участвовать в ограниченном количестве работ при пересечении Атлантики.

Однако в следующей атлантической экспедиции я смог вкусить будни и праздники работ в океане полностью.

Исследовательские корабли «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев» были для того времени уникальными. Каждый корабль был не набор отдельных лабораторий, а единая система. Вся информация, получаемая во время любого эксперимента, стекалась в центральную аппаратную, где регистрировалась и анализировалась. Это был новый подход в идеологии работы научно-исследовательских судов. Также впервые для научно-исследовательских судов на борту «Сергея Вавилова» была установлена электронная вычислительная машина. Системы кондиционирования в лабораториях и в жилых помещениях на обоих кораблях создавали хорошие условия для работы как в тропиках, так и за полярным кругом.

Я до сих пор, признаюсь, с волнением ожидаю очередного выхода в море как ученый, мечтающий открыть нечто новое, и как человек, для которого каждое свидание с морем — чудесный миг!

Но тогда с каким удовольствием воспринималась особая атмосфера экспедиции, не сравнимая ни с чем, которую трудно даже описать. Все участники экспедиции были охвачены энтузиазмом и работали, ни о сне, ни об отдыхе не думая.

Каждый ставил океану свои вопросы и расшифровывал его ответы.

Один отряд изучал отражение звука дном океана. Прежде всего, от какого дна коэффициент отражения звука больше — от скалистого или илистого? Оказалось, как это ни странно, что от илистого. Почему? Вскоре была найдена разгадка. Скалистое дно очень неровное и сильно рассеивает звук в стороны. Илистое же дно хоть и мягкое, но зато сравнительно ровное и хорошо отражает звук. Были найдены и интересные численные закономерности.

Другой отряд исследовал, как спадает сила звука с расстоянием — плавно или есть какие-то всплески? Оказалось, что через каждые 60—65 км появляются сравнительно узкие зоны существенно повышенной силы звука. Изучение структуры этих зон дало совершенно необычные результаты.

Третий отряд интересовался обитателями звукорассеивающих слоев, поднимающихся к ночи в верхние слои океана, а с рассветом снова опускающихся вниз. И так далее.

Результаты всех этих работ позднее были обобщены в большой коллективной монографии «Акустика океана», вышедшей в издательстве «Наука» в 1974 г. и через несколько лет удостоенной Государственной премии СССР.

И все в океане не просто! Многим кажется, что наши экспедиции — своего рода увеселительные прогулки, поскольку современные суда полностью безопасны, хорошо защищены от гнева океанских волн и т. д. На самом деле это не так. Кроме того, что эта тяжелая, порой чудовищно изнурительная работа, она иногда бывает сопряжена с самой реальной опасностью для здоровья и даже для жизни. Работа в океане безопасна лишь в том случае, если относиться к нему очень серьезно. В противном случае может случиться непоправимое. Об одном случае мне и хочется рассказать.

Мы плавали тогда на известном исследовательском судне «Дмитрий Менделеев» в Индийском океане. Подошли к небольшому прелестному острову, расположенному возле самого экватора. Поистине райский уголок — лагуна, ок-

руженная коралловыми рифами, безоблачное небо, тишайшее море.

У нас на борту были сотрудники Института биоорганической химии Дальневосточного научного центра АН СССР. Погружались они во Владивостоке без меня — по техническим причинам я, руководивший экспедицией, присоединился к ней только в Австралии.

Когда я стал осматривать корабль, то обнаружил на борту небольшую металлическую лодку, из тех, что используются на реках. Я недоуменно спросил капитана: «Как такая лодка попала на морской корабль и что с ней собираются делать?» Капитан ответил, что лодка принадлежит ученым-дальневосточникам. Они заявили, что собираются использовать ее при работе в спокойных лагунах. И действительно, в лагуне этого тихого острова биологи — их было трое — решили использовать свою уютную на вид лодочку и пособирать биологические коллекции.

Утром их отвезли на катере прямо к месту работы, причем появился приказ капитана, разрешавший действовать только в лагуне. Приказ все прочли, и все расписались. Лодку отвели на буксире, оставили биологов в тиши лагуны и занялись каждый своим делом, благо их у экипажа и у научных работников хватало. Вечером капитан отправил катер, чтобы забрать биологов. Ночь в этих широтах такая, что не располагает к одинокому существованию. Темно и прохладно, невзирая на дневную тропическую жару. Но катер не обнаружил ни лодки, ни биологов.

Как это всегда бывает в экваториальных областях, быстро стемнело. И мы в кромешной темноте начали поиск. Часов в восемь вечера мы обнаружили одного из биологов, да и то случайно. Он плавал в маске, и блики от стекла под лучами нашего прожектора помогли его спасти. Это оказалось вовремя, ибо биолог был в тяжелом состоянии. Он был совершенно без сил, так как даже опытному пловцу плавать в открытом океане, да еще в кромешной тьме отнюдь не просто, однако все-таки сумел поведать о том, что же с ними случилось.

Поначалу они работали, как им и было приказано опытными людьми, в лагуне. Там им показалось неинтересно. Посему они на своей уютной лодчонке решили выйти из укрытия, но держаться ветровой тени острова, т. е. идти с подветренной стороны, где нет ни ветра, ни волны. Так

они и сделали, но, увлекшись наблюдениями и сбором лекций, не заметили, что течение вынесло их в открытый океан. Появились волны. Подвесной мотор залило водой, и лодка стала неу управляемой. Вскоре она перевернулась, и неудачники оказались в воде. Здесь они совершили вторую ошибку. Вместо того чтобы держаться всем вместе около лодки, они поплыли в разные стороны.

Через полтора часа мы обнаружили и второго пловца, опять-таки по бликам его спасительных очков. Третьего, руководителя группы, нашли уже утром, когда полностью рассвело. Нашли уже мертвого. Причем он не утонул, ибо плавал на спасательном средстве, которым была оборудована лодка, — ее пластмассовое сидение хорошо держалось на воде. Он просто замерз, хотя температура воды была отнюдь не полярной, а составляла 22°C . Но провести столько времени в воде оказалось вполне достаточно для смертельного исхода. Думаю, что тут сдала и психика — бурный океан и мрачная, темная ночь.

Это происшествие надолго осталось в памяти всех участников плавания как предупреждение, как лишнее доказательство, что шутить с океаном не стоит.

После столь печального эпизода я перейду в двум последним экспедициям, где, к счастью, ничего подобного не случилось.

Летом 1982 г. мы отплыли из Калининграда на одном из самых совершенных научно-исследовательских кораблей, носящем имя бывшего президента Академии наук СССР Мстислава Келдыша — ученого, много сделавшего для развития отечественной науки, в частности математики, а также для освоения космического пространства.

Выйдя из порта, мы не поплы проторенным путем в Атлантику, где планировались основные наши исследования, а зашли на несколько дней в порт Ханко (Финляндия). Дело в том, что наш корабль был построен финской фирмой «Холминг». В конце первого рейса (наш был вторым) на корабле отказала гидрологическая лебедка — один из важнейших компонентов оборудования современного океанологического судна, — с помощью которой можно опускать различные приборы на любую глубину, а также брать пробы грунта. Понятно, что столь важное устройство требовало особого внимания.

Фирма быстро справилась с ремонтом, и мы вышли в Балтийское море. Экспедиция была целенаправленной,

в ней принимали участие в основном акустики Института океанологии АН СССР. Поэтому неудивительно, что прежде всего мы занялись изучением подводных шумов самого различного происхождения. Каждый выход ученых в море всегда сопряжен с чем-то новым — будь то оборудование, приборы или методы измерений. На этот раз мы разработали и применили новые системы регистрации подводных шумов.

Обычно океанские шумы регистрируются специальными гидрофонами (подводными микрофонами), опущенными с палубы корабля на кабеле, причем на самом исследовательском судне устанавливается строжайший режим тишины, что, конечно, совершенно необходимо.

Новостью было то, что в этом рейсе мы использовали донные автономные системы записи звуковых волн. Аппаратура опускалась на дно моря, а корабль удалялся на солидное расстояние, чтобы своими собственными шумами — различные механизмы, приборы, люди и т. д. — не создавать лишнего акустического фона.

Ученые записывали все звуки, которые только могут возникнуть в океане: его собственные шумы, вызванные главным образом его беспокойной поверхностью, «крики» морских животных, грохот взрывов, используемых другими кораблями для прозвучивания дна, шумы их двигателей и многое другое. Я уже говорил, что звуковая палитра океана чрезвычайно богата.

Затем корабль возвращался к месту нахождения донной станции, которую поднимали на борт, и начиналась обработка полученных результатов.

Полный анализ экспериментальных записей — задача отнюдь не тривиальная, весьма кропотливая, отнимающая много времени и сил. Для этого мы использовали время переходов из одного района наблюдений в другой. Кроме того, многие месяцы после возвращения из экспедиции ученые уже на суше, в своих лабораториях продолжают изучать результаты океанологических исследований. Так издавна действуют земные геологи, у которых обработка полученных результатов как раз занимает всю зиму — до начала следующего «полевого» сезона. В подобные же условия поставлены и мы — океанологи.

Другим направлением нашей работы было изучение рассеяния звуковых волн. Такое рассеяние происходит прежде всего на дне океана, на его поверхности и на зву-

корассеивающих слоях в водной толще. Изучая рассеяние звука, получают данные о рельефе дна, о скоплении рыб, о наличии особых слоев в толще океанских вод и многое другое.

И для этих исследований мы имели новую, современную аппаратуру, разработанную самими участниками экспедиции. Излучающая и принимающая звук аппаратура была объединена в один комплекс, способный опускаться на любые глубины.

Третья группа ученых исследовала возможности изучения дна с помощью гидролокатора бокового обзора, напоминающего по принципу своей работы излучающий вниз и в стороны эхолот.

Группа ученых из Таганрогского радиотехнического института испытывала разработанный в этом учебном заведении весьма оригинальный прибор — так называемый параметрический излучатель, с помощью которого можно получать узконаправленные звуковые пучки. Последние могут служить своеобразными щупами, которыми обследуются дно океана, особенности его рельефа, а также различные слои в толще воды.

Несколько слов о самом корабле. Как уже говорилось, в отличие от всех наших предыдущих «плавающих лабораторий» научно-исследовательское судно «Академик Мстислав Келдыш» было сразу задумано и сконструировано как исследовательский корабль, поэтому оно наиболее совершенно и обладает многими преимуществами перед другими. Ученые чувствуют себя на этом судне как истинные хозяева, ибо все предусмотрено для их нужд. Большая часть палубы с правого борта образует пространство для работы. Здесь же располагаются различные лебедки для опускания приборов в толщу океанских вод.

Особенно порадовал нас вычислительный центр, где были компактные современные ЭВМ, управляющие ходом экспериментов, и все средства быстрой обработки полученных результатов, что давало возможность сразу же определить, какие измерения следует повторить, на что обратить особое внимание. Наконец, мы получили в свое распоряжение эффективную систему зондирования океана. Тут был и набор всевозможных зондов, эхолотов, гидролокатор, способный посылать звуковые лучи под любым углом к горизонтальной поверхности, и многое другое.

В Балтийском море глубины небольшие, и можно было спокойно апробировать новые системы наблюдения. Оно послужило для нас своеобразным полигоном, где мы отладили измерительную технику.

Затем корабль направился в Атлантический океан и началась работа на глубинах до 5 км. Особое внимание мы уделили изучению дна. Правда, оно обследовано здесь гораздо лучше, чем в других регионах Мирового океана, но, как и полагается, новые методы исследования дали и новые результаты, уточнили результаты старых наблюдений.

Сложностей было много. Прежде всего отметим, что в Атлантике труднее, чем где бы то ни было, проводить акустические измерения — слишком уж тут многолюдно! В любое время дня и ночи, зимой и летом, осенью и весной, при любой погоде тысячи различных кораблей бороздят воды, причем шумы, ими издаваемые, порой распространяются на сотни и даже тысячи километров. И хотя горизонт был чист и казалось, что мы в океане были совсем одни, наши чувствительные приборы исправно докладывали нам обо всем, что происходило на многие сотни километров вокруг...

Так шли дни, недели...

Выполнив эксперименты, запланированные в Атлантике, мы ушли в Средиземное море — исключительно интересный объект для акустиков. Здесь совершенно уникальные условия распространения звука. На глубине в несколько сотен метров в Средиземном море расположен подводный звуковой канал, а ниже его, до самого дна скорость звука равномерно увеличивается. Это объясняет интересные особенности в пространственном распределении звуковой энергии.

Акустические измерения мы продолжили и на Черном море, куда перешли из Средиземного. Здесь тоже имеется своя, многим знакомая специфика. На глубине 200 м и ниже до самого дна море совершенно безжизненно — там залегают слои, насыщенные сероводородом. Своеобразно в отношении акустики и дно Черного моря, что, естественно, было чрезвычайно важно для исследований, которыми мы занимались.

Разумеется, через каждые 25—30 дней мы заходили в порты, где заправлялись водой, продовольствием и горючим. Так, мы побывали в Амстердаме, Танжере, Чивитавеккье, маленьком итальянском городке, памятном всем с

тех пор, как здесь служил французским консулом знаменитый писатель Анри Бейль — Стендаль.

Закончилась экспедиция в Новороссийске, куда мы прибыли после многомесячного плавания, получив очень ценные для нас материалы по многим разделам акустики океана.

НИС «Академик Мстислав Келдыш» очень подходит для акустических исследований благодаря низкому уровню собственных шумов. Поэтому наш следующий рейс мы запланировали на этом же корабле. Это оказался шестой его рейс. В течение третьего, четвертого и пятого рейсов другие ученые Института океанологии также получили ряд интереснейших данных. Корабль успел побывать в антарктических водах, где вместе с двумя другими кораблями АН СССР исследовал динамику вод мощного циркумполярного течения, огибающего самый южный континент земного шара. Очень интересные данные также были получены в результате наблюдений синоптических вихрей Южного океана.

Океанологи побывали и в не очень уютных водах Северной Атлантики, где в районе, близком к Исландии, изучали подводные рифтовые зоны океана. Геологи могли наблюдать процессы, сопровождающие образование нового дна, а вблизи зон выхода горячих вод из расщелин биологи обнаружили богатую и красочную жизнь.

Итак, о нашей экспедиции в шестом рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Вышли мы из Калининграда в пятницу 13 мая 1983 г., чем весьма смутили моряков, до сих пор недоверчиво относящихся и к этому числу, и к этому дню недели. Но откладывать выход нам было нельзя, 15 мая мы должны были быть в Гамбурге. Там планировалось мероприятие, в котором участвовал наш корабль и которое имело прямое отношение к укреплению международного сотрудничества ученых.

Дело в том, что в Гамбурге из фонда, созданного и руководимого одним из влиятельных граждан этого города А. Тёпфером, ежегодно присуждается одному из выдающихся советских ученых премия, названная именем А. П. Карпинского — академика, первого президента Академии наук СССР после Октябрьской революции. На этот раз заседание кураториума (жюри), присуждавшего премию за 1982 г., планировалось провести на борту нашего

корабля, тем более что я был одним из членов этого жюри.

Все прошло согласно плану. Премия была присуждена нашему известному специалисту в области химической физики В. И. Гольданскому.

После этого была организована поездка на остров Гельголанд. Это очень интересный, хотя и небольшой остров в Балтийском море. На высоких отвесных красных скалах расположены многочисленные птичьи базары. Кстати, эти скалы и птичьи базары защищены от воздействия морских волн специальными каменными стенками. Во время войны все на острове было разрушено авиацией союзников. Сейчас это истинный туристский рай.

Кроме того, на острове имеются морская биологическая и орнитологическая станции. Кстати, день нашего приезда был ознаменован сенсацией. На остров прилетел соловей и пел и вечером, и утром, словно хотел, чтобы мы вспоминали родину.

Морской биологической станции скоро исполнится 100 лет — она одна из старейших в Европе и хорошо оборудована. В распоряжении научных сотрудников имеется специальная установка, где создается круговорот морской воды при различных температурах. На такой установке очень удобно, в частности, изучать развитие первичной продукции океана в зависимости от ряда внешних условий.

Среди научных работ мы отметили исследования по борьбе с нефтяным загрязнением океана. Изучаются бактерии, которые могут питаться нефтью и тем самым очищать море. Надо сказать, что эти работы очень актуальны — Немецкая бухта, где расположен остров Гельголанд и устье реки Эльбы, недаром именуется клоакой Северного моря.

Интересные результаты дало также изучение флуоресцирующих бактерий, которые светятся под механическим воздействием океанских вод.

Стоит сказать еще и о самых модных веяниях биологии моря, которые нашли свое отражение в деятельности морской станции. Научные сотрудники исследуют специфические вещества, выделяемые морскими животными, — так называемые феромоны. Они также присущи наземным животным и человеку, причем некоторые ученые считают, что они играют немалую роль во взаимоотношениях людей,

так как у человека феромоны, выделяемые его собеседником, могут создать антипатию или, наоборот, приязнь. Один из научных сотрудников, занимающихся этой проблемой, шутя заметил, что женщинам не надо употреблять духов, так как тем самым забивается эффект их собственных феромонов.

В общем мы провели на острове Гельголанд много приятных часов, тем более что это были последние часы на суше перед отправлением в длительный рейс.

19 мая вечером мы отошли от стенки Гамбургского порта и началось наше плавание сначала по Эльбе, а потом и по Северному морю. Предлагаю читателю записи из своего дневника.

20 мая

...Погода великолепная. Удивительно спокойное море. Почти нет волн. Ясно. Прошли Ла-Манш. Пока что мы в зоне интенсивного движения. Все время в поле видимости различные корабли, танкеры, контейнеровозы и т. д.

Вчера вечером мы с начальником экспедиции Ю. Ю. Житковским собрали руководящих работников экспедиции и обсудили с ними план работы. Попросили составить подробные планы деятельности научных отрядов...

21 мая

...Идем по сплошной нефтяной пленке. Просто жалко смотреть на море...

Нефтяная пленка простирается на 10—15 км. Кроме того, на поверхности воды плавают какие-то водоросли, доски от разбитых ящиков, консервные банки и непременно полиэтиленовые пакеты. И все время на горизонте видны корабли. Разность скоростей небольшая, идут они практически в одном и том же направлении, поэтому маячат перед глазами целые сутки.

...Беседуем с начальниками отрядов. Начальник отряда, составленного из сотрудников одного из ведомственных НИИ, доктор наук Т. рассказал о нескольких планируемых экспериментах, для которых ими была создана и соответствующая аппаратура. Первый эксперимент был раскритикован начисто. Они предполагали измерять шумы океана устройством, спущенным просто с борта корабля на кабеле, когда корабль лежит в дрейфе. Однако на тех расстояниях, которые ими предусмотрены, шумы корабля, даже находящегося в дрейфе, целиком забьют шумы самого моря.

Другая система, разработанная ими, гораздо перспективнее. Это донная станция с гибкой вертикальной антенной, составленной из большого числа приемников звука — гидрофонов. Антенна позволит измерять интенсивность шумов, приходящих с различных направлений в вертикальной плоскости, что в целом ряде случаев чрезвычайно важно. Правда, тут тоже имеются свои трудности. Антенна никогда не будет располагаться строго вертикально — мешает течение. А степень изгиба антенны практически

определить невозможно, ибо методы контроля схемой не предусмотрены.

Ну, посмотрим, что получится.

22 мая

...Вчера поздно вечером вышли в Бискайский залив. И сразу же почувствовалось дыхание океана. Задул сильный ветер.

Но волны пока еще нет...

Продолжаем обсуждать планы работы отдельных отрядов. Сегодня на повестке дня исключительно интересная проблема.

Существует международный проект «Дюман», требующий помощи акустиков. Речь идет о фиксировании космических частиц — нейтрино с помощью гравдиозных систем акустических приемников, расположенных в виде решетки на больших глубинах Мирового океана. В толще вод нейтрино мирового пространства создают ливень различных элементарных частиц. Каждый такой ливень можно фиксировать по суммарному акустическому сигналу — импульсу. Его-то и регистрируют гидрофоны решетки.

Проект имеет весьма важное значение, так как таким образом физики надеются определить число нейтрино в нашей Вселенной, судьба которой зависит от того, каким это число окажется. Согласно существующим теориям, а, видимо, они вполне достоверные, при определенном числе этих «неуловимых» частиц Вселенная будет расширяться, при большем через некоторое время начнется сжатие. И по прошествии времени, достаточно большого, чтобы нам не грустить об этой возможности, Вселенная снова превратится в точку, какой она была при ее рождении примерно 19 млрд. лет тому назад.

Большой интерес представляет регистрация в толще океана других частиц — мюонов. Это продукты распада других, более энергичных частиц, пришедших к нам из космоса. Измерительная задача отнюдь не элементарная. Дело опять-таки в собственных шумах океана, который, как известно, не является самой идеальной акустической безфоновой системой. Импульсы от ядерных процессов ожидаются на частотах 10—30 кГц. Надо выяснить, каковы на этих частотах собственные шумы океана, не превосходят ли они интересующие нас импульсы.

Еще одна проблема обсуждалась сегодня на первом научном семинаре экспедиции. Доктор наук Р. докладывал о постановке исследовательских работ по изучению морского волнения. Это явление изучается давно. Однако до сих пор не существует сколько-нибудь убедительной теории развития волнения под действием ветра. Пока еще не разработаны и надежные методы его регистрации.

Связано это, во-первых, с тем, что измерения приходится вести с борта корабля, который сам качается на волнах. Во-вторых, исключительно сложным оказалось само явление. Ведь волны разных масштабов и различного происхождения весьма сложным образом взаимодействуют друг с другом. Разделить волны чрезвычайно трудно. Да тут еще сказываются приповерхностные течения и внутренние волны...

Сложностей много.

...Бискайский залив дает о себе знать. К вечеру разыгрался небольшой шторм. Но корабль хорошо выдерживает испытание.

Несмотря на 7 баллов, качка почти не чувствуется — сказываются специальные устройства — успокоители качки.

Кстати, о качке. Мы в экспедициях часто смеемся, когда читаем старые «морские романы», где рассказывается о том, что моряки, проводившие на море какие-нибудь 10—15 дней, встречаются с сушей весьма комическим образом. Земля под ними буквально качается.

Ничего подобного мы не ощущали даже после 35-дневных походов. Наоборот, физически всегда приятна встреча с берегом...

23 мая

...Находимся на траверсе мыса Финистерра — крайняя северо-западная оконечность Португалии. Находимся километрах в 400 от берега. И вот неожиданность — на палубе внезапно появился почтовый голубь. На лапке у него кольцо и легкий чехол для записки. Голубь провел на палубе несколько дней. Прилетел он, по-видимому, из Португалии.

Но куда летит? На Азорские острова или в Америку? Этого мы так и не узнали.

Мы идем на юго-запад в направлении банки Грейт-Метеор. Хотим там на мелководье провести небольшие наладочные опыты...

Пока что посреди открытого океана легли на несколько часов в дрейф. Погода неплохая. Ветер около 5 баллов.

Судно устойчиво лежит в дрейфе. Началась работа. Все занимается делом, готовят будущие эксперименты.

С. проверяет свою установку для исследования рассеяния звука, именуемую «яйцом».

Р. палаживает струнный датчик измерителя волнения. Наладка идет плохо. Когда груз на конце струны небольшой, струна не строго вертикальна. А при большом грузе она может просто оборваться.

К. собирает свою знаменитую «раму». Об этом хочется рассказать подробнее.

Начну издалека. Несколько лет тому назад сотрудники Акустического института, среди которых был и Сева К., который теперь работает в Институте океанологии АН СССР, обнаружили любопытный факт. Они показали, что амплитуда звука, отраженного от дна океана, меняется, если корабль, где находится излучатель звука, сам перемещается. Самое удивительное было то, что эффект появлялся при весьма небольших перемещениях корабля, всего лишь на несколько сантиметров. Отсюда родилась идея так называемого корреляционного лага — измерителя скорости, удобного и обладающего большой точностью. Идея была апробирована в одной из экспедиций и полностью оправдала себя.

После этого родилась другая идея. Что, если вместо одного гидрофона взять много, образовав из них решетку в горизонтальной плоскости. Каждый гидрофон будет принимать силу звука, отличную от соседнего. Возникает «звуковой рельеф», который по-своему будет отражать рельеф дна океана. Мы получим нечто вроде голограммы, расшифровав которую, узнаем многие характеристики дна.

В своем первом варианте это устройство было уже апробировано. Теперь «рама» усовершенствована, и мы собираемся осуществить с ее помощью интересные наблюдения...

25 мая

...Находимся на широте около 36° с. ш. Погода хорошая, устойчивая, хотя на поверхности океана небольшая зыбь. Утром на горизонте появился корабль и исчез. Это малолюдные районы Атлантики. Пустынно, да и живности никакой не видно.

Вчера радисты привяли SOS от французского корабля, потерпевшего аварию километрах в 400 от нас. Но мы ничем помочь не могли...

Первая крупная неприятность. Сотрудники отряда Т. испытывали свои подводные станции-сферы на герметичность, опуская их на тросе на большую глубину. Первое испытание прошло нормально. А вот вторая сфера при подъеме оборвалась и затонула. Насколько это обидно, видно из того, что в отряде подобных сфер всего лишь три. А экспедиция только начинается. Одновременно со станцией на дно ушел дефицитный трос длиной целых 4 км. Ощутимая потеря...

26 мая

...Океан совершенно спокоен. Второй день полный штиль. Море гладкое, как пруд. Но все это неудивительно, так как мы идем знаменитыми тридцатыми широтами Северного полушария.

Такая погода здесь типична, что в свое время было истинным бедствием для парусников. Не случайно эти широты получили название «конских». Произошло оно от торговцев лошадьми. Когда корабли, перевозившие животных, попадали в область подобного штиля, то лошади, не выдерживавшие столь долгой дороги, погибали. Их выбрасывали за борт. Отсюда и название.

Сегодня мы разобрались в причинах гибели станции Т., точнее говоря, ее сферической оболочки, проведя своего рода следственный эксперимент.

Сотрудник, стоявший у лебедки, опускал сферу со слишком большой скоростью. Сфера не успевала тонуть, и на тросе появлялись так называемые «колышки». Он скручивался. Потом при подъеме напряжение в этих местах оказалось чрезмерным, и трос оборвался...

27 мая

...Прибыли на банку Грейт-Метеор, удивительное геологическое образование, по-видимому вулканического происхождения. Раньше здесь возвышалась гора. Но океан поработал на славу! Вместо обычной вершины под поверхностью воды на глубине около 300 м простирается почти на 90 км плоская поверхность.

Здесь мы делали пробные постановки на дно одной из станций отряда Т., а также проводили испытания «яйца», созданного в отряде С.

Но нам снова не везет. Просто несчастье за несчастьем.

Станция самопроизвольно всплыла гораздо раньше намеченного срока. Хорошо, что мы своевременно ее заметили и подняли на борт.

Крупной неприятностью была болезнь второго штурмана. У него оказалась желтуха, вследствие чего больного надо срочно сдать на попутный советский пароход, идущий на родную землю. И хорошо еще, если болезнь, весьма заразная, ограничится лишь одной жертвой...

28 мая

...Ночью хорошо поработала группа С. Они фотографировали дно и одновременно в том же месте исследовали рассеяние звука под разными углами. Редкий случай, когда можно сравнить данные двух столь различных наблюдений.

Что касается самого дна, то оно оказалось очень ровным, сложенным из мельчайшего песка, что и подтвердили пробы, сделанные обычным черпаком.

В литературе — дно в этих местах изучали английские ученые — имеются указания другого рода. Английские океанологи обнаружили на дне в большом количестве обломочный материал вулканического происхождения. По-видимому, дело в том, что места исследований не совсем одни и те же.

Особый интерес вызвали фотографии. Большинство из них, правда, достаточно стандартны — морские звезды, небольшие канавки — следы перемещения морских червей и т. д.

Но на одном кадре мы обнаружили большой моток проволоки или троса, покоившегося на дне океана. Вот это называется типичным антропогенным (происходящим от человека) загрязнением.

29 мая

...Сегодня корабль ложился в дрейф на несколько часов. Были испытаны две исследовательские системы. Одна предназначена для исследования тонкой структуры вод океана. Второй была уже упомянутая мною «рама».

Испытания прошли вполне успешно...

30 мая

...Появились саргассовы водоросли. Увидели первую летающую рыбку — приметы тропических морей...

Идут эксперименты. Снова получили подводные фотографии, подкрепленные одновременными измерениями рассеяния звука от грунта. И опять полное совпадение этих перекрестных данных с данными банальной драги. Никаких скал, никаких валунов — ровное дно, покрытое мелкодисперсным слоем породы типа мелкого песка...

1 июня

...На судне ЧП. Ночью сделана операция аппендицита. Подобные случаи очень любят авторы беллетристических повествований о морских путешествиях. Но на практике это мало приятный инцидент. Закончился он вполне благополучно, хотя операция, продолжавшаяся около трех часов, была достаточно сложной...

2 июня

...Сегодня Р. и В. показали мне созданный ими элементарный, но весьма оригинальный и очень полезный прибор, измеряющий вертикальное ускорение корабля во время качки. Состоит он из ведра воды с поплавком и вертикальной стеклянной трубки. Внутри нее располагаются два металлических стерженька.

При качке корабля жидкость в трубе перемещается. Ее уровень измеряется электрическим способом по изменению емкости

системы из двух металлических стержней, частично погруженных в жидкость.

С помощью этого прибора мы надеемся с борта корабля изучать морские волны, так как он позволяет определять поправки, которые надо делать на качку корабля.

Снова неудача. Ею закончилась пробная постановка станции отряда Т. Она погрузилась на глубину 4,5 км, как и было предусмотрено. Но, к нашему глубокому огорчению, не всплыла...

Впервые в жизни видел на воде световую дорожку, обязанную своим происхождением Венере... Очень любопытное зрелище, аналогичное лунной дорожке.

4 июня

...Пересекли северный тропик. По этому поводу приказом капитана разрешена тропическая форма одежды, т. е. шорты.

Температура наружного воздуха в 7 ч утра 26°, воды 27° С. Аномально мало летучих рыб и саргассовых водорослей...

12 июня

...После захода на остров Ямайка снова вышли в открытое море. Мы держим путь в район, где работал знаменитый бурильный корабль «Гломар Челленджер». Наша задача — изучить структуру морского дна акустическими методами и сравнить полученные данные с образцами, полученными глубинным бурением.

Миновали печально знаменитый остров Тортуга (по-испански — «черепаха»). Здесь в свое время была основная база пиратов, потом переместившихся на Ямайку. Так что крови в этих ныне безмятежно тихих местах было пролито много...

16 июня

...Поставили на долговременную работу (6 сут.) две станции — глубина около 5 км. После этого корабль ушел на дистанцию 130 км в зону акустической тени для прямых лучей, чтобы не мешать станциям (шумы корабля им будут не слышны). Но и на этом, достаточно большом расстоянии мы собираемся установить на корабле режим тишины.

Все очень волнуются.

Ведь если какая-то из станций всплывет без команды, то мы ее никогда уже не увидим. А вдруг она вообще не всплывет...

17 июня

...Идут работы почти по всей нашей обширной программе. Рассеяние звуковых волн от дна с использованием гидрофонной решетки, исследование структуры волн на поверхности, работы с гидролокатором бокового обзора и обычным локатором — вот неполный список уже налаженных экспериментов, которые ведут наши сотрудники.

Другие группы еще возьмется со своей аппаратурой, налаживая ее для дальнейших измерений. Словом, работа идет полным ходом...

18 июня

...Сегодня при постановке еще одной станции она не дошла до дна. Возвратилась обратно с глубины около 2 км. Будем выяс-

нять, в чем дело. Одна из возможных причин — проникновение воды вследствие разгерметизации. Станция сделана с таким расчетом, чтобы в этом случае она немедленно всплывала.

В судовой библиотеке случайно наткнулся на книгу декабриста Н. А. Бестужева (Избранные произведения. М.: Сов. Россия, 1983). Нашел чудесный рассказ — размышления, озаглавленные «Об удовольствиях на море».

Не могу удержаться, чтобы не процитировать некоторые выдержки из этого удивительно эмоционального рассказа.

Выдержки звучат удивительно современно, словно подчеркивая, что океан остается океаном, а человек — человеком:

Передаю слово моряку XIX в. Н. А. Бестужеву.

Вначале о своеобразии и в то же время некотором однообразии жизни на корабле.

«...Конечно, человеку постороннему на корабле, а следовательно, и праздному, жизнь наша покажется единообразна. Установленное для занятий время, положенные часы обеда, ужина и проч., число удовольствий ограниченное, и самые удовольствия слишком простые, потому что заключаются не во внешних предметах, переменою своею ласкающих чувства прихотливых любимцев счастья, но в наших сердцах, в чувствованиях, не всегда и не всякому понятных...»

Далее: «...Конечно, служба наша, требующая несмыгаемого надзора за непостоянною стихиею — надзора, от которого зависит жизнь нескольких сот людей, внушая порядок в образе мыслей и поступков, не дает времени воображению подстрекать страстей наших: зато она сохраняет к случаю всю живость их, и ощущение, ими производимое, неизъяснимо приятнее в наших сердцах, нежели в тех, которые, опустив узду страстей своих, несутся вскачь на поприще жизни и падают, не добжеая до меты...»

Что же может быть приятнее, когда мореходец, удовлетворяя потребностям души своей, несется по беспредельным морям и видит туго натянутые паруса, округляемые попутным ветром; когда в мечтании сидя на корме, чувствует ее содрогание от скорого хода, видит катящиеся сзади волны, от которых убегающий корабль приближает его к желанному берегу. Взоры его с удовольствием обращаются в ту страну горизонта, куда совет магнитной стрелки обратил его путь. Настают ли бури, подымаются ли противные ветры — его наслаждение увеличивается гордостью от победы над стихиями; не так ли обладание любимым предметом становится дороже от препятствий?..»

В другой обстановке примерно то же самое испытываем мы и сейчас. В самом деле: «И в то время, когда другой мучается бездействием и отыскивает способы к новым удовольствиям, мореходец, уединенный в своей каюте, при свече, которой пламень волнуется в ту и другую сторонусообразно колебанию корабля, окружает себя призраками своего воображения, переносится мысленно на родину, перебирает воспоминания и часто на походном всячем столике своем приводит мысли в порядок в скромном журнале, который пишется не для публики, но для образования сердца и отчета собственных чувствований».

Теперь корабли уже не те, что во времена Бестужева. И плаванья другие, но вот это подмеченное им настроение чувств у человека в море остается и сейчас.

Я, например, когда в море, очень люблю по вечерам — часто один — слушать классическую музыку. Как она глубоко воспринимается при этом, как сильно действует! На суше ничего подобного я не ощущаю — ни дома, ни в концертном зале.

Другое занятие, приносящее мне в море огромное удовольствие, — это индийская йога. Ею я, если не вторгаются срочные экспедиционные дела, занимаюсь один час утром и то же вечером. Здесь также возникает особое чувство, что ты один на один с безбрежным морем.

Несколько слов об отдыхе на палубе: «Хотите ли ловить рыбу? Садитесь на борте корабля с удою и в чистой и прозрачной океанской воде видите на 10 и на 20 сажен как резвая рыбка приближается к вероломному крючку; часто жадные камбалы хватаются одна за хвост другой, и вы до половины вытаскиваете вдруг две рыбы на уде. Редко крючок ваш закидывается понапрасну, а это не безделица для охотника...»

И еще о том же: «...Конечно, для жизни совершенно приятной недостаточно одного дружелюбия; человек не сотворен быть в сообществе одних мужчин, — и самой дружбе сгрустнется в отдалении от милых сердец; но разве одиночество наше вечно? Разве откажете вы мореходцам в нежных чувствованиях, оживляющих сердце других человек? Неужели вы думаете, что влажная стихия, по которой мы плаваем, может угасить страсти? Знаете ли, что кузнец нарочно прыщет водою на угли, чтоб увеличить жар их?... Как часто ветрам морским вверяются вздохы, и на крыльях бури посылаются тайные обеты туда, где остались любезные наши!.. Какое обновленное ощущение несет каждый из нас после долгого плаванья в свое отечество!»

А как остро мы и сейчас чувствуем ощущения, связанные с посещением новых стран: «...Говорить ли вам о удовольствиях плаванья в страны далекие, о приятности новизны, о прелестях любопытства? — Путешественник, едущий сухим путем, постепенно перемещает свои впечатления; с каждым шагом привыкает к окружающим его предметам. Новая страна для него уже не нова, потому что он каждую минуту видел ее признаки, видел ее приближение. У нас на море не так: как бы волшебством переносимые с домами своими из страны в страну, мы не видим промежутков путешествия, и очарование новости не понемногу, но внезапно поражает взоры и чувствования наши...»

Или вот еще: «...Говорить ли вам о красотах морей, где незаходимый свет солнца отражается миллионы раз в зеркальных горах льдов — миру современных; где мраки продолжительной ночи рассеиваются живым блеском луны и звезд и чудным метеорным сиянием, которое беспрерывно раскидывается подобно шатру над головами плователей; где чудовища моря выходят из глубины и в неведении преследования человека резвятся кругом кораблей и весело освежают воздух брызгами своих водометов?..»

Хочется закончить стихотворением Байрона, которое, в свою очередь, цитирует Бестужев:

И царства целые по берегам твоим
Встают и рушатся, — лишь ты во всей Вселенной
Не изменяешься! Где ныне грозный Рим?
Что стало с Грецией и с гордой Карфагеной?

Во дни счастливые свободы золотой
 В их берега твои плескались воды;
 И ныне плещутся, когда закон чужой
 Дают тираны им. Не дети той свободы,
 Но жалкие рабы в невежестве, с тоской,
 Влачат там бедный век презренные душой.
 И царства те судьба в пустыни обратила...
 Но ты,— но твой ничто не изменило вид.
 Полета времени губительная сила
 Лазурного чела тебе не бороздит!
 Ты будешь так же юн в часы веков скончанья,
 Как видела тебя заря в день мирозданья...

Кстати, Н. А. Бестужев приводит интересный факт. За всю предыдущую историю русского военно-морского флота (автор писал свою книгу в 1820 г.) не зарегистрировано ни одной дуэли. Так, по мнению моряка-декабриста, море облагораживает человека и воспитывает в нем лучшие чувства.

22 июня

...Нас преследуют неудачи. Не всплыла третья по счету станция группы Т. Тяжелый удар. Тем самым — они потеряли последнюю станцию, последнюю надежду — мы лишились возможности сделать ценные измерения. И еще одно. Вчера поздно вечером подняли станцию Института океанологии. Оказалось, что на записях магнитофона отсутствовал акустический сигнал, излучаемый с корабля, и звуковое излучение пневматической пушки...

Разбираемся в этих неисправностях...

23 июня

...Все оказалось не так уж плохо. Нормально сработали две станции Института океанологии. Они действуют буквально как часы, всплывают в положенное время, вполне надежна подводная акустическая связь с ними. Учитывая это, мы сделали дополнительные постановки станций.

Успешно продвигается работа К. Он наладил вход в ЭВМ с датчиков своей «рамы». На мой взгляд, эта система очень перспективна.

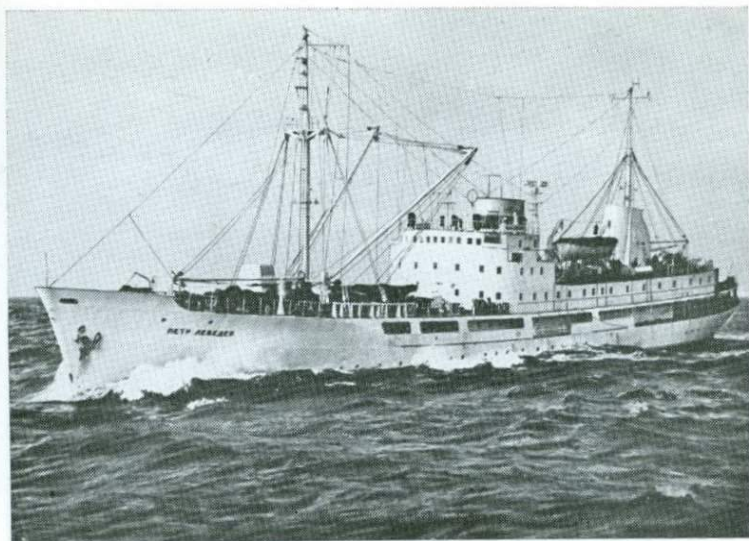
П. соорудил хороший измеритель скорости звука. Один из наших отрядов уже использует эту аппаратуру для зондирования глубинных слоев моря. При этом исследователи обнаружили любопытный эффект — большие флуктуации скорости звука на оси звукового канала...

24 июня

...Идем в Гавану. У всех, кроме сотрудников группы Т., которая потеряла свои станции, хорошее настроение, ибо поработали хорошо.

Сегодня вечером соберем научно-технический совет, будем подводить итоги...

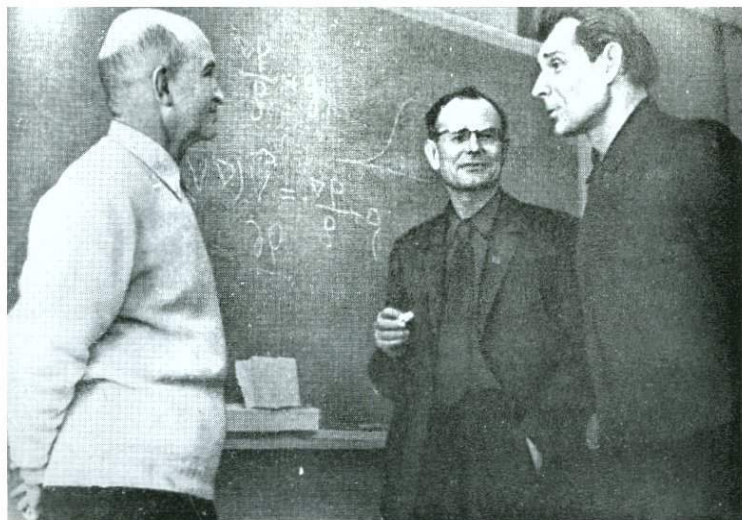
На этом мой дневник обрывается, так как я по служебным обстоятельствам вынужден был оставить экспедицию и из Гаваны вылететь на родину.



Научно-исследовательское судно «Петр Лебедев» в рейсе.
Фото В. Г. Селиванова



Научно-исследовательское судно «Дмитрий Менделеев» во льдах
Антарктиды. Фото Р. В. Озмидова



Академики Е. М. Лифшиц, Л. М. Бреховских и А. В. Гапопов-Грехов (слева направо) обсуждают проблему динамики вод океана



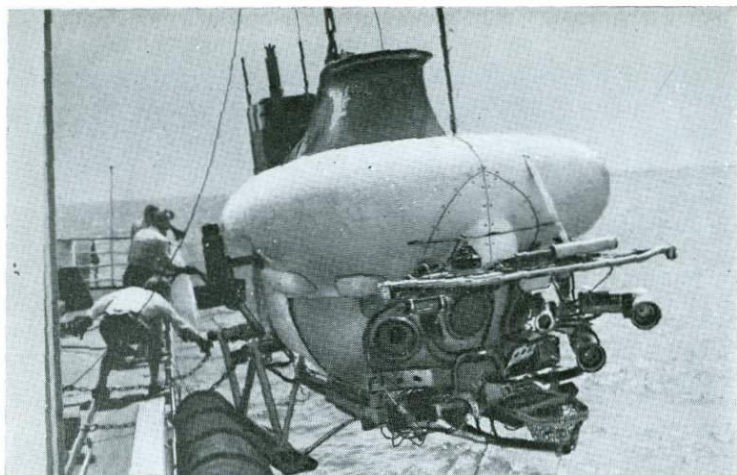
В кают-компания «Сергея Вавилова» при приемке этого корабля от судостроительного завода. На переднем плане (слева направо) известный полярный исследователь, докт. геогр. наук И. Д. Папанин, акад. Л. М. Бреховских, докт. физ.-мат. наук Е. И. Михальцев



На Втором Международном акустическом конгрессе в 1956 г. в США. Слева направо: профессора Ю. П. Лысанов, В. А. Красильников, Вильсон (США), автор, акад. Н. Н. Андреев, проф. В. Ноздрев. Последний справа проф. Р. Бейер (США)



Посещение делегацией советских ученых-океанологов морской физической лаборатории Океанографического института Скрипса в Калифорнии в 1972 г.



Принадлежащий Институту океанологии АН СССР глубоководный обитаемый аппарат «Пайсис» готовится к погружению в воду. На нем можно работать на глубине до 2 км. Он имеет кино- и фотокамеры, системы навигации и ориентации, манипуляторы



Участники встречи советских и французских ученых в Гренобле в 1975 г. На переднем плане второй слева автор, третий акад. Г. И. Марчук, пятый акад. М. А. Лаврентьев, шестой французский ученый проф. Лакомб, седьмой член-корр. АН СССР О. Васильев

По моей просьбе доктор физико-математических наук Ю. Ю. Житковский дополнил мой рассказ сообщением о том, как закончилась экспедиция. Полагаю, что читателю это будет интересно.

«На следующий день после отъезда Л. М. Бреховских утром мы вышли из Гаваны и направились к Панамскому каналу, проход через который занял около 8 ч.

По выходе из канала в Тихом океане сделали 10-мильный разрез подводной фотоустановкой, т. е. на этом отрезке пути сфотографировали дно океана. На снимках оказалось много конкреций. Надо сказать, что одна из главных задач экспедиции заключалась в том, чтобы выяснить, можно ли обнаруживать конкреции с помощью акустических волн. Поэтому мы поставили опыты по изучению рассеяния звука от дна.

Комплекс работ проводился следующим образом.

Прежде всего мы поставили реперный буй — неподвижный буй, стоящий на якоре, относительно которого шли все наши измерения. Координаты самого буя мы уточняли с помощью спутниковой навигации. „Хождения“ буя по поверхности океана вследствие течений были небольшими — 2—3 кабельтовых (примерно 372—450 м).

Около буя мы выбрали небольшой полигон (0,5×1 миль) и взяли на нем черпаком 21 пробу. Наши геологи очень удивились тому, что мы берем пробы через каждую десятую мили, так как обычный для геологов интервал составляет около 10 миль. Они считали, что на расстоянии в несколько кабельтовых характеристики дна не могут измениться. Поскольку мы пользовались реперным буюм, нам удалось обеспечить такую высокоточную привязку к месту.

Таких подробных данных о характеристиках дна океана никто еще не получал. Я имею в виду предшествующие экспедиции. Так что в наши результаты геологи буквально вцепились.

В результате обнаружен очень важный факт. Даже на минимальном расстоянии в одну десятую мили продуктивность конкреций менялась от 22 до 1—2 кг/м², т. е. буквально на порядок.

По данным черпачных проб мы выбрали на полигоне точки с максимумом и минимумом конкреций и провели пробные акустические измерения — регистрировали рассеяние звука от конкреций с помощью установки, приближающейся к дну до расстояния в 10—20 м. Одновременно проводили фотографирование дна.

Этот же район мы обследовали локатором бокового обзора. Таким образом мы могли сравнить данные черпачных проб, установки для локального рассеяния звука и данные локатора бокового обзора. Естественно, сравнивали и с фотографиями, на которых конкреции были особенно хорошо видны.

Не буду вдаваться в детали, скажу лишь, что по данным коэффициента рассеяния звука оказалось возможным определять содержание конкреций и даже их размеры.

Контрольные измерения, которые мы провели в районе с теми же геоморфологическими характеристиками дна, по заведомо лишнему конкреций, подтвердили наши выводы.

В этом же районе мы поставили несколько донных станций, учитывая, что здесь относительно спокойно, нет постоянного судорождства, так что можно изучать собственные шумы океана.

Снова хорошо сработали станции Института океанологии, точнее, Опытно-конструкторского бюро океанологической техники при этом институте. Идеи, заложенные в электронику и механическую часть установки, оказались плодотворными.

Район работ был исключительно неспокоен в смысле погоды, ибо именно здесь обычно зарождаются циклоны. Так, за 12 суток, что мы тут провели, на нас наваливались 4 циклона. Мы от них не убегали, и каждый раз, не доходя до корабля буквально 10—20 миль, циклон поворачивал на север на свою обычную трассу.

Самое интересное произошло, когда мы, закончив работу, отправились дальше. Пришлось пересекать обычную трассу циклонов, причем очередной ураган должен был встретиться с нами лоб в лоб. Мы уже собирались удирать от него, когда и этот циклон послушно повернул на север.

На обратном пути по выходе из Павамского канала зашли на остров Гренада, где в это время проходил красочный, удивительно оригинальный карнавал. Подумать только, что через несколько месяцев чудесный гостеприимный остров стал ареной варварской интервенции.

На переходе от Гренады до Англии мы провели несколько измерений на ходу. Когда вошли в Северное море, очередной циклон подхватил наше судно и стремительно понес его к проливам Скагеррак и Каттегат.

Так закончилось наше путешествие, наша экспедиция...»

Сейчас (апрель 1986 г.), когда я еще раз просматриваю рукопись книги, новая экспедиция под руководством профессора Ю. Ю. Житковского на том же корабле «Академик Мстислав Келдыш» (это его 11-й рейс) работает в Индийском океане. Основная задача экспедиции та же — исследование рассеяния звуковых волн в океанской толще и на его дне, акустические методы разведки железомарганцевых конкреций.

Глава восьмая

ОКЕАН ДЛЯ ВСЕХ

Океан объединяет человечество и является его единственной надеждой. Теперь как никогда приобретает глубокий смысл старая поговорка: «Мы все в одной лодке».

Эта лодка — космический корабль Земля — голубой бриллиант, светящийся в темноте космического пространства своими охватывающими всю планету водами — источником жизни.

ЖАК ИВ КУСТО

Мировой океан — это среда, олицетворяющая глобальное единство нашей планеты... Он в основной своей части находится за пределами национальной юрисдикции отдельных стран и открыт для их взаимного сотрудничества.

Самый ранний пример тому — торговля с использованием океанских путей. Существует предположение, что финикийцы еще за 2000 лет до н. э. проникали с берегов Средиземного моря через Гибралтарский пролив к берегам Англии. Они торговали с обитателями полуострова Корнуэлл, получая от них олово, необходимое для выделывания бронзы.

Древние народы, совершая дальние морские путешествия, нуждались и в достаточно хорошо устроенных портах. Следы одного из таких портов были обнаружены датским археологом Дж. Бибби на о-ве Бахрейн. Этому порту не менее 6—7 тыс. лет. Сравнительно недавно в Индии севернее Бомбея были обнаружены остатки порта Лотхал. В его пределах были найдены остатки огромной верфи (длиной 218, шириной 30 м), выложенной кирпичом. Этому сооружению, по-видимому, больше 4000 лет.

В наше время роль морских перевозок огромна. Яркий пример тому Япония. Не обладая сколько-нибудь существенными сырьевыми ресурсами, она выросла в ведущую экономическую державу, используя океанские пути как для ввоза сырья, так и затем для реализации своей продукции.

Как мы видим, само существование океана вынуждает народы и правительства разных стран к широкому взаимному сотрудничеству. Это сотрудничество осуществляется

через многочисленные международные организации, положительную роль которых трудно переоценить. На этом мне и хотелось бы остановиться в настоящей главе.

Прежде всего, уже давно создавались различные международные организации для регулирования морского судоходства.

Со второй половины XIX в. началось широкое использование биологических ресурсов Мирового океана, и прежде всего китобойный промысел, который в XX в. вырос, по сути дела, в отдельную отрасль хозяйства и также потребовал широкого международного сотрудничества, самые ранние этапы которого заключались в выделении квот для разных стран для китобойного промысла.

Моложе всего деятельность по использованию минеральных ресурсов океана и недр его дна. Однако уже сейчас доход, получаемый от этой деятельности человека, превышает доход от рыболовства. Актуален (и технически вполне разрешим) вопрос использования минеральных богатств дна открытого океана — железомарганцевых конкреций, сульфидных руд и т. д. Это также требует выделения участков, установления квот, мировых норм и т. д.

Интенсивное использование океана в хозяйственных целях создает реальную угрозу его ресурсам, его «здоровью» из-за перелова рыбы, из-за загрязнения океанских вод. Для того чтобы предотвратить эту опасность, необходимо широкое международное сотрудничество для непрерывного слежения (мониторинга) за состоянием океана — его биоты, его загрязнения. Такое международное сотрудничество интенсивно развивается. Для охраны морской среды (например, в целях ликвидации нефтяных разливов) создаются специальные суда, организуются международные объединения и службы. Развивается наука (включая математическое моделирование) для оценки влияния загрязнения и хозяйственной деятельности человека на состояние океана.

Расширение и интенсификация использования ресурсов Мирового океана, улучшение методов прогнозов погоды и климата на континентах невозможны без расширения фундаментальных научных исследований в океане. В результате быстрыми темпами развивается океанология. Появляются новые технические средства. Организуются планетарные центры сбора и обработки данных об океане, развивается спутниковая океанология. Научные мор-

ские институты оснащаются современными исследовательскими судами, подводными аппаратами и плавучими платформами, разрабатываются дистанционные методы изучения океана и атмосферы над ним. Все это выливается в грандиозную задачу познания океана в его физическом, химическом, биологическом аспектах, его взаимодействии с атмосферой. Решение столь глобальных проблем, разумеется, невозможно без интенсивного международного сотрудничества ученых, что за последнее время уже стало традицией.

Таков краткий перечень вопросов, для решения которых необходимы международные соглашения и совместная деятельность разных стран мира. Более детальное знакомство с ними мы начнем с судоходства в океане.

В последние десятилетия быстро рос объем международных морских перевозок. В 1950 г. он составлял 525 млн. т, а в 1975 г. — уже примерно 3 млрд. т. По данным ООН доход, получаемый в результате морских перевозок, равняется примерно 40 млрд. долл. в год. По мнению специалистов, к 2000 г. объем морских перевозок возрастет почти до 10 млрд. т¹.

Естественно, значительно увеличится число морских судов. Согласно некоторым подсчетам к 2000 г. общий тоннаж мирового транспортного флота составит около 500 млн. т.

Мировой океан является важной ареной деятельности морского транспорта СССР. На долю морского транспорта приходится около 45% экспортных и импортных перевозок нашей страны. Суда под флагом СССР поддерживают связь более чем со 120 странами, посещая более чем 1400 зарубежных портов.

В международном торговом судоходстве всегда наблюдалась тенденция к объединению судовладельцев различных национальностей в рамках международных органов с целью координации своей деятельности. В настоящее время имеется около 60 международных организаций, деятельность которых полностью либо частично связана с международным регулированием морского судоходства. Все они делятся на две группы — неправительственные и межправительственные организации.

¹ Бекяшев К. А., Серебряков В. В. Международные морские организации. Л.: Гидрометеоназдат, 1979. 607 с.

Международные неправительственные организации в области морского судоходства стали появляться еще в конце XIX в., задолго до межправительственных. В настоящее время функционирует более 30 таких организаций. Они объединяют в качестве своих членов национальные судоходные организации, юридические и физические лица. Советский Союз принимает участие в наиболее важных — Балтийской и Международной морской конференции, Международном морском комитете, Международной ассоциации судовладельцев, Международном союзе морского страхования, Международной организации портов и гаваней и других.

Наиболее авторитетной и важной неправительственной морской организацией является Международный морской комитет, основанный в 1897 г. Его целью является развитие и унификация законов судоходства в морской практике. Один из президентов Комитета А. Лилар сказал: «Мы должны рассматривать море как естественную среду для развития связей между нациями, показать преимущества унифицированных законов на море, которые должны быть рациональными, сбалансированными, справедливыми в своей основе и практическими в действии».

Членом Комитета могут быть любая организация или частное лицо в любой стране, связанные с морским судоходством, однако только одна (одно) от страны. Члены Комитета могут участвовать в его общем собрании — ассамблее, быть избранными в различные органы Комитета, получать его публикации. Комитет существует за счет членских взносов его членов.

Отдельные лица, внесшие наибольший вклад в выполнение задач, решаемых Комитетом, и достигшие высокого положения в области морского права и морской практики, могут стать почетными членами Комитета. Почетные члены не имеют права голоса на ассамблее и не платят членских взносов. Однако они могут участвовать в работе ассамблеи и получать публикации Комитета. В настоящее время имеется около 300 почетных членов Комитета.

За время, прошедшее со времени его образования, Международный морской комитет провел большую работу. В частности, еще в 1910 г. под его эгидой была разработана Международная конвенция по унификации правил рассмотрения случаев столкновения судов. В 1926 г. появилась конвенция, касающаяся иммунитета судов, принад-

лежащих государствам, в 1962 г.— Международная конвенция об ответственности лиц, эксплуатирующих корабли с ядерным горючим, в 1975—1977 гг.— конвенция, определяющая правовой статус морских бурильных платформ, где, в частности, определена и ответственность владельцев этих платформ за загрязнение моря. В 1978 г. Международный морской комитет и Международная торговая палата разработали правила морского арбитража. Был создан суд и морской арбитраж, состоящий из 12 членов. Комитет созывает каждые четыре года Международную морскую конференцию, так что к настоящему времени состоялась уже 31 конференция.

Я не буду перечислять более мелкие неправительственные организации, скажу лишь, что их деятельность также весьма полезна и зачастую просто необходима. Все они оказывают активное влияние на процесс международного правотворчества, причем с каждым годом усиливается их воздействие на мировую судоходную политику. Неправительственные организации, говорится в коммюнике Всемирного конгресса миролюбивых сил (25—31 октября 1973 г.), могут способствовать деятельности межправительственных организаций в решении важнейших международных политических проблем, таких, как разрешение международных конфликтов, создание систем безопасности, разоружение, борьба против колониализма и расизма, экономическое и социальное развитие стран и сохранение окружающей среды. Они могут содействовать претворению в жизнь решений межправительственных организаций.

Последние также вносят весьма реальный вклад в установление международных правовых норм безопасности плавания в Мировом океане, в регулирование вопросов международных морских перевозок, в предотвращение загрязнения морских вод и т. д.

Идея образования международной межправительственной организации в области морского судоходства была высказана в конце XIX столетия русским юристом П. Казанским. Он писал, что «морское судоходство является предметом международного интереса и должны быть организованы международная комиссия или союз, которые должны быть наделены правами морской полиции; среди ее забот должно быть преследование грабителей, пиратов; очищение морских путей от плавающего

мусора; оказание помощи в навигации, в устройстве маяков на основных морских дорогах; сотрудничество в спасательных операциях; сбор информации о несчастных случаях; забота об иностранных моряках, попавших в беду; исследование морей; установление новых судоходных путей; публикация информации по навигации и т. д.».

Проблема образования такого рода организации обсуждалась на конференциях в Вашингтоне в 1889 г. и в Санкт-Петербурге в 1912 г. Однако только после второй мировой войны перед Организацией Объединенных Наций по-деловому встала проблема образования постоянного межправительственного органа для координации деятельности в области судоходства.

Такая организация была образована в 1958 г. Первое заседание Межправительственной морской консультативной организации (ИМКО)² состоялось в январе 1959 г. В настоящее время в Организацию входят более 110 стран, включая также и Советский Союз. Основными задачами ее является обсуждение вопросов регулирования морского судоходства, обеспечение безопасности плавания, повышение технического уровня навигации, принятие действенных мер по ликвидации различных дискриминационных мер отдельных стран по отношению к международной торговле. Организация должна способствовать также обмену информацией между различными правительствами, касающейся всех аспектов морского судоходства.

Высшим органом Организации является ассамблея, состоящая из всех ее членов. Ассамблея определяет политику и правила, процедуры Организации, избирает членов Совета — исполнительного органа, ведущего работу в перерыве между сборами ассамблеи. Ассамблея, кроме того, утверждает правила, касающиеся безопасности судоходства и предотвращения загрязнения морской среды, бюджет и формы связи с другими организациями.

Совет — исполнительный орган Организации — состоит из 24 членов, выбираемых ассамблеей. Между сессиями ассамблеи Совет осуществляет все функции Организации. Лишь одна функция неподвластна ему, а подвластна ассамблее — это рекомендации, касающиеся безопасности плавания.

² Inter-Governmental Maritime Consultative Organization — IMCO.

Регулярные сессии ассамблей происходят каждые два года. Однако могут быть и практически происходят внеочередные сессии. Такая внеочередная сессия может быть созвана с предупреждением всех членов за 60 дней, если не менее чем $1/3$ членов оповещает генерального секретаря Организации об их желании созыва сессии.

Ассамблее подчинены два комитета, играющие важную роль в работе всей Организации, — Комитет по безопасности судоходства и Комитет по охране морской окружающей среды.

Комитет по безопасности судоходства был организован в январе 1978 г., в него могут вступить все члены Организации. В обязанности Комитета входит рассмотрение всех вопросов, касающихся средств навигации, конструкции и оборудования кораблей, влияющих на безопасность плавания; он рассматривает правила предотвращения столкновений, правила перевозки опасных грузов, вопросы гидрографической информации, лоцманских инструкций, исследования катастроф на море и т. д. — одним словом, все вопросы, касающиеся безопасности на море. В Комитете образовано несколько подкомитетов, в которых, в свою очередь, образованы рабочие группы экспертов по разработке определенных вопросов. Так, например, существуют подкомитеты по борьбе с пожарами, по конструкции кораблей и оборудованию, по радиосвязи, по безопасности рыболовных судов и т. д.

Комитет по охране морской окружающей среды появился в ноябре 1973 г. Его задачей является осуществлять связи Организации с другими органами ООН по вопросам, касающимся возможного загрязнения морской среды. Комитет координирует и осуществляет деятельность Организации, относящуюся к предотвращению морского загрязнения.

Очень важной является Международная организация по морской спутниковой связи (ИНМАРСАТ)³. Эта организация начала свое существование в конце 70-х годов. Ее членами являются более 35 государств, включая Советский Союз.

Существенное возрастание активности разнообразной деятельности в Мировом океане обусловило быстрое увеличение информации, передаваемой через радиоканалы.

³ International Maritime Satellite Organization — INMARSAT.

Это привело к перегрузке определенных для радиосвязи полос радиочастот, стало затруднять связь кораблей с берегом и угрожать безопасности самого судоходства, поскольку безопасность зависит от надежности связи. Выход был найден — спутниковая связь. Искусственные спутники Земли уже давно используются для навигации. Спутниковая система позволяет определять место корабля с точностью до нескольких сотен метров — точность, совершенно недостижимая при астрономических наблюдениях. Спутники могут дать возможность осуществлять передачу информации, в десятки и сотни раз большую, чем это обычно производится с помощью обычных радиосредств. Это важно не только для управления кораблями, но также и для оказания помощи потерпевшим катастрофу на море. Спутниковые системы могут помочь быстро сообщить об аварии, указав точное местоположение корабля, потерпевшего аварию.

Неудивительно, что первая рекомендация по созданию спутниковой международной системы связи была сделана Комитетом по безопасности судоходства Межправительственной морской консультативной организации.

Особенность ИНМАРСАТа по сравнению с другими международными морскими организациями состоит в том, что ее деятельность связана с созданием и эксплуатацией сложных современных технических систем, включая космические. Все это делается на принципе самокупаемости. Этим объясняется некоторая сложность в структуре организации. Ее руководящими органами являются ассамблея, совет и директорат. Первоначальные средства на создание системы морской спутниковой связи формировались за счет взносов участников организации.

Очень большую и важную работу по унификации морских пособий и карт для судовождения проводит Морская гидрографическая организация вместе с Международным гидрографическим бюро (расположенным в Монако). Последнее является хранителем всех издаваемых странами-членами Организации навигационных карт и публикаций. В настоящее время членами этой Организации являются более 50 стран, включая СССР (с 1977 г.).

Важной межправительственной организацией, хотя и несколько ограниченной по масштабу своей работы, является Дунайская комиссия, которая регулирует судоходство по Дунаю, а также частично и судоходство в прилегающих

к устью Дуная районах моря. Естественно, что Советский Союз принимает самое активное участие в работах этой комиссии.

Народное хозяйство большинства, если не всех, стран мира зависит теперь от Мирового океана. Весьма ощутимо это сказывается и в использовании морских пищевых ресурсов. Общеизвестно — каждый видит это по своему разуму, — что многие государства в реализации продовольственной политики придают большое значение Мировому океану, и естественно поэтому желание увеличить добычу рыбы — основного морского продукта. Сказанное в полной мере относится и к СССР, где в настоящее время потребление рыбы и рыбных изделий на душу населения составляет более 20 кг в год, причем цифра эта, несомненно, будет расти. Увеличение рыбной продукции возможно в результате интенсивного изучения новых районов промысла в водах Мирового океана, исследования новых объектов промысла, развития рыболовства в прибрежных водах, создания прибрежных ферм и высокоэффективных способов рыболовства и орудий лова, разработки оборудования и приборов, обеспечивающих механизацию и автоматизацию добычи и технологической обработки рыбы и других продуктов моря.

Это одна сторона вопроса. Но имеется и другая, которая вносит ощутимые коррективы в хозяйственную деятельность различных стран мира.

Существенное увеличение вылова рыбы на его традиционных путях приведет и уже приводит к перелову многих видов рыб и истощению рыбопромысловых районов. В этих условиях возрастает значение сотрудничества государств, направленного на рациональное ведение морских промыслов и увеличение биомассы Мирового океана. Оно может осуществляться и осуществляется как отдельными государствами непосредственно, так и в рамках международных организаций. Тенденция развития международных рыболовных отношений показывает, что государства наиболее успешно и оперативно решают политико-правовые проблемы регулирования рыболовства в рамках межправительственных рыболовных организаций.

Первые международные рыболовные организации возникли в начале XX в. За период с 40-х годов по настоящее время число их выросло во много раз. Сейчас успешно функционирует более 60 межправительственных органи-

заций, деятельность которых непосредственно или в значительной мере связана с координацией международного сотрудничества по вопросам промысла рыбы, морских млекопитающих, а также проведения рыбохозяйственных исследований. СССР состоит членом большинства из них.

Межправительственным рыболовным организациям принадлежит важная роль. Создание их определяется необходимостью поиска согласованных решений важнейших проблем международных рыбохозяйственных отношений. Эти организации составляют своеобразное и очень важное звено межгосударственных связей.

Еще в начале 60-х годов сфера деятельности этих организаций была весьма ограничена. Они разрабатывали и одобряли рекомендации относительно охраны маломерных и неполовозрелых рыб и морских животных. Бурное развитие техники добычи и обработки рыбы и заметные успехи рыбохозяйственной науки в изучении запасов живых ресурсов поставили перед ними новые задачи. На повестку дня реально встал вопрос о расширении компетенции межправительственных объединений. Одним из важнейших проявлений активизации роли межправительственных организаций было наделение их полномочиями определения общих квот вылова и распределения их среди государств—членов.

Другим знаменательным фактом следует считать учреждение в рамках этих организаций системы международного контроля за промыслом.

В последние годы представители целого ряда организаций стали изучать актуальные проблемы, которые даже не были предусмотрены в соответствующих учредительных актах. Прежде всего это относится к проблеме предотвращения загрязнения моря и формированию основ рыбохозяйственной политики государств—членов.

Среди международных организаций по рыболовству наиболее известной является Международная китобойная комиссия. Уже с начала XX в. охота за китами охватила все океаны. В результате неограниченного лова стада китов быстро уменьшались. Это стало заметно уже в 20-х годах, что заставило ряд международных организаций, включая Лигу Наций, заняться вопросом охраны китов от поголовного истребления. В начале 1936 г. вошла в силу разработанная в Лиге Наций конвенция по регулированию охоты на китов. Однако конвенция не могла сыграть боль-

шой роли, и практически неупорядоченная охота на китов продолжалась в 30-е и 40-е годы. По приблизительным оценкам, ежегодно истреблялись многие десятки тысяч особей китов.

Новая международная конвенция по регулированию охоты за китами вошла в силу в конце 1948 г. Для осуществления практической реализации мер, предусмотренных ею, была создана Международная китобойная комиссия. Членами этой комиссии являются 25 государств, включая СССР, США, Японию, Бразилию, Австралию и т. д.

Комиссия наделена широкими полномочиями. Она выдает квоты для охоты на китов, осуществляет контроль непосредственно за китобойным промыслом и соблюдением этих квот. Она собирает статистику, касающуюся наличия китов и количества их в отдельных стадах.

Что касается обычного рыболовства, то соответствующих международных организаций более чем достаточно: Генеральный совет по рыболовству в Средиземном море, Индо-Тихоокеанский совет по рыболовству, Международная комиссия по рыболовству в Балтийском море, Международная комиссия по сохранению атлантических тунцов, Комиссия по рыболовству в Северо-Восточной Атлантике, Смешанная комиссия по сотрудничеству социалистических стран в области морского рыболовства и многие другие. Как говорится, несть им числа, но все они необходимы, все играют важную роль в деле сохранения рыбных запасов.

Для того чтобы пользоваться благами Мирового океана, необходимо как следует познать его. Эта истина общеизвестна. Широкое изучение океана с разных точек зрения становится насущной необходимостью для человечества. Такие исследования необходимы для того, чтобы увеличить продуктивность океана, правильно организовать все возрастающую добычу минеральных ресурсов (особенно нефти и газа) из дна океана, чтобы достаточно точно оценить влияние Мирового океана на погоду на земном шаре, улучшить прогнозы погоды и изменения климата и т. д. Мы уже касались в этой книге всех этих разнообразных прикладных аспектов океанологии. Однако океан как динамическая система во всем многообразии его движений, течений, волн, вихрей, как система биологическая с многообразной морской жизнью, как система химическая, содержащая почти все элементы и взаимодействующая к

тому же с атмосферой, как система, подверженная постоянному воздействию человека и испытывающая все неприятные последствия этого воздействия, изучен пока еще мало по сравнению с требованиями практики. Потрясающая по своей сложности и значимости задача всестороннего изучения океана под силу только международному сообществу ученых и государственных организаций.

Об этом говорилось уже давно. Однако первой ласточкой объединения исследовательских усилий разных стран по единой программе стал I Международный полярный год, осуществленный в 1882—1883 гг. (II Международный полярный год относился к 1932—1933 гг.). Целью исследований было провести в различных районах высоких широт синхронные наблюдения тропосферных явлений и подробно изучить процессы, происходящие в верхней атмосфере. Первые же широкие крупномасштабные исследования океана состоялись в 1957—1959 гг. в рамках Международного геофизического года. Кроме достаточно ценных синхронных наблюдений, большим достижением Международного геофизического года стало создание международных океанографических центров данных, куда с тех пор стекаются результаты экспериментов, проведенных учеными различных стран. В настоящее время имеются два основных центра — в Вашингтоне и Москве. Кроме того, существуют также центры данных по отдельным разделам науки, в частности по геофизике, биологии и т. д. Результаты экспериментов, проведенных учеными различных стран, по возможности унифицируются, обрабатываются и служат достоянием научной общественности всего мира. Таким образом, становится возможным исследование Мирового океана в глобальном масштабе.

Другое важное достижение Международного геофизического года — появление системы взаимной калибровки и стандартизации приборов. Проводившиеся до этого измерения часто были малосопоставимы, и их нельзя было использовать ученым других стран. В течение Международного геофизического года и после него производилась так называемая интеркалибрация различных приборов, таких, как термометры, измерители течений и т. д. Кроме того, ученые разных стран используют такие стандарты, как, например, стандарты на планктонные сети, морскую воду и т. д. Проблемы стандартизации и унификации стали особенно актуальными в последнее время в результате силь-

ного увеличения потока информации и необходимости создания автоматизированных средств ее обработки.

Ученые разных стран участвуют в совместных научных экспедициях — осуществляются большие научные проекты в глобальном размере. Тесное взаимодействие ученых разных стран необходимо также для непрерывного слежения за загрязненностью океана.

Вопросами объединения усилий ученых разных стран в изучении Мирового океана опять-таки занимается ряд международных организаций, как межправительственных, так и неправительственных.

Наиболее значимой и продуктивно работающей среди межправительственных организаций является Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО с ее штаб-квартирой в Париже.

Она была организована на XI Генеральной конференции ЮНЕСКО ООН в 1960 г. Ее цель — содействовать научным исследованиям и изучению ресурсов океана при помощи совместных усилий ее членов (теперь уже более 100 стран), причем никаких обязательств финансового характера от них не требуется, так как финансируется Комиссия организацией ЮНЕСКО.

Главным органом Комиссии является ассамблея, которая собирается раз в два года. На каждой из своих сессий ассамблея избирает председателя Комиссии и четырех вице-президентов, а также 18 представителей от стран-членов, которые и образуют исполнительный совет. Все заседания ассамблеи, как правило, являются открытыми для доступа публики. Однако заседания исполнительного совета и различных комитетов, работающих при Комиссии, как правило, происходят при закрытых дверях.

Деятельность Межправительственной океанографической комиссии развивается в основном в трех направлениях:

1) проведение исследований различных районов Мирового океана и прилегающих морей при помощи совместных экспедиций стран-членов Комиссии: изучается динамика океана, биологические процессы, процессы загрязнения и т. д.;

2) различного рода информационная деятельность: развитие объединенной глобальной системы океанских станций, мониторинг загрязнения различных районов Мирового

го океана, предупреждение о цунами, а также содействие международному обмену данных об океане;

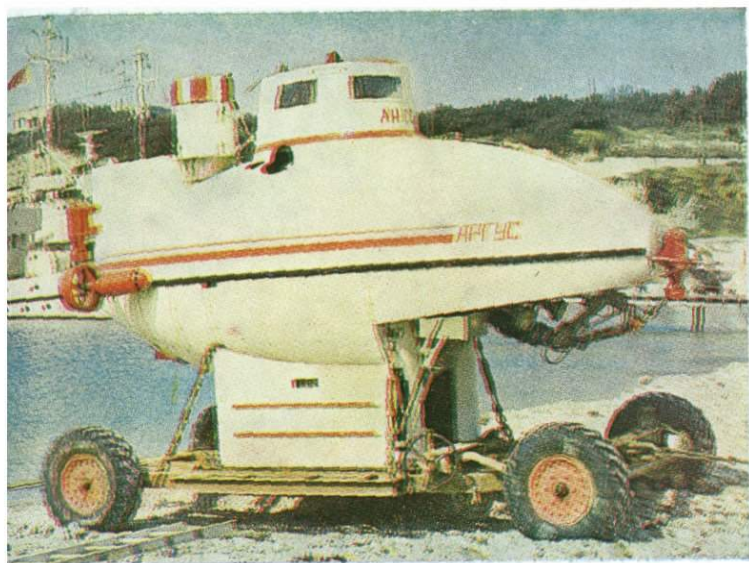
3) содействие обучению кадров для исследования океана и использования его ресурсов, в особенности в развивающихся странах.

При Комиссии существует ряд комитетов и рабочих групп, в частности совместный рабочий комитет Комиссии и Всемирной метеорологической организации, занимающийся вопросами развития объединенной глобальной системы океанских станций. Основная задача этой системы — получение оперативной информации о состоянии океана для научных исследований и любой другой деятельности в нем. Система станций должна дополняться соответствующими центрами сбора, обработки и хранения океанических данных в глобальном масштабе. Как уже указывалось, в настоящее время имеются два основных центра данных — центр А в Вашингтоне и центр Б в Москве. Наконец, система наблюдательных станций и буев должна дополняться хорошо развитой системой связи для передачи информации со станций специализированных буев и кораблей в центры хранения и обработки данных, а в дальнейшем также и для передачи данных из этих центров в соответствующие пункты в отдельных странах. Создание такой глобальной системы, где собирались бы все данные о состоянии океана, является важнейшей задачей исключительной трудности.

Кроме того, при Комиссии имеются: рабочий комитет по глобальным исследованиям загрязнения морской воды, Международная координационная группа по системе предупреждения о цунами в Тихом океане, специальная межправительственная рабочая группа по изучению явления Эль-Ниньо, а также ряд других комитетов и рабочих групп.

В рамках Межправительственной океанографической комиссии и при ее содействии был организован ряд международных океанских экспедиций, существенно продвинувших вперед знания о Мировом океане.

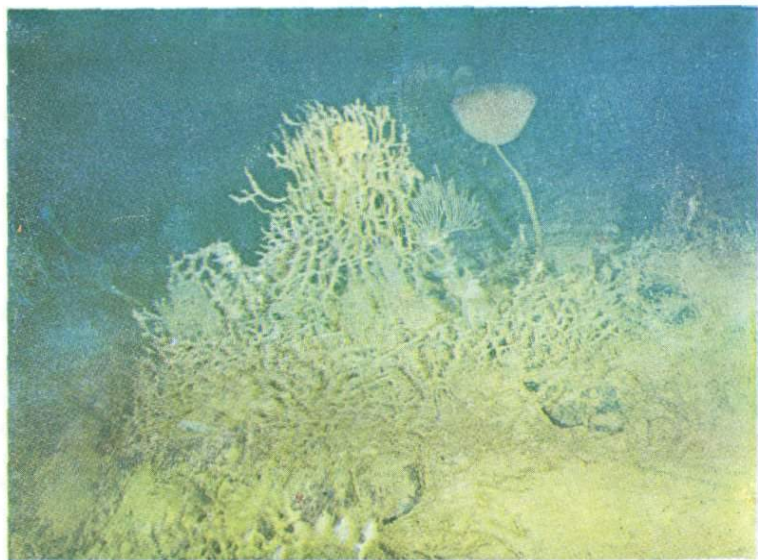
По инициативе Научного комитета по океанографическим исследованиям (об этом комитете у нас речь пойдет ниже) и при поддержке Комиссии в течение нескольких лет, начиная с 1959 г., проводилась Индоокеанская экспедиция с участием 23 стран, а корабли науки разных стран в рамках программы провели 126 рейсов.



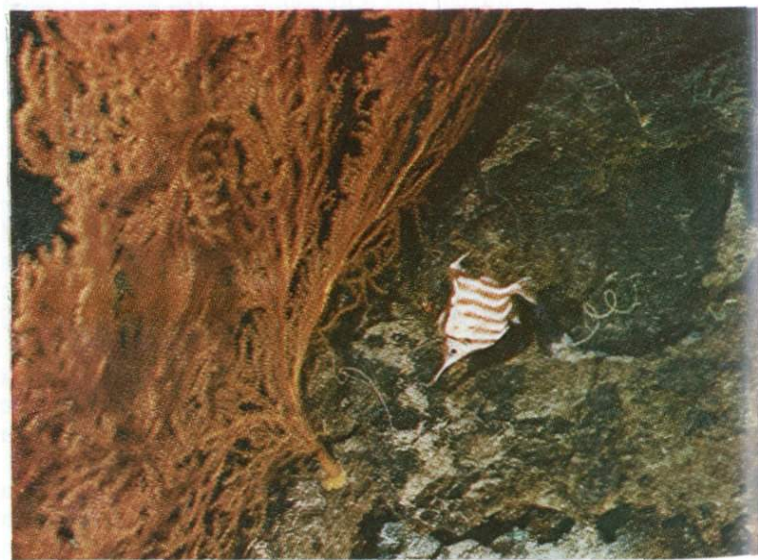
Подводный обитаемый аппарат «Аргус».
Фото Ю. А. Володина



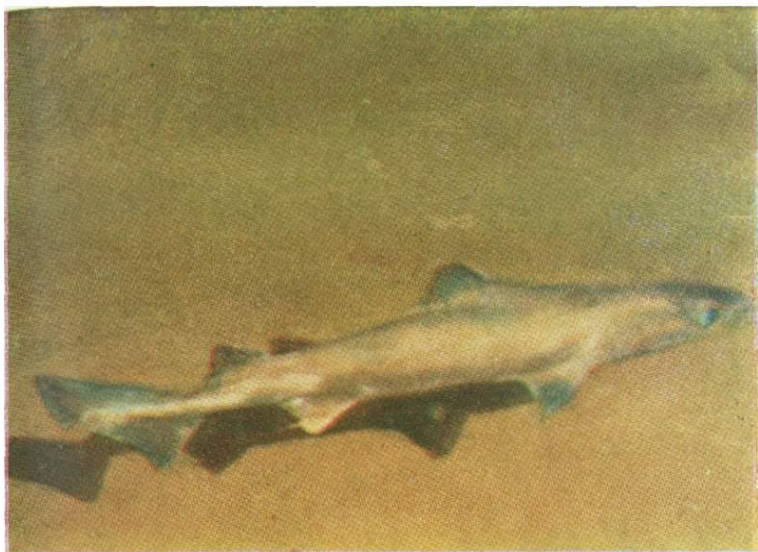
Звезда семейства Brisingiidae (Тихий океан, глубина 1990 м).
Фото Ю. А. Володина



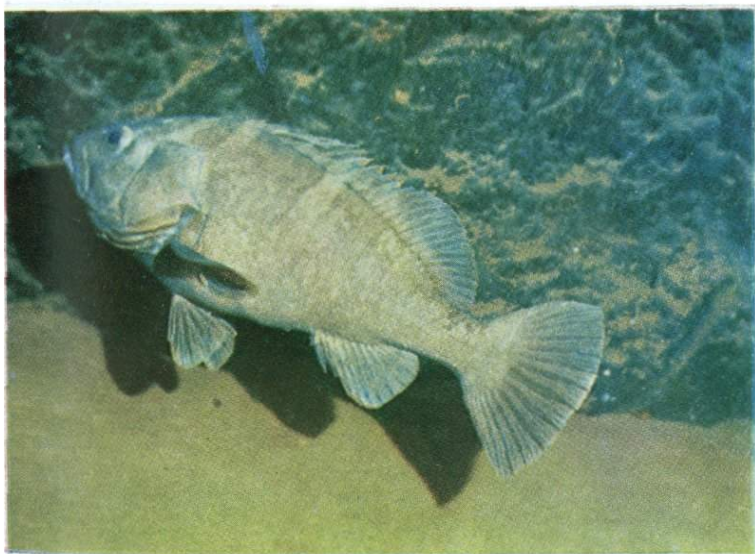
Бокаловидная губка и мадреновые кораллы на горе Эррор (Аденский залив, глубина 1200 м).
Фото Ю. А. Володина



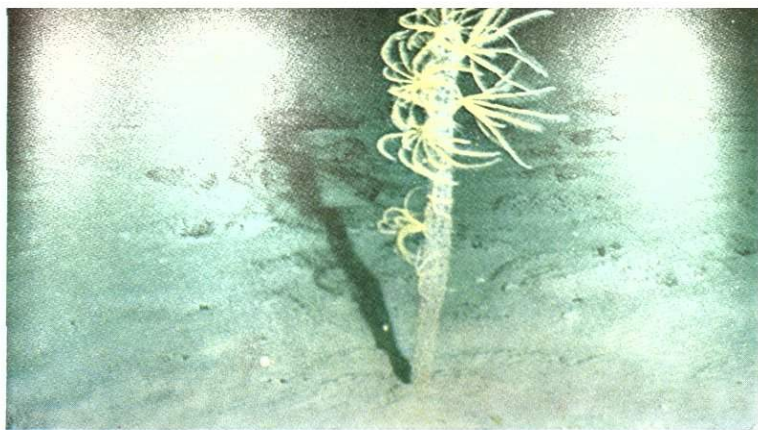
Горгоновые кораллы, образующие настоящие заросли на горе Безрукова. Рядом плавает коралловая рыбка «бекас» (Индийский океан, глубина 563 м). Фото Ю. А. Володина



Глубоководная акула на дне Аденского залива (Индийский океан, глубина 1350 м).
Фото Ю. А. Володина



Морской окунь в рифте Таджура (Аденский залив, глубина 1310 м).
Фото Ю. А. Володина



Отмирающая стеклянная губка *Hyalospongia* с сидящими на ней лилиями *Scinoidea* и змеехвостками *Ophiuroidea* (Тихий океан, глубина 1700 м). Фото Ю. А. Володина



Горгоновый коралл необычной формы на горе Эррор (Аденский залив, глубина 1420 м).
Фото Ю. А. Володина

При содействии ЮНЕСКО и Комиссии в городе Эрнаукулам (Индия) был создан Индоокеанский биологический центр, где производилась обработка биологических данных экспедиций. Данные метеорологической части исследований обрабатывались сотрудниками метеорологического международного центра в Бомбее, созданного при содействии Всемирной метеорологической организации.

Начало новой работы, как правило, сопряжено со множеством проблем. Так было и на этот раз. В этой экспедиции впервые выявились трудности совместных исследований разных стран, связанные с использованием различной аппаратуры. В результате были выполнены работы по международной интеркалибрации приборов. С этой целью в различных точках Индийского океана были установлены 15 станций, а на них для сравнения приборы из разных стран. 8 томов, содержащих основную часть результатов научной работы ученых Индоокеанской экспедиции, стали солидным вкладом в науку. Гавайский университет позднее опубликовал атлас океанологических данных, полученных в экспедиции.

Используя результаты экспедиции по морской геологии и геофизике, в Институте океанологии АН СССР в сотрудничестве с учеными США, Англии, ФРГ и других стран был создан геолого-геофизический атлас Индийского океана.

В Кильском университете (ФРГ) в 1977 г. по материалам экспедиции был опубликован атлас продуктивности фитопланктона Индийского океана.

Таким образом, первый шаг оказался весьма впечатляющим. За ним последовали и другие, не менее успешные. Стоит отметить экспедицию в тропическую часть Атлантики. Она осуществлялась в период с 1962 по 1964 г. в три этапа, поименованные Эквалант-1, Эквалант-2 и Эквалант-3. В этой экспедиции наряду с другими странами принял участие и Советский Союз. Областью действия экспедиции, состоящей из нескольких десятков рейсов, была акватория, ограниченная 10° с. ш., 10° ю. ш., 30° з. д. и побережьем Африки. Программа включала гидрометеорологические, биологические, геофизические и батиметрические исследования. В 1973 г. под эгидой ЮНЕСКО был опубликован первый том океанографического атласа по данным эксперимента. Он содержал 332 карты, составленные на основании полученных данных. Второй том атласа, содержащий

химические и биологические данные, был опубликован в 1977 г. в СССР.

Следующей важной международной программой было совместное исследование Курошио и прилегающих районов. Предложение об организации совместной научной работы в этом районе было высказано на второй сессии ассамблеи Комиссии. Основной целью программы было изучение вертикальной и горизонтальной структуры течения Курошио, его изменчивости во времени и пространстве, исследование химических и биологических эффектов в районе течения и прилегающих к нему областей. В экспедиции участвовало 40 кораблей различных стран — Японии, СССР, США и других.

К августу 1970 г. окончилась первая фаза проекта. К этому времени результаты измерений на более чем 10 000 глубоководных гидрологических станциях были переданы в международные центры данных. Как продолжение проекта в течение трех последующих лет ученые проводили совместное исследование Южно-Китайского моря. Программа включала в себя океанографические, биологические, геологические и геофизические наблюдения.

Все расширяющееся международное сотрудничество в этом районе привело в 1979 г. к появлению нового международного проекта — исследование западной части Тихого океана (ВЕСТПАК).

Стоит также вспомнить о совместных исследованиях в Средиземном море, которые начались под эгидой Комиссии в 1969 г. Изучалась гидрологическая структура водных масс в различных частях моря, причем много наблюдений было посвящено происхождению глубинных водных масс. С помощью многочисленных приборов ученые наблюдали за процессами конвективного перемешивания, взаимодействием поверхностных вод и атмосферы, динамикой основных течений. Исследованию подверглись гидрохимическая структура водных масс, структура земной коры и верхней мантии. Результаты наблюдений, полученные в ходе международного средиземноморского эксперимента, хранятся в центре данных, организованном и финансируемом СССР. В этом центре сосредоточены результаты около 20 000 станций, как осуществленных в процессе этого совместного эксперимента, так и «исторических», начиная с начала XX в. Данные доступны для использования любой другой стране.

Из всего перечисленного выше видно, какую огромную роль играет Межправительственная океанографическая комиссия для изучения Мирового океана. А ведь это только малая часть деятельности ЮНЕСКО, направленной на благо всего человечества. Тем более прискорбным выглядит факт выхода США из этой организации с 1 января 1985 г. и Англии с 1 января 1986 г. Этим двум странам не удалось заставить ЮНЕСКО следовать курсом, выгодным для них и их ближайших союзников. По-видимому, понятие общечеловеческого блага видится правительствам этих стран только в преломлении в призме их узко понимаемых национальных интересов.

Одной из старейших организаций межправительственного статуса является Международный совет по исследованию морей (МСИМ). Он был организован в 1902 г. странами—основателями данного совета Данией, Финляндией, Германией, Норвегией, Швецией, Россией и Великобританией. Цель Совета — организация биологических исследований, в первую очередь в Северной Атлантике и прилегающих морях, чтобы обеспечить эффективность рыболовства и развитие научной базы для него. В настоящее время в работе этого Совета участвуют 18 государств, включая Советский Союз.

Широкие исследования биологической структуры Мирового океана ведутся по инициативе и под общим наблюдением другой международной (неправительственной) организации — Ассоциации биологической океанографии. Эта Ассоциация была создана по инициативе Межправительственной океанографической комиссии. Детали организации дискутировались на секции биологической океанографии во время 2-го Международного конгресса по океанографии в Москве в 1966 г. Первая научная сессия Ассоциации состоялась в 1968 г.

В международных исследованиях Мирового океана активно участвует Всемирная метеорологическая организация при ООН. Это естественно, поскольку, как мы знаем, ни прогноз погоды, ни прогноз изменения климата нашей планеты невозможны без детального знания поведения океана. Совместно с Межправительственной океанографической комиссией эта организация провела важные наблюдения в рамках программы изучения глобальных атмосферных процессов (ПИГАП). Таким был Атлантический тропический эксперимент 1974 г., а в 1978—1979 гг. был

осуществлен уже первый глобальный эксперимент, захвативший все основные районы Мирового океана. Оба эксперимента проводились широкомасштабно — в наблюдениях участвовали десятки кораблей, самолетов, а также искусственные спутники Земли. Результаты имели огромное значение для развития всей нашей науки, не говоря уже об аспектах чисто прикладных, поскольку было получено большое количество данных о взаимодействии атмосферы с океаном в тропической зоне — наиболее важной для формирования погоды на земном шаре.

Именно этот большой экспериментальный материал позволил обосновать математические модели циркуляции океана и атмосферы над ним. Напомним, что именно тогда была неожиданно зарегистрирована изменчивость подповерхностных экваториальных противотечений, особенности их меандрирования. Оказалось, что на этих течениях, представляющих собой своего рода подповерхностные реки, текущие в обратном направлении по сравнению с поверхностными течениями, наблюдаются систематические извилины, меандры.

Как бы важны ни были тропические районы в отношении влияния их на погоду земного шара, нельзя ограничиваться исследованием только этих районов. В полярных областях происходит интенсивный перенос энергии из океана в атмосферу. Этот процесс тоже оказывает большое влияние на формирование погоды. Поэтому советскими учеными в рамках программы ПИГАП были осуществлены два подпроекта — ПОЛЭКС-север и ПОЛЭКС-юг.

В рамках этих подпроектов было выяснено, каким образом из тропических районов теплота поступает в полярные. Раньше считали, что она переносится атмосферой. Теперь выяснилось, что значительная ее часть, может быть около половины, переносится океанскими течениями.

Среди неправительственных организаций, координирующих и иницирующих международные исследования океана, наиболее активным и результативно работающим является Научный комитет по океаническим исследованиям (СКОР)⁴. Он был создан при Международном совете научных союзов в 1957 г. Его задачей является организация международных проектов и международного сотрудничества в изучении Мирового океана по различным

⁴ Scientific Committee on Oceanic Research — SCOR.

областям океанской науки, организация научных дискуссий по основным проблемам международного сотрудничества и науки об океане, планирование совместных экспедиций на международном уровне. Комитет в своей деятельности находится в тесной связи с другими международными организациями по изучению океана, и прежде всего с Межправительственной океанографической комиссией.

В работе Комитета участвуют представители 35 стран, включая и Советский Союз, который осуществляет свое членство через Комиссию по проблемам Мирового океана АН СССР.

Комитет был инициатором ряда крупных международных проектов. В частности, упомянутая мною и закончившаяся большим успехом Индоокеанская экспедиция была предложена в 1957 г. именно Комитетом. Комитет образует различные рабочие группы, которые объединяют наиболее выдающихся ученых мира в каждой данной области, осуществляют определенные проработки, собирают симпозиумы, конференции.

В частности, советские ученые принимали активное участие в работе рабочей группы «Океанографические таблицы и стандарты». В результате достаточно трудоемкой работы были проанализированы сотни проб морской воды со всех частей Мирового океана, что дало возможность составить ряд международных унифицированных таблиц расчета солености воды по измерениям ее электропроводности. В дальнейшем были изданы «Международные океанологические таблицы», в настоящее время широко используемые учеными разных стран.

Весьма полезными оказались также международные сравнительные испытания измерителей течений, проведенные по инициативе Комитета с участием шести стран и осуществленные с борта научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» в 1970 г. За успешное проведение этих испытаний АН СССР получила благодарность от руководства этого Комитета.

В рамках Комитета в настоящее время плодотворно работает Совет по климатическим изменениям и океанографии. Советом подготовлен целый ряд предложений о том, как в самом ближайшем будущем осуществить несколько фундаментальных международных проектов, которые позволили бы оценить роль океана в короткопериодных ко-

лебаниях климата нашей планеты, а также изучить основные закономерности океанических течений, взаимодействия атмосферы и океана и т. д.

Комитет активно сотрудничает с Международной ассоциацией физических наук об океане, входящей в Международный союз геодезии и геофизики.

Комитет является инициатором самых крупных международных встреч ученых-океанологов, таких, например, как 1-й Международный океанографический конгресс, созванный в Нью-Йорке в 1959 г., и второй такой же конгресс, происходивший в 1966 г. в Москве. В дальнейшем такого рода широкое обсуждение проблем океанологии стало традицией, ибо каждые шесть лет созываются объединенные океанографические ассамблеи. Они вызывают значительный резонанс в научном мире и пользуются большой популярностью. Так, на ассамблее, проходившей в 1970 г. в Токио, советские ученые впервые доложили о результатах своих пионерских экспериментов в исследовании синоптической изменчивости океана, выразившихся в открытии так называемых мезомасштабных (синоптических) океанических вихрей, что явилось тогда своего рода сенсацией.

На объединенных ассамблеях каждый раз наиболее выдающемуся ученому в области океанографии вручается переходящий приз — чучело белого альбатроса. В 1982 г. на ассамблее, проходившей в г. Галифаксе (Канада), этот приз был вручен выдающемуся английскому океанологу сэру Д. Дикону. Вручение приза сопровождается шутивными речами (спичами) как представителя Комитета, так и лица, принимающего переходящий приз. Последний раз альбатрос оказался с яичком, лежащим рядом с ним, — намек на исключительно плодотворную деятельность сэра Дикона.

Имеется также ряд региональных организаций, занимающихся вопросами научных исследований в той или иной части океана. Среди них наиболее известна Тихоокеанская научная ассоциация — также неправительственный орган. Ассоциация была основана в 1930 г. Ее задачей, как это указано в ее статусе, является содействие совместным усилиям ученых прилегающих к Тихому океану стран для решения научных проблем, непосредственно касающихся благополучия народов, населяющих этот регион, содействие усилению мирных связей между этими народами и раз-

витию чувства братства между учеными Тихоокеанских стран.

Ученые многих десятков стран, в том числе и СССР, являются членами этой ассоциации. В 1979 г. в Хабаровске происходил созданный ею XIV Тихоокеанский научный конгресс. Было создано 14 научных комитетов: по ботанике, сохранению окружающей среды, энтомологии, лесоводству, по наукам о пресноводных водоемах, географии, по морским наукам, по экосистемам островов Тихого океана, по здоровью народов, населяющих страны Тихого океана, по научным связям и обучению, по коралловым рифам, по наукам о земной коре в этом регионе. Для разработки частных научных вопросов и решения научных проблем этими комитетами создаются рабочие группы.

Весьма активной неправительственной региональной организацией является Научный комитет по антарктическим исследованиям, образованный в 1918 г. Международным советом научных союзов с целью координирования всевозрастающей научной активности различных стран в Антарктике. Эта активность особенно расширилась в период Международного геофизического года. Каждые два года собирается общее собрание этого Комитета, которое рассматривает различные научные проблемы, касающиеся Антарктики, и решает иногда весьма важные организационные вопросы. Обсуждаются результаты конкретных исследований в Антарктиде, формулируются программы новых проектов. На 13-м общем собрании Комитета (1972 г.) основное внимание ученые уделили вопросам захоронения радиоактивных отходов в Антарктиде и Южном океане в специально отведенных для этого местах. На 14-м общем собрании рассмотрены и приняты рекомендации по защите окружающей среды во время разведки и использования минеральных и живых ресурсов Антарктиды и прилегающих вод. Для изучения этой проблемы и рекомендации соответствующих решений была организована особая группа специалистов по эксплуатации ресурсов Антарктики и охране ее окружающей среды.

До 1970 г. Комитет занимался только Антарктикой, а затем на 12-м общем собрании провозгласил сферой своей деятельности и Южный океан, т. е. воды, омывающие Антарктиду и простирающиеся от ее берегов до 40° ю. ш. Деятельность Комитета проходит в тесной связи с Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕС-

КО, а также Научным комитетом по океаническим исследованиям. В работе Комитета участвуют следующие страны: СССР, США, Новая Зеландия, Япония, Чили, Великобритания, ФРГ, Южная Африка, Аргентина, Австралия, Бельгия, Норвегия, Польша. Начинают свои исследования в Антарктиде также Индия и КНР.

Национальное представительство каждой отдельной страны в Комитете осуществляется соответствующими академиями наук. Согласно статусу Комитета его членами также могут быть представители различных международных организаций, заинтересованных в антарктических исследованиях. В частности, такими членами являются представители Международного союза геодезии и геофизики, Международного союза физиологических наук, Международной метеорологической организации, Международного союза теоретической и прикладной механики.

Интересно, что все члены Комитета разбиваются на категории в зависимости от числа зимовщиков данной страны в Антарктиде. Этой категорией определяется и размер членских взносов в Комитете.

Таковы организации межправительственные и неправительственные, объединяющие усилия многих стран. Но международное сотрудничество этим не ограничивается. Часто ученые проводят в океане совместные эксперименты в рамках соглашений между отдельными странами вне зависимости от деятельности международных организаций. Одним из наиболее результативных экспериментов был хорошо известный читателю этой книги советско-американский эксперимент ПОЛИМОДЕ, в котором в небольшом количестве участвовали ученые ФРГ, Англии и Франции.

Трудно переоценить результаты исследований дна океана, проведенных совместно учеными различных стран (включая СССР) с использованием американского бурильного корабля «Гломар Челленджер». Ведь именно эта программа, проводящаяся уже многие годы, окончательно обосновала тектонику литосферных плит — современное представление о структуре земной коры и ее образовании.

Все, что получено многочисленными международными, а также некоторыми национальными экспедициями, передается в два уже упомянутых выше международных центра океанографии (в Москве и Вашингтоне). В Москве хранятся результаты измерений, полученных учеными более

чем 50 стран, — данные 900 000 океанографических станций, около 300 000 вертикальных температурных разрезов, полученных с помощью батитермографов, более 150 000 поверхностных и глубинных измерений течений, много данных о биологических и геологических исследованиях океана — такова драгоценнейшая информация Международного центра данных, предоставляемая для работы ученым разных стран. В Центре проводится громадная работа по сортировке полученной информации. Последняя переписывается в унифицированном виде, переносится на долговременные хранители информации и приводится в такой порядок, чтобы результаты измерений могли быть выданы в любой момент по запросу любой страны. Чаще всего информация хранится на перфокартах, а также на магнитных лентах и дисках.

Большой ценностью обладают данные о температуре, солености, скорости течений, передаваемые в центры данных через оперативную радиосеть Всемирной службы погоды. Это делается в порядке совместной объявленной Межправительственной океанографической комиссией и Всемирной службой погоды программы Бати—Тесак. Ежегодно поступают сведения о вертикальных разрезах солености и температуры для более чем 10 000 точек в океане.

Межправительственная океанографическая комиссия и Всемирная метеорологическая организация осуществляют также оперативный сбор и распространение между заинтересованными странами результатов измерений уровня океана и прилегающих морей, получаемых с помощью обычных и давно использующихся научных инструментов — уровнемеров.

Измерения уровня моря при помощи уровнемеров (в принципе это вертикально стоящая усовершенствованная линейка с делениями) проводятся уже многие годы. Замеры, как правило, производятся несколько раз в день. Если взять среднее значение уровня моря за несколько дней так, чтобы исключить его изменения, связанные с приливами, то эти данные, собранные за многие годы, представляют большую ценность.

Интерес к таким по существу весьма элементарным измерениям за последнее время не только не уменьшается, но, наоборот, возрастает, так как эти сведения, используемые вместе с другими характеристиками атмосферы и

океана, могут дать очень важную информацию о климатических (проявляющихся за многие годы) изменениях таких важнейших параметров, как теплосодержание вод океана, скорости различных течений и т. д. Так, оказывается, что явление Эль-Ниньо даже в его начальных (подготовительных) стадиях может быть замечено, если должным образом анализировать изменения уровня Тихого океана в различных точках. Существенно также, что в этих измерениях, не требующих сложной техники, могут участвовать очень многие страны, в том числе развивающиеся.

Область морских наук — обширное поле деятельности для сотрудничества стран социалистического лагеря. Это сотрудничество проходит в рамках одной из программ СЭВ — «Изучение химических, физических, биологических и других процессов в важнейших районах Мирового океана и разработка современных технических средств для эффективного исследования и освоения его ресурсов».

Работы развиваются по пяти направлениям: исследование гидрологической структуры морей и процессов взаимодействия океана и атмосферы; изучение процессов формирования биологической продуктивности; исследование химических процессов в океане; изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования; применение методов подводных океанологических исследований к изучению морей.

Для объединения усилий различных групп ученых при Институте океанологии АН СССР создан Координационный центр. Регулярно собирается совет уполномоченных по этой проблеме, который подводит итоги очередного этапа работ по проблеме и намечает новые исследования.

Страны СЭВ ежегодно проводят несколько совместных морских экспедиций. Очень важными оказались работы, посвященные изучению биопродуктивности Балтийского и Черного морей. Разработана и осуществляется долгосрочная программа совместных работ на экспериментальной базе в Болгарии (Шкорпиловцы), где изучается взаимодействие атмосферы, гидросферы, литосферы и техносферы в прибрежной и шельфовой зонах моря. До этого аналогичные работы проводились также в Болгарии в рамках совместного гидрофизического эксперимента «Камчия». Для проведения этих работ создаются современные прибрежные установки, в частности длинные эстакады, уходящие в море. На таких эстакадах можно проводить си-

стематические разносторонние измерения по всему разрезу воды.

И несколько слов в заключение о важнейшей проблеме нашего времени — обеспечении мира на нашей планете. Читатель наверняка уже убедился, как многосторонне можно использовать ресурсы океана на благо всего человечества. К сожалению, хотя океан сам по себе — мирная среда, в нем таится военная угроза. Десятки ядерных американских ракетносцев, настоящие подводные крейсеры, непрерывно бороздят глубины океана. Большая часть ядерного потенциала США размещена на этих ракетносцах. Заряда, готового вылететь из-под воды и направленного на различные точки Советского Союза и его союзников, достаточно для того, чтобы уничтожить практически все живое на всем земном шаре. Понятно, как велика опасность для человечества при наличии, так сказать, «на взводе» такого ядерного потенциала при открыто объявленной администрацией США стратегии первого удара.

Современные подводные лодки в глубинах океана движутся чрезвычайно скрытно. Подводные громады, как дикие черные пантеры, тихо крадутся в глубинах океана, готовые совершить страшное дело. Одна из возможностей обнаруживать их на достаточно большом расстоянии — улавливать их шумы. Именно поэтому современная военная технология мобилизована на то, чтобы как можно больше снизить звуки, производимые подводной лодкой.

Для Советского Союза ничего не оставалось делать, как создавать такие же подводные силы, чтобы любому потенциальному агрессору было ясно, что любой шаг в направлении развязывания войны получит соответствующий отпор от СССР. Наше правительство многократно предлагало запретить применение первыми ядерного оружия вообще и односторонне взяло на себя такие обязательства, но это не значит, что мы должны быть безоружными перед реальной угрозой.

Милитаризация океана заключается не только в создании подводных ядерных сил. Не меньшую угрозу несет широкая сеть американских военных морских баз. И тут опять проявляются два подхода. Советский Союз заявил, что не имеет намерения строить военные базы в Индийском океане, и призвал США занять такую же позицию. Однако советско-американские переговоры об ограничении и последующем сокращении военной деятельности в

Индийском океане были односторонне прерваны Вашингтоном. США продолжают милитаризировать Индийский океан, и в частности развивают мощную военно-морскую базу на острове Диего-Гарсиа. Советский Союз выдвигал также ряд мирных инициатив, касающихся Средиземного моря и Персидского залива, однако авианосные соединения США, обладающие ядерным ударным потенциалом большой силы, продолжают располагаться во всех океанах нашей планеты.

Советские ученые вместе со всеми общественными силами нашей страны активно борются против страшной перспективы всемирного термоядерного конфликта. Существенную роль в этом играют и ученые океанологи.

Глава девятая

ОКЕАН И ПРАВО

Международное право — это система правовых норм, регулирующих отношения между государствами, их сотрудничество и соперничество, норм, которые имеют своими источниками соглашения между государствами, исполняются добровольно, а иногда под коллективным или, там, где это допускается нормами международного права, под индивидуальным воздействием государств и народов.

М. И. ЛАЗАРЕВ

Раньше и даже совсем недавно, еще в конце 70-х годов, научных работников-океанологов мало интересовало морское право. А зачем им интересоваться? Единственное, что надо было знать при экспедиционной работе в океане, это запрет без разрешения заходить в территориальные воды других стран (как правило, это была очень узкая полоса — 3 морские мили). Надо было уметь оформить заблаговременно заявку на заход в иностранный порт для того, чтобы пополнить запасы пресной воды, провизии, топлива. Вот, собственно, и все. Добавим, что все эти несложные процедуры прекрасно выполняли капитаны научно-исследовательских судов.

А в остальном действовал принцип свободы морей — иди, куда хочешь, исследуй, что хочешь, лишь бы соблюдались определенные правила судоходства.

Однако уже в 60-х годах стало проявляться несовершенство многих сторон морского права, закрепленного Первой конференцией ООН по морскому праву (Женева, 1958 г.), что было связано с непрерывно расширяющимся использованием ресурсов Мирового океана и прилегающих к нему морей, а также с совершенствованием средств этого использования.

Ярким примером явно неудачной формулировки служило, например, определение морского шельфа, на который распространяется право прибрежного государства. В конвенции, принятой на этой конференции, было сказано, что прибрежное государство владеет всеми минеральными ресурсами, скрытыми в зоне шельфа, простирающегося от береговой линии до такого расстояния в

море и до таких глубин, на которых еще в принципе можно эксплуатировать эти минеральные ресурсы. Но вот выяснилось, что теперь мы уже можем или сможем в самом ближайшем будущем эксплуатировать богатства дна океана и морей при любых их глубинах. Поэтому, если строго следовать букве этой конвенции, то надо было бы права прибрежного государства простираť в океан вплоть до встречи с границей шельфа государства, лежащего на противоположном берегу океана. Ясно, что это бессмысленно.

Остро встал вопрос об использовании биологических ресурсов вод, прилегающих к берегам отдельных стран. Раньше это никого не беспокоило, так как необдуманно считалось, что биологические ресурсы океана практически неограниченны. Поэтому рыбаки могли идти, куда они хотели, и ловить, что они хотели, за исключением частных случаев, которые регламентировались особыми соглашениями (скажем, ограничение по убою китов).

В морях появились громоздкие дорогостоящие сооружения главным образом для добычи из дна океана нефти и газа, вопрос о правовом статусе которых раньше вообще не возникал, поскольку их просто не существовало.

С увеличением добычи морской нефти и соответственно ее перевозок по морским дорогам, с ростом тоннажа танкерного флота и с появлением кораблей с ядерными двигателями остро встал вопрос о регулировании той деятельности человека, которая связана с загрязнением моря. Такое регулирование можно осуществить только при наличии четкого морского права и соответствующей системы наказания. К тому же ученые показали, что увеличивающееся загрязнение морей Мирового океана грозит не только жизни в океане, но может изменить экологию всей нашей планеты, поскольку, скажем, загрязнение поверхности нефтяной пленкой существенно изменяет характер взаимодействия атмосферы и океана.

Возникли и другие актуальные вопросы. И вот с 1973 г. в течение 8 лет работала Третья конференция ООН по морскому праву с участием 150 стран, как прибрежных, так и внутриконтинентальных. На конференции рассматривался широкий круг разнообразных вопросов, многие из которых жизненно важны практически для всех стран мира, как развивающихся, так и передовых, индустриальных.

На конференции по существу обсуждался вопрос, как поделить значительную часть открытого океана и прилегающие к нему моря между прибрежными странами, а также вопрос, как компенсировать внутриконтинентальные страны за то, что они не имеют возможности непосредственно использовать ресурсы прибрежных зон. Работа конференции, в общем успешная, действительно привела к определенному разделу Мирового океана и прилегающих к нему морей. Если раньше прибрежное государство осуществляло свою юрисдикцию только над узкими территориальными водами, то теперь появились широкие экономические зоны с правами на них прибрежных государств. В результате около 40% территории океанов и морей оказалось в своего рода частном владении различных стран. Накал страстей на этой конференции, естественно, был настолько велик, что ее руководителям время от времени приходилось устраивать перерывы в заседаниях («периоды охлаждения страстей»), чтобы успокоить участников. Деятельность конференции некоторые называют «третьей мировой войной». Действительно, ни одна из предшествующих мировых войн до сих пор еще не приводила к переделу и к разделу такой громадной территории нашей планеты.

Морское право — целая наука (и тактика), как это можно увидеть, например, из книги профессора М. И. Лазарева¹. Мы остановимся ниже только на некоторых, особенно острых вопросах, рассматривавшихся на Третьей конференции по морскому праву и частично решенных там. К сожалению, некоторые из них полностью не решены и поныне.

Приведу краткую сводку подобных вопросов.

— В чем состоит правовой статус так называемых исключительных экономических зон? Другими словами, в чем состоят права прибрежного государства в регулировании и эксплуатации биологических ресурсов прилегающих к побережью вод?

— Кто и как, на каких правах может эксплуатировать минеральные ресурсы на дне океана в пределах прибрежной части (океанского, морского шельфа) и в открытом океане?

¹ Лазарев М. И. Теоретические вопросы современного международного права. М.: Наука, 1983. 301 с.

— В чем состоит правовой статус научных исследований в океане и прилегающих морях? Где можно проводить те или иные научные исследования свободно и кто может разрешать или запрещать эти исследования в других местах?

— В чем состоят ограничения на морское судоходство, традиционно до самого последнего времени пользовавшееся принципом свободы морей?

— Каковы должны быть основы законодательства, которое должно воспрепятствовать увеличивающейся лавине загрязняющих веществ, выбрасываемых в Мировой океан с судов, с водами рек, с промышленных установок в океане и даже переносимых атмосферой?

Многое в морском праве еще не решено и важные вопросы пока что остаются без четких ответов, которых по определению следует ожидать от любого свода законов. Морской — не исключение! Но нельзя и не оценить уже достигнутые успехи, хотя дались они нелегко.

Каждая из многих статей будущей конвенции о правовом статусе Мирового океана вызвала горячие споры. Интересы разных стран — развитых, развивающихся, расположенных на берегах северных морей, южных морей, естественно, оказались разными. Их было трудно объединить, а между тем представитель каждой страны знал, что речь идет о важной проблеме, возможно о будущем благополучии его страны. Так, например, в ожесточенный спор вступили страны, не имевшие выхода к побережью какого-нибудь моря (внутриконтинентальные страны). Их представители заявили: «Океан объявлен общечеловеческим достоянием. Мы тоже хотим получать доход от эксплуатации океана». И они тоже были правы.

Найти формулировку каждой отдельной статьи, которая устраивала бы все 150 стран, участвующих в конференции, оказалось невозможным. Единственный путь заключался в обсуждении всей конвенции и всех статей «в пакете». Это означает, что голосованию подлежала вся конвенция в целом. Каждая страна что-то проигрывала, возможно, в одной статье, но выигрывала в другой. Этот подход оказался в конце концов достаточно успешным.

Однако шли месяцы и годы, пока не находился очередной компромисс между чрезвычайно крайними точками зрения различных стран, причем если для одной страны какое-то положение казалось абсурдом, то для пред-

ставителей другой страны оно представлялось вполне логичным.

Возьмем, например, концепцию океана как наследия всего человечества, впервые выдвинутую четко на симпозиумах в 1971 и 1972 гг., происходивших на Мальте под девизом «Мир на морях». Там и был высказан тезис, что поскольку дно Мирового океана — это общее наследие всего человечества, то никто не может не только черпать из этой кладовой без «разрешения человечества», но и обязан делиться добытыми богатствами с другими странами.

В определенном смысле такое представление об океане является правильным. Действительно, все люди, живущие на нашей планете, наследовали эту планету с ее минеральными и живыми ресурсами. Особенно это относится к дну открытого океана, которое пока никому не принадлежит.

Однако в дальнейшем представители некоторых стран стали рассматривать в качестве общего наследия человечества не только дно, но и толщу вод Мирового океана, атмосферу над ним и даже космос. Они предложили подвергать налоговому обложению не только деятельность государств на морском дне, но и их деятельность на воде и в воде, и в воздушном пространстве над открытым морем.

Другие сторонники концепции океана как общего наследия человечества в ее экстремальном смысле считают, что поскольку рыбные стада могут мигрировать по всему океану и прилегающим морям, то не имеет значения, где эта рыба вылавливается. Во всех случаях «Международному сообществу» должна выплачиваться плата за вылов этой рыбы, даже если он произведен во внутренних или территориальных водах выловившего государства. На мальтийских симпозиумах высказывались даже мнения, что необходимо требовать с промышленно развитых стран плату за кислород, сожженный каждым самолетом, летящим из одной страны в другую над океаном, поскольку воздух над океаном также является общим наследием человечества.

Появилось также мнение, что управлять океаном должен некий надгосударственный орган, своего рода прообраз будущей международной организации, способной управлять вообще всем миром.

Советской делегации на Третьей конференции по морскому праву вместе с делегациями других стран, и прежде всего социалистических, пришлось вести большую борьбу и разъяснительную работу для того, чтобы доказать нереалистичность и неправомочность такой концепции. В результате такие максималистские взгляды не получили поддержки большинства делегаций. Прибрежные страны, вначале поддерживавшие эту нереальную концепцию, сдались и взамен потом потребовали выделения из «общего наследия» широких (200-мильных) экономических зон, в которых они могли бы осуществлять широкий контроль, особенно за использованием биологических ресурсов. В результате Мировой океан «ополовинили», передав под национальную юрисдикцию почти половину его территории и территории прилегающих к нему морей.

А общим наследием человечества была объявлена часть дна Мирового океана, не входящая в экономические зоны и лежащая за пределами континентального шельфа. Она получила название международного района дна.

Другая экстремистская точка зрения, которую в основном отстаивали представители латиноамериканских стран, — расширение предела территориальных вод государств до 200 миль и более, что означало бы появление абсолютного контроля прибрежных государств над всей деятельностью других стран в этих водах, включая проходы торговых кораблей, пролет самолетов над этой зоной, уж не говоря о добыче минеральных и биологических ресурсов, научно-исследовательских работ в этой зоне и т. д. Другими словами, та небольшая полоса территориальных вод, которая до недавнего времени, как правило, составляла 3 мили, а в последнее время расширилась до 12 миль, простиралась бы на сотни миль. Некоторые страны не ограничились пропагандой этого предложения на конференции по морскому праву и в одностороннем порядке своими законодательными актами создали такие зоны, прилегающие к их побережью. Так, Аргентина односторонним актом изъяла из режима открытого моря более 1,5 млн. км², а Бразилия — около 3,5 млн. км². Их примеру последовал ряд других государств.

В соответствии с решениями Третьей конференции по морскому праву подобные действия являются незаконными, а ширина территориальных вод должна составлять не более 12 морских миль. Нечего и говорить, что изъятие

из международного использования таких больших акваторий затрудняет деятельность других стран на море. Однако стоит заметить, что фактически такое объявление широких территориальных вод, как правило, остается на бумаге, поскольку контролировать деятельность других стран в такой широкой зоне развивающиеся государства практически не могут.

В Конвенции, выработанной конференцией, считается правомочным для любого прибрежного государства установление лишь 200-мильных, так называемых исключительных, экономических зон, где прибрежные государства имеют полный суверенитет лишь над биологическими ресурсами. Вылов любых продуктов моря может осуществляться только по разрешению властей прибрежных государств или по специальным договорам.

Прибрежная страна может также предпринимать определенные меры по предотвращению загрязнения в пределах 200-мильной зоны, однако статус экономических зон существенно более ограничен по сравнению с таковым для территориальных вод.

Многие страны, и в том числе такие крупные, как США, а также Европейское экономическое сообщество в одностороннем порядке, еще до того, как была выработана Конвенция по морскому праву, стали устанавливать свои прибрежные 200-мильные экономические зоны. В этих условиях в порядке ответной защитной меры и Советский Союз вынужден был предпринять соответствующие шаги. Был издан Указ Верховного Совета СССР от 10 декабря 1976 г. «О временных мерах по сохранению живых ресурсов и регулированию рыболовства в морских районах, прилегающих к побережью СССР». Стоит отметить, что эта мера была временной, пока не была достигнута договоренность на уровне конференции по морскому праву.

Концепция 200-мильных экономических зон, конечно, является гораздо более логичной и практичной, чем концепция 200-мильных территориальных вод. Однако надо сказать, что в Конвенции нет четкого определения прав прибрежного государства для случая, скажем, загрязнений в зоне, производимых проходящими судами. Не совсем ясно также и прилагательное «исключительная» зона. Определение этого прилагательного, по существу, в Конвенции отсутствует. Не приведет ли этот термин к

тому, что в дальнейшем прибрежные государства будут предъявлять к 200-мильным зонам гораздо большие права, чем это подразумевается теперь в статусе 200-мильных экономических зон?

Кроме прибрежных зон, внимание многих государств мира по причинам, которых я уже касался много раз, устремлено к богатствам дна Мирового океана.

Вопрос о статусе дна Мирового океана за последнее десятилетие резко обострился по двум причинам. Во-первых, стал проявляться энергетический и сырьевой голод. Между тем проблему можно решить — нефть, газ, которые в широких масштабах уже добываются со дна Мирового океана. Во-вторых, ценные металлы — кобальт, никель, медь и другие, также содержащиеся в больших количествах на дне океана. Неудивительно, что на Третьей конференции по морскому праву решению этих вопросов было посвящено много времени. Опять-таки дело не обошлось без крайне экстремистских высказываний и концепций.

Одна из таких концепций предполагала раздел дна Мирового океана между всеми странами мира, включая также и неприбрежные государства. Авторы этой концепции считали, что государство, получая в собственность определенный участок дна, может осуществлять в его пределах свои исключительные права на разведку полезных ископаемых и их добычу.

Может показаться, что это предложение разумно и вполне соответствует пониманию океана как общего наследия человечества. Такое решение вопроса не требовало бы в дальнейшем создания какого-либо особого органа, регулирующего международное использование дна океана, — каждая страна занималась бы своим «квадратом». Однако это только на первый взгляд. В действительности раздел дна океана между всеми странами представляет собой исключительно сложную и практически неосуществимую задачу. Он не менее сложен, чем раздел и передел территорий на континентах, который производился последние столетия в результате ряда кровопролитных войн.

Во-первых, не ясен сам принцип такого дележа, поскольку перспективность того или иного участка дна пока еще никому не известна. Кроме того, нельзя исключить ситуации, когда в дальнейшем государство, владеющее данным «квадратом», станет считать, что оно владеет и

поверхностью в этом квадрате. Для этого будут свои причины. Например, широкое судоходство в этом квадрате может помешать эксплуатации полезных ископаемых на дне. Отсюда и ограничения для передвижения «чужих» судов. Дело может пойти еще дальше, и государства предъявят права на воздушное пространство над своим квадратом. Таким образом, раздел дна океана является абсолютно непрактичным занятием, да к тому же еще большинство стран, особенно развивающихся, практически владели бы таким участком дна лишь на бумаге, поскольку эксплуатация его требует создания новой специальной технологии, доступной пока только высокоразвитым странам.

Компромиссное решение, достигнутое на заседаниях конференции, состояло в разделении дна океана на две области — область континентального шельфа и область дна открытого океана. Границы первой, если они отстоят от берега более чем на 200 миль, определены в Конвенции очень сложным образом. В этом определении учитывается также толщина осадочных пород. В общем грубо можно считать, что континентальный шельф в этом случае простирается приблизительно до глубин в 200 м. Прибрежные государства имеют полные права на разведку и эксплуатацию минеральных ресурсов в пределах шельфа.

Район открытого океана принадлежит всему человечеству. Никакое государство не может претендовать на какие-то суверенные права в какой-нибудь части этого района.

Использование минеральных ресурсов в районе открытого океана регулирует международный орган, который и выделяет участки морского дна определенным странам по их заявкам. Не может быть также и такого положения, когда какое-либо государство просит выделить ему определенную часть дна для его эксплуатации, но в дальнейшем ее не эксплуатирует. Такое положение может длиться только лишь ограниченный срок — 7 лет, после чего этот участок может быть передан для использования другому государству. Администрация международного органа существует за счет денежных взносов всего международного сообщества, и в основном за счет стоимости полезных ископаемых, добываемых со дна. Государства, получающие доходы от эксплуатации ресурсов дна открытого океана, обязаны делать определенные отчисления как в фонд

этой организации, так и в специальный фонд развивающихся государств.

В настоящее время происходит сложный процесс определения процедуры действия этой новой международной организации, штаб-квартира которой находится в г. Кингстон (Ямайка).

Необходимо отметить особую, весьма «беспардонную» позицию США и некоторых его союзников по отношению к использованию ресурсов дна океана. Еще до окончания работы конференции в июне 1980 г. конгресс США принял закон, санкционирующий одностороннюю добычу американскими монополиями полезных ископаемых со дна океана. Подчеркивалось, что это решение не зависит от того, как будет решен вопрос на конференции по морскому праву. И действительно, главным образом из-за того, что Конвенция не дает Соединенным Штатам возможности осуществлять разбойническое использование ресурсов дна открытого океана независимо от интересов других стран, США отказались ее подписать. Вслед за ними заняли такую же позицию Англия, ФРГ, Япония и другие.

С другой стороны, США также при помощи своих союзников и ряда развивающихся стран, на которые они могут по ряду причин оказывать давление, делают все возможное, чтобы помешать регистрации в международном органе заявки Советского Союза на определенные районы в Тихом океане для добычи в них железомарганцевых конкреций.

Интересной особенностью морского права стало появление особых статей, касающихся статуса научных исследований в океане. Общеизвестно, что они выполняются на благо всего человечества. Я уже перечислил основные аспекты науки океанологии. Это подлинно научная оценка роли океана в природных явлениях нашей планеты — выявление природных ресурсов Мирового океана, обоснование рационального их использования, исследования экологического характера для сохранения Мирового океана как важного фактора окружающей среды в интересах благосостояния человечества. Научные работники иногда проявляют подлинный героизм, выполняя работы на поверхности океана и в его глубинах, проводя в сложных морских условиях многие месяцы. Все человечество без исключения заинтересовано в проведении морских научных исследований в возможно более широком масштабе.

Наука накопила большой потенциал для того, чтобы понять поведение океана как важной планетарной системы и выявить его ресурсы для использования на благо человечества. Ежегодно на исследования океана и на разработку новых средств для этого выделяется по скромным оценкам несколько миллиардов долларов. Одновременно в Мировом океане и прилегающих морях находятся сотни исследовательских кораблей, многие десятки тысяч научных работников и членов команд этих кораблей. Однако для эффективного использования и специалистов, и научной аппаратуры необходимы вполне определенные условия, и прежде всего определенная свобода научных исследований в океане, что само по себе естественно, поскольку научная работа океанологов непосредственно не связана с использованием какого-либо ресурса океана, если даже плавучая лаборатория расположилась, скажем, в экономической зоне прибрежного государства. Поэтому логически оправданным был бы соответствующий закон в рамках морского права, обеспечивающий определенную свободу морских исследований. К сожалению, на самом деле сложилась совсем иная ситуация, хотя вопрос о свободе исследований в Мировом океане и прилегающих к нему морях и занимал весьма большое место в работе Третьей конференции по морскому праву.

Нетрудно догадаться, что вопросы об исследованиях в экономических зонах прибрежных стран, с одной стороны, и в международном районе океана — с другой, выглядят по-разному, это естественно. Что касается международного района или района открытого океана, то здесь свободу исследований пока никто не оспаривал. В какой-то степени это зависит от того, какие директивные или правовые документы по морскому дну будут приняты международным органом. Однако надо надеяться, что ограничения на свободу исследований здесь по-прежнему не последует. Другое дело — экономические зоны. Многие страны (особенно развивающиеся, наученные горьким опытом взаимоотношений с развитыми капиталистическими странами) с подозрением относятся к появлению любых судов, в том числе и исследовательских, в водах их экономических зон. Однако подобные исследования совершенно необходимы, ибо они носят глобальный характер. Посудите сами. Во-первых, без исследований в экономических зонах и в зоне берегового шельфа, которые в целом,

как я уже указывал, занимают около 40% площади океанов, невозможно выявить общие океанические закономерности, в частности вопросы циркуляции океана, взаимодействия его с атмосферой, поведения отдельных частей биологического сообщества и т. д. Кроме того, в подобной научной работе заинтересованы сами прибрежные страны, поскольку в результате деятельности коллективов ученых раскрываются ресурсы экономической зоны, которые в дальнейшем могут быть использованы.

Борьба на конференции шла между сторонниками «уведомительного» и «разрешительного» режимов исследований. В случае принятия «уведомительного» режима для свободы исследований в экономических зонах никаких препятствий не существовало бы. В этом случае страна, ученые которой проводят исследования, просто должна уведомить прибрежную страну о сроках, тематике научной работы и составе исследовательской группы. Другое дело, если речь пойдет о режиме «разрешительном». В этом случае, как и раньше, страна, проводящая исследования, должна сообщить о планируемых исследованиях, но прибрежная страна имеет право разрешить их или запретить.

Большинство участников этой конференции высказались за разрешительный режим. Однако в Конвенции оговорено, что прибрежная страна не может не разрешить исследования, если они не связаны с военными вопросами или с разведкой ресурсов океана. Прибрежная страна не имеет права отказать в разрешении, если выполнены определенные требования. Я перечислю их по пунктам:

1) заблаговременное уведомление прибрежной страны со стороны страны, проводящей исследования, о намечаемых исследованиях и их программе;

2) по любому требованию прибрежной страны на борт исследовательского корабля должны быть приняты специалисты-океанологи этой страны для наблюдений и совместной работы;

3) прибрежная страна, в зоне которой происходит исследование, должна получить подробный отчет о проделанной работе.

На мой взгляд, все требования вполне логичны. При правильной постановке дела это будет лишь способствовать развитию науки и росту научных кадров в самой прибрежной стране. Однако, к сожалению, знаю это по собст-

венному опыту, дело сводится к длинной бюрократической волоките. Даже такая естественная вещь, как представление отчета о работе, становится проблемой, если, как это часто бывает, требуется использование языка прибрежной страны. А что такое перевод на редкий язык научных трудов, я думаю, понимает каждый!

Опять-таки из опыта длительных экспедиций ученым-океанологам известно, что часто научно-исследовательскому судну бывает трудно просто зайти в порты прибрежных стран (даже если никаких исследований в экономической зоне прибрежной страны заведомо не осуществляется). А такие заходы необходимы для пополнения запасов воды, провизии и топлива.

Курьезно, что в существующем уже многие десятилетия морском праве и даже в его усовершенствованных вариантах в новой Конвенции научно-исследовательское судно не существует как правовая единица. Как и много веков назад, все суда делятся лишь на две категории — суда военные и невоенные, т. е. торговые. Естественно, научно-исследовательские корабли как невоенные попадают в класс торговых. Это явно ущемляет статус научно-исследовательских кораблей, так как они проводят исследования не в интересах экономики какой-нибудь страны, а работают для всего человечества. На самом же деле часто к научно-исследовательским кораблям относятся хуже, чем к торговым, из-за шпиономании некоторых государств. Во всяком случае, для оформления захода научно-исследовательского корабля в порты почти всех стран необходимо уведомление за 1—2 месяца, в то время как для торгового корабля срок значительно более короткий. Часто научно-исследовательским судам вообще отказывают в заходе по совершенно необоснованным «политическим» причинам.

Выход из этого непростого положения заключается прежде всего в международной разрядке, улучшении международных политических отношений, т. е. именно в том, чему иногда противятся на деле США и их союзники.

Кроме того, и это можно сделать уже сейчас, необходимо устраивать как можно больше международных экспедиций под эгидой ООН и различных ее организаций. При этом необходимо включать в состав участников экспедиции ученых тех стран, в экономических зонах которых должны быть проведены исследования, а также госу-

дарств, расположенных за пределами этих зон, но в данном районе Мирового океана. Такие экспедиции полезны также и в том смысле, что развивающимся странам будет передаваться научная информация, у них будут расширяться свои научные исследования, расти собственные научные кадры. При этом будут развиваться научные контакты между учеными различных стран, что в конечном счете будет содействовать и политической разрядке. Я уж не говорю о том, что результаты исследований, особенно те, где выявляются ресурсы океана, будут поставлены прежде всего на службу прибрежным странам. В какой-то степени это будет содействовать благополучию всего человечества.

Перейдем теперь к обычному морскому судоходству. Естественно, что режим морского судоходства является большим, едва ли не самым главным разделом морского права. Стоит вспомнить, что морское право по судоходству создавалось десятилетиями. Теперь это целая наука.

Мы остановимся только на очень небольшом количестве вопросов. В основном это те, что вызваны научно-технической революцией последнего времени в судостроении и судоходстве. Кроме того, я упомяну некоторые достаточно острые вопросы, которые обсуждались на Третьей конференции по морскому праву.

Морские трассы торговых судов можно смело назвать кровеносными сосудами современного мира. Разделение труда в современном мире является одним из основных принципов экономической жизни. Поэтому исключительно велик и непрерывно возрастает объем перевозок между различными странами и континентами. Подавляющая часть международных перевозок осуществляется водными путями. Свобода судоходства и свобода морей является жизненно важным принципом для многих стран. Этот принцип остается в силе и сейчас, хотя он регулируется ныне определенными положениями, содержащимися в правовом статусе океана.

На Третьей конференции по морскому праву много внимания было уделено режиму судоходства в экономических зонах, поскольку эти зоны, как уже указывалось, занимают значительную часть площади океанов и морей. Озабоченные растущим загрязнением морей, в том числе и от проходящих кораблей, некоторые страны ставили вопрос о праве прибрежного государства остано-

ливать и подвергать наказаниям в соответствии с законами страны проходящие через их экономические зоны корабли в случае нефтяного, радиоактивного или любого другого загрязнения с этих кораблей. Разумеется, загрязнением морей обеспокоены не только прибрежные страны, подвергающиеся этой напасти, но и все человечество. Однако допускать практически ничем не ограниченные действия со стороны прибрежного государства по отношению к кораблям, проходящим через его экономическую зону, было бы тоже неправильно.

Прибрежное государство под предлогом инспекции кораблей на возможность загрязнения с них, или выдвигая в случае конфликтных ситуаций неоправданные требования, могло бы фактически блокировать судоходство через свою экономическую зону. Поэтому большинство стран высказалось за полную свободу прохода кораблей через экономические зоны. За прибрежной страной остается право расследования, когда корабль-загрязнитель зашел в порт этой страны. Если корабль, виновный в загрязнении, не зашел в порт прибрежной страны, то за последней остается естественное право поднять в соответствующих международных организациях вопрос о санкциях.

Очень непросто вопрос об ответственности судоходной компании при загрязнении побережий в результате аварий крупных танкеров и разливов нефти. Такие аварии часто приводят к опустошению всего живого на большой линии побережья и приносят большой ущерб прибрежной стране. Какова в этих случаях ответственность судоходных компаний? Ущерб, нанесенный природе, при этом обычно столь велик, что мало имеется судоходных компаний, способных возместить его. Правда, по морским правилам требуется, чтобы судоходные компании страховали свои суда на этот случай, и тогда ущерб должны выплачивать страховые компании. Но это тоже не так просто, поскольку страховые компании должны заранее представлять себе размер риска и размер страховых платежей. При чрезмерно строгом отношении к этому вопросу могли бы возникнуть весьма неблагоприятные препятствия для судоходства, связанного с перевозкой нефти. Естественно, пострадала бы вся мировая экономика, включая экономику тех же прибрежных стран. Здесь должна быть найдена и в какой-то степени была найдена золотая середина о разумной ответственности в таких случаях.

Много острых дискуссий вызвал вопрос о проходе морских судов через проливы. Уже давно в морском праве был закреплен принцип свободного прохода через международные проливы. Однако в результате того, что теперь территориальные воды раздвинулись до 12 морских миль, многие международные проливы попали в территориальные воды. Прибрежные страны требовали распространения на эти проливы тех же правил, какие существуют при проходе через территориальные воды. Принятие такого положения вызвало бы ряд неблагоприятных явлений, связанных с тем, что проход через проливы надо было бы дополнительно оплачивать. Это вызвало бы уменьшение интенсивности судоходства, а возможно, задержку и возникновение больших очередей при проходе через проливы, как следствие, — понижение деловой активности портов, увеличение безработицы среди докеров. Несомненно, появились бы и многие другие неблагоприятные последствия. Поэтому в результате многочисленных дискуссий, а главное в результате решения вопросов в едином «пакете» удалось оставить неизменным прежнее правило свободного прохода через международные проливы. В Конвенции прямо отмечено, что при транзитном проходе кораблей через проливы из одного района открытого моря в другой как кораблям, так и летательным аппаратам не должно чиниться никаких препятствий. Такой транзитный проход и является осуществлением принципа свободы судоходства. Иностранные суда, осуществляющие право подобного транзитного прохода, должны соблюдать законные, установленные государствами, граничащими с проливами, правила в части безопасности судоходства и предотвращения загрязнения вод.

Принцип свободного прохода через проливы относится также и к военным кораблям. Ограничение такого прохода прибрежными государствами было бы весьма неблагоприятным явлением. Оно нанесло бы удар по оборонным функциям миролюбивых государств, вследствие чего у многих народов исчезло бы чувство безопасности со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В наш век научно-технической революции появляются все новые и новые средства судоходства. Естественно, непрерывно должно совершенствоваться и морское право, относящееся к судоходству.

Так, например, появился вид перевозок, где используются суда нового типа — лихтеровозы, т. е. корабли, на борту которых находится некоторое количество сравнительно небольших самоходных барж. Эти баржи, будучи спущенными с лихтеровоза, могут подойти к причалу независимо, не требуя глубокой воды у причальной стены, и разгружаться все одновременно, сокращая тем самым время нахождения в порту. Такие баржи могут подниматься и по сравнительно мелким рекам. Естественно, возникает вопрос о правовом статусе такой отдельной баржи. Имеет ли она, например, государственный иммунитет, как судно, с которого она была спущена, или ее следует рассматривать как совершенно самостоятельную единицу? Другими словами, какими правами и какой ответственностью обладает такая плавающая единица?

Возникновение судов на воздушной подушке также вызвало целый ряд правовых споров. Эти суда передвигаются, не касаясь воды. Кроме того, они могут передвигаться как над водой, так и над сушей. Что же это такое — судно или летательный аппарат? Вопрос отнюдь не академический — ведь эти два рода транспортных средств обладают существенно разными правовыми статусами. Чтобы показать, что это вполне злободневная проблема, можно привести случай, который рассматривался французским судом. Профсоюз лоцманов порта Кале представил иск английской компании «Ховер Ллойд». Считая судно на воздушной подушке морским кораблем, профсоюз настаивал на уплате компанией лоцманских сборов. Компания же отклоняла это требование, утверждая, что в данном случае имеется не судно, а летательный аппарат и поэтому на него не распространяется положение о взимании морских сборов.

За последние годы все больше расширяется флот научно-исследовательских судов, действующих в океане, — флот, насыщенный судами самых различных типов и габаритов. Создаются торговые и ледокольные корабли с ядерными установками. Видимо, скоро появятся подводные торговые корабли, в первую очередь танкеры. Все это вместе с возникновением таких особых единиц судоходства, как супертанкеры, привело к тому, что некоторые страны, в территориальных водах которых находятся международные проливы, потребовали отнести все эти суда к классу судов с особыми характеристиками. Предполага-

лось, что правила прохода таких кораблей через проливы будут регулироваться особыми соглашениями. Однако большинство стран, участвующих в конференции по морскому праву, не пошло по этому пути. Выше уже было показано, какие неблагоприятные последствия могли бы вытекать для всего международного сообщества, если бы свобода прохода через проливы стала существенно ограничиваться. А ведь стоит вспомнить, что количество судов, которые могли бы быть отнесены к классу имеющих особые характеристики, непрерывно возрастает. Такие суда вообще не имеет смысла относить в особую категорию, если они не загрязняют воду в проливах, не мешают нормальному судоходству и не приносят какой-нибудь материальный ущерб прибрежной стране. Вид двигателя или способ перемещения в данном случае не имеют существенного значения.

И наконец, одна из главных проблем, стоявших перед конференцией, — проблема, значение которой трудно переоценить. Я имею в виду здоровье океана.

Непрерывно возрастает загрязнение Мирового океана — тут и выбросы с кораблей, нефтяные разливы, захоронения ядерных отходов на дне, вынос загрязняющих веществ через реки, попадание вредных веществ в океан через атмосферу и многое другое.

На международных конференциях на Мальте под девизом «Мир на море» в 1970—1971 гг. была выдвинута идея, в соответствии с которой основой международного морского права должно быть сохранение здоровья Мирового океана. При этом предполагалось создание некоторой международной организации, наделенной надгосударственными правами, которая регулировала бы использование Мирового океана и прилегающих морей. Она должна была бы располагать очень широкими правами. В частности, любое действие прибрежной страны, даже в зоне ее юрисдикции — в экономической зоне, на континентальном шельфе или в территориальных водах, которое могло бы привести к загрязнению морской среды, должно было бы осуществляться только с ведома и разрешения этого надгосударственного органа.

Нечего и говорить, что забота о чистоте океана является обоснованной, но также совершенно ясно, что подобное предложение совершенно нереально.

Невозможно создать мировое океанское правительство. Более того, если бы эта мечта некоторых недалёковидных, а может быть, и очень дальновидных политиков осуществилась, то возникла бы опасность действий такого «правительства» в интересах ограниченного круга государств, захвативших там власть.

Важность вопроса — сохранение здоровья Мирового океана и прилегающих к нему морей — ясна всем. Однако не все государства подходят к нему одинаково. Наша страна проводит активные меры по защите чистоты морской среды. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1985—1990 годы и на период до 2000 года, принятых XXVII съездом КПСС, указывается на необходимость осуществлять мероприятия по охране окружающей среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, включая и охрану морей. У нас строятся водоохранительные объекты в бассейнах Черного, Азовского, Балтийского, Каспийского морей. Ставится задача по усилению охраны морей и рек и других водоемов Арктического бассейна от загрязнения.

Каждому совершенно ясно, что именно морское право должно поставить эффективный барьер тенденциям, существующим в капиталистическом мире, где в целях повышения наживы и понижения своей ответственности судоходные компании приписывают свои суда в порты стран с так называемыми «дешевыми», «удобными», т. е. по существу подставными, флагами. В этих странах нет жесткого требования к техническому совершенствованию кораблей, менее строги и другие правила эксплуатации судов. Неудивительно, что у судов под такими подставными флагами столь велик процент аварийности.

Нереальность для решения экологических проблем Мирового океана пути, предложенного некоторыми участниками Мальтийской конференции (создание надправительственного органа), видна хотя бы из того, что морская экология тесно связана с глобальной, в том числе континентальной, поскольку вынос загрязняющих веществ с водами рек или поступление их из атмосферы являются совсем не малой долей загрязнения океана. Таким образом, надо было бы создавать надгосударственную организацию с юрисдикцией, охватывающей не только водные просторы, но и сушу, т. е. действительно некое мировое

правительство. Утопичность и вредность такого предложения, я думаю, понятны всем.

В морском праве есть немало статей, предусматривающих борьбу с загрязнением Мирового океана. Здесь и статьи, позволяющие вести борьбу с загрязнением моря нефтью, радиоактивными материалами, статьи, запрещающие слив технических вод с судов, и многое другое. Будем надеяться, что в международном праве появятся статьи, касающиеся ограничения выноса загрязняющих веществ со стоком рек и т. д. Борьбу с загрязнением океана надо усиливать. Однако ее надо вести не на путях утопических предложений, а в рамках практически действующего и непрерывно совершенствующегося реального морского права.

Завершая эту главу, я еще раз хочу отметить, насколько титанически сложной была работа по созданию всеобъемлющей Конвенции по морскому праву, содержащей несколько сотен страниц текста и более тысячи различных взаимосвязанных статей и пунктов.

Трудности усугублялись противоречивыми интересами разных стран и групп стран. Чрезвычайно широк был и диапазон вопросов, которые должна была охватить Конвенция. О некоторых из них, возникших в связи с техническим прогрессом, мы уже говорили. Но нельзя было забывать и «старых» проблем, которые могут по-новому проявляться и в наше время. Так, в Конвенции возникла статья 99 «Запрет перевозки рабов», а также статья 105 «Захват пиратского судна или пиратского летательного аппарата».

Такова ситуация с международным морским правом.

То, о чем я рассказал, — лишь первые шаги в столь важном деле, но главное, что они сделаны. Будем надеяться, что другие «шаги» еще больше сблизят все страны мира в их общей борьбе за чистоту Мирового океана, за то, чтобы ресурсы его стали общим достоянием всего человечества!

Глава десятая

ЧТО ВПЕРЕДИ

В настоящем зреет будущее.

ЛЕЙБНИЦ

Надеюсь, что изложенное в предыдущих главах дает читателю достаточное представление о непрерывно расширяющихся масштабах использования человеком ресурсов Мирового океана, а также связанном с этим широким круге проблем, включая правовые. В настоящей главе мне хотелось бы попытаться дать прогноз развития науки об океане на ближайшие одно-два десятилетия.

10.1. Океанология в будущем

Как будет развиваться наша наука в дальнейшем? Какие значительные открытия надо ожидать в ближайшем будущем? Это трудные вопросы. Читатели уже познакомились с историей некоторых открытий и хорошо знают, что, как правило, открытий нельзя предсказать. Однако кое-что можно сделать, не пытаясь угадывать, а учитывая «белые пятна», еще существующие в нашей науке, перспективность или необходимость той или иной линии исследований. Исходя из этого в 1969 г. международная группа крупных ученых составила прогноз развития океанологии с выделением наиболее важных направлений ее развития в ближайшие годы (так называемый Понца-доклад, названный так по наименованию итальянского острова, где собиралась группа). Но здесь-то и проявились все трудности прогнозирования развития науки. Хотя большинство из направлений, указанных в докладе как наиболее важные и обещающие, такими в действительности и оказались, однако многое оказалось совершенно непредсказуемым. Так, например, в докладе отсутствовало даже упоминание о синоптических вихрях, которые были открыты уже в следующем 1970 г., а через несколько лет стали одним из наиболее важных направлений динамики океана.

Надо сказать, что существует довольно курьезный парадокс. Чем больше мы ошибаемся в прогнозе будущего

развития науки, тем лучше. Действительно, чем активнее будет развиваться наука, тем менее надежен прогноз. Мы ошибемся в прогнозе тем сильнее, чем больше будет неожиданных открытий, а это самое важное для науки. Однако мы попытаемся все же представить себе развитие океанологии в ближайшие 10–20 лет. Наиболее надежный путь такого прогнозирования состоит в анализе запросов практики, с одной стороны, и развития технических методов исследований — с другой.

Начнем с практики. Расширение способов и путей использования океана повышает, естественно, требования к прогнозу его состояния. В частности, быстро увеличивается число установок в открытом море, уязвимых для экстремальных погодных условий. Следовательно, такие условия необходимо уметь прогнозировать.

Насколько важно знать прогноз состояния океана и атмосферы над ним, видно, например, из практики работы бурильных кораблей. Обычный транспортный корабль может избежать встречи с морским ураганом. При этом ему достаточно изменить курс, если капитан за 5–8 ч получил предупреждение о появлении такого урагана и направлении его движения. Иное дело — бурильный корабль. Когда в глубоком океане бурится дно, то длина связки бурильных труб достигает 5–7 км. Для того чтобы выбрать ее, нужно определенное время — около 5–6 ч. В это время корабль не может покинуть место своей работы. По этой причине в октябре 1983 г. в Южно-Китайском море погиб бурильный корабль одной американской компании. Даже получив предупреждение от метеостанции, экипаж не успел вынуть связку бурильных труб, а корабль — уйти.

Непрерывно повышаются требования к прогнозу погоды со стороны представителей военно-морских сил. Для командиров подводных лодок важно знать подводные течения, особенности внутренних волн. Необходимы также данные о характере стратификации морских вод, поскольку от этого зависит дальность распространения звуковых волн и соответственно расстояние, на котором подводная лодка «слышит» шум лодки предполагаемого противника. Вот почему в США более половины океанографических исследований финансируется военно-морским флотом.

Итак, первейшая задача океанологии — знать состояние океана, его поверхности и глубин в любой момент

времени и уметь прогнозировать изменения этого состояния в будущем. Как этого достичь?

Несколько лет тому назад в Женеве на международной встрече ученых была сформулирована многолетняя программа исследования климата нашей планеты. Ее задача — провести координированные исследования ученых разных стран для того, чтобы создать научную базу для прогноза долговременных изменений состояния океана и атмосферы, что важно практически для любого вида деятельности человека на нашей планете. Важной частью этой климатической программы являются исследования влияния океана на климат континентов — перенос тепла океанскими течениями типа Гольфстрим, Куроисио и других, обмен теплом и влагой океана с атмосферой в экваториальной и полярной зонах, состояние льдов и т. д.

Вся эта программа, как и многочисленные другие требования практики, приведет к существенному расширению масштабов мониторинга Мирового океана. Он будет заключаться в непрерывной регистрации поверхностной температуры, волнения, приповерхностного ветра, фронтальных зон, течений, льдов и т. д. Для этой цели будут прежде всего развиваться космические методы наблюдения и наверняка появятся разветвленные сети коммуникаций для передачи большого потока информации с космических средств в национальные и международные центры океанографических данных. Будут увеличиваться мощности электронно-вычислительных средств для обработки этой информации. Как дополнение к космическим средствам, которые позволяют изучить только поверхностный слой океана, будут развиваться акустические методы зондирования глубинных слоев. Мы предвидим развитие математических моделей строения океана и его динамики. С помощью этих моделей можно будет по некоторым данным, касающимся поверхностного слоя, предвычислить состояние его глубинных слоев. Будет увеличиваться также сеть дрейфующих буев, передающих данные о физическом состоянии внутренних слоев океана на космические средства.

Как я только что рассказывал, борьба с загрязнением океана и прилегающих к нему морей ведется в мировом масштабе, и большая часть новой Конвенции по морскому праву посвящена санкциям за загрязнение океана. Безусловно запрещены всякие сливы загрязненной (в част-

ности, нефтью) воды в море. Современные транспортные и исследовательские корабли оборудованы совершенными системами ликвидации различных отбросов и отходов жизнедеятельности корабля без выброса их в океан. Однако все равно загрязненность океана непрерывно повышается. Для того чтобы знать, как это скажется на взаимодействии океана с атмосферой и на других сторонах жизни океана, необходимо будет разработать соответствующие математические модели, содержащие как минимум две части — экологическую и физическую. Они должны базироваться на развитом экологическом и физическом мониторинге океана. Пользуясь такими моделями, ученые смогут определить, в каких частях океана и какого рода загрязнения являются катастрофическими и какие загрязнения океан может переработать.

Стоит заметить, что загрязнение морей происходит не только вследствие деятельности человека в море, но также от индустриальных выбросов на берегу моря, на берегах рек, впадающих в море, а также сельскохозяйственной практики человека — вынос в реки, а затем в моря пестицидов, удобрений и т. д. Такого рода загрязнения морей пока контролируются слабо. И здесь также необходима помощь науки, ибо одна из насущных задач — разработка соответствующих нормативов и методов.

Расширение морского транспорта, особенно в высоких широтах, требует эффективного мониторинга ледовой обстановки северных морей. Необходим также эффективный прогноз такой обстановки, для чего опять-таки должны появиться математические модели, учитывающие взаимодействие моря, льда и атмосферы. Это крайне необходимо и для уверенной эксплуатации нефтяных и газовых ресурсов шельфа морей Северного Ледовитого океана.

Необходимо отметить, что без мониторинга ледовой обстановки нельзя разработать и мировую климатическую программу. Это не каждому может показаться очевидным, но я приведу два соображения, которые сразу же убедят в этом читателя. Именно в полярных районах на границе открытой воды и льда формируются глубинные холодные воды, которые затем распространяются в тропические зоны. Океан представляет собой самый мощный холодильник нашей планеты. Большая часть его вод обладает температурой $1-3^{\circ}$ — это так называемые глубинные воды, образующиеся в полярных районах. Ясно, что их наличие

является мощным фактором, обуславливающим определенную инерционность климата нашей планеты.

Далее, человек заинтересован, чтобы при изменении климата в сторону потепления или похолодания как можно раньше обнаружить эту тенденцию. Вполне возможно, что она лучше всего будет обнаруживаться по изменению границы открытая вода — лед, так как при похолодании она сдвигается на юг, при потеплении — на север.

Правильное использование биологических ресурсов Мирового океана, в масштабах, существенно ббльших, чем современные, требует построения экологической модели океана. Для этого необходимо осуществить широкий биологический мониторинг океана, т. е. создать систему, позволяющую следить за пространственными и временными изменениями различных видов морского населения. Между тем осуществить такой мониторинг чрезвычайно трудно. Действительно, что сейчас можно получить для биологии моря с помощью космических средств или самолетов? Весьма немного — пожалуй, только сведения о количестве хлорофилла в самом приповерхностном слое океана. И это только, если море не покрыто облаками, так как наблюдения за хлорофиллом ведутся в видимой части спектра, для которого облака — преграда. Кроме того, как раз наиболее интересные своей максимальной первичной продуктивностью слои в тропических и умеренных широтах летом находятся не на самой поверхности, а под поверхностью, откуда получить информацию для космических средств невозможно.

Другие виды биологических наблюдений, включающие, кроме первичной, также и вторичную продукцию — количество питательных веществ, наличие разных видов рыб, а также других промысловых организмов, производятся пока очень трудоемким способом. Ученые, как правило, производят обловы на различных горизонтах или берут пробы воды для определения количеств питательных веществ. Только при промысловом лове используются гидроакустические локаторы, при помощи которых можно находить косяки рыб, но отнюдь не всегда можно таким образом определять концентрацию рыбы и ее вид.

В ближайшем будущем надо ожидать развития техники биологических исследований. Возникнут приборы, которые позволят определять количество хлорофилла,

первичную и вторичную продукцию на любом горизонте при помощи такого же зондирования, как теперь происходит зондирование температуры и солености. Надо думать, что подобные приборы будут устанавливаться и на дрейфующих буях, которые будут передавать результаты своих наблюдений на спутники. Далее они попадут в лаборатории ученых. Вероятно, биологи со временем будут производить синхронные наблюдения на больших площадях и во многих точках. Так появятся биологические полигонные эксперименты, с помощью которых можно будет определять пространственное распределение различных видов организмов, а также временную и пространственную их динамику.

Конечно, будут разрабатываться глобальные математические модели, описывающие экологию океана. В них будут учтены как многочисленные связи между различными уровнями жизни в океане, так и факторы физического плана — течения, вихри, перемешивание вод.

Несомненно, свой большой вклад в усовершенствование биологических наблюдений внесет подводная акустика. Всем известно, насколько эффективны акустические методы для регистрации небольших рыбок и других организмов в звукорассеивающих слоях. Млекопитающие и многие виды рыб, а также ракообразные легко фиксируются по различного рода шумам, ими издаваемым. Низкочастотные «песни» горбатых китов, например, можно услышать на расстоянии многих тысяч километров.

Выше мы уже говорили, что в настоящее время ученые разрабатывают особую методику физических измерений в океане и принципы так называемой акустической томографии океана. Это система в океане, состоящая из достаточно большого количества закоренных акустических станций. На каждой станции имеется один или несколько излучателей и приемников звука. Структура вод океана и течения определяются по временам пробега звуковых импульсов по разным лучам от каждой станции до всех остальных с привлечением, возможно, и других характеристик звукового поля.

Однако в дальнейшем функции каждой такой акустической станции, по-видимому, будут расширены. В самом деле, акустические системы способны воспринимать все окружающие шумы в океане. Тем самым они могут обнаруживать и следить за поведением морских организмов,

жизнедеятельность которых связана со звуковым излучением. По-видимому, все эти станции или хотя бы некоторые из них будут передавать информацию в космос. Кроме того, станции томографической системы смогут регистрировать перемещение глубоководных буев нейтральной плавучести, которые ученые используют, чтобы проследить глубинные течения.

В принципе подобные буи могут выполнять те же функции, что и станции системы акустической томографии — принимать акустические сигналы, распространяющиеся различными путями от системы излучателей, и по временам пробега определять структуру вод. Для этого необходимо как можно точнее определять местоположение буев. Задача более простая, чем определение сложной структуры вод, и ее можно решать с помощью сравнительно небольшого количества заякоренных океанских станций, гораздо меньшего, чем намечается для полной системы акустической томографии. Таким образом, в будущем, надо думать, появится объединенная очень эффективная система, состоящая из трех подсистем: космические средства, дрейфующие буи нейтральной плавучести и стационарные акустические станции.

Мы уже неоднократно говорили, что космические исследования океана и акустические измерения как бы дополняют друг друга. В самом деле, для наблюдений из космоса используют электромагнитные волны, которые дают большую информацию о поверхности океана и приповерхностных слоях атмосферы и океана. Однако они пока бессильны проникнуть в воду и выдать информацию о глубинных слоях океана. Но как раз в этом случае эффективны звуковые волны, прекрасно распространяющиеся на любых глубинах океана. Вполне возможно, что в будущем эти два метода удастся связать друг с другом. Например, мощный оптический импульс, рожденный лазером самолета или космической станции, ударяясь о морскую поверхность, создает в воде акустический импульс заметной интенсивности. Полученный таким образом звуковой сигнал можно снова использовать для разных целей: определить глубину моря методом эхолотирования, раскрыть структуру водных масс методом акустической томографии и т. д.

Возьмем для примера простейший случай — измерение глубины океана. Звуковой импульс, рожденный лучом

лазера на поверхности воды, достигнет дна, отразится от него и возвратится снова к поверхности. Как его там обнаружить с летательного аппарата? Оказывается, это тоже небезнадежная задача. Для этого надо использовать другой лазер, который своим лучом будет прощупывать рельеф поверхности и обнаруживать те незначительные его изменения, которые будут вызваны звуковым импульсом.

Что можно еще сказать о будущем других разделов океанологии? Ученые, изучающие геологическое строение морского дна, уверены, что в ближайшем будущем будет развиваться единая теория Земли, формирующаяся сейчас на базе концепции тектоники литосферных плит. В этом сравнительно стройном построении есть и целый ряд нерешенных вопросов, а также факты, которые в нее не укладываются. Одна из важнейших проблем единой теории Земли — как именно образуются полезные минеральные ископаемые.

Конечно, будет развиваться техника геофизических исследований морского дна, в частности электромагнитные методы. Возможно, найдут широкое применение мощные источники электромагнитных полей, например магнитогидродинамические (МГД) генераторы. Широкое применение найдут донные магнитометры и приборы для измерения электрического поля.

На суше геофизики уже некоторое время тому назад стали применять в исследовательских целях вибраторы. Вибраторы создают мощные периодические смещения почвы, которые затем распространяются в виде упругих волн в земной коре. Сотни приемников регистрируют смещения почвы, вызванные этими волнами, что позволяет определять структуру глубинных слоев Земли. Вполне возможно, что такую же методику можно применить и в морских геофизических исследованиях. Место вибраторов в этих случаях могут занять подводные излучатели инфразвука.

Процессы в гидротермах — горячих расщелинах, где образуется новое морское дно, только начинают исследоваться, так что вполне возможны новые неожиданные и интересные открытия. Важность этих исследований определяется тем, что, видимо, именно здесь образуются залежи полезных ископаемых. Морская вода, проникая в разломы, реагирует с глубинными породами, выщелачивая из

базальтов металлы. Затем соли этих металлов откладываются на поверхности дна. Одно из проявлений такого процесса — многочисленные залежи сульфидных руд.

Биологи также могут ожидать интересных открытий в этой зоне, где происходит, казалось бы, невозможное. Подумайте сами — при температуре около 250° С и немыслимых давлениях там существует жизнь. Правда, это жизнь бактериальной природы, но именно эти бактерии, питающиеся сероводородом, выделяющимся из расщелин, дают начало богатой жизни вокруг гидротерм. Экология чрезвычайно интересных образований только начинает изучаться. По-видимому, большинство исследований гидротерм и разломов будет проведено с подводных обитаемых и необитаемых аппаратов, которые в настоящее время быстро совершенствуются.

Все еще по-настоящему не решена фундаментальная проблема геологии и гидрохимии океанского дна: как рождаются и растут железомарганцевые конкреции? Известно, что залежи их весьма неоднородны, имеют пятнистый характер. Недавно ученые Института океанологии АН СССР обнаружили, что даже в пределах площади в 1 км² концентрация конкреций и содержание в них полезных металлов сильно варьируют. Чем объясняется такая пятнистость? По-видимому, количество конкреций и концентрация в них металлов как-то связаны с химическим составом вод, течениями, быстротой осадкообразования в данном районе дна океана. Например, хорошо известно, что при быстром осадкообразовании железомарганцевые конкреции вообще не рождаются. Изучив все эти связи, можно с большей уверенностью развивать методы их промышленной добычи.

Глубоководное бурение океанского дна останется важнейшим непрерывно совершенствующимся методом геологических исследований в океане. Здесь опять-таки соединяются практика и фундаментальная наука. Я думаю, что наконец будет освоено бурение твердых пород, подстилающих осадки. Кажутся перспективными исследовательские работы, в которых используются измерительные приборы, внедренные внутрь скважин, пробуренных бурильным кораблем. Это чрезвычайно удобно. Установлено, например, что для сейсмографа, помещенного в скважину ниже границы осадочного слоя (в монолитную породу), внешние помехи в сотни и тысячи раз меньше, чем если

бы он находился на границе вода—дно. Собственно говоря, ничего удивительного в этом нет, поскольку основные помехи для сейсмометра обусловлены микросейсмами, возникающими, в частности, от волнения на поверхности океана. Эти микросейсмы существенно затухают, проходя через слой осадков. Таким образом, сейсмограф, расположенный в скважине под слоем осадочных пород, способен улавливать сейсмические сигналы во много раз меньшей силы. Тем самым открываются весьма благоприятные перспективы для изучения глубинных слоев методом записи и анализа сейсмических волн, приходящих, скажем, от удаленных землетрясений или от извержений вулканов.

Тщательное изучение дна океана и всех процессов, происходящих там, необходимо еще с одной весьма практической точки зрения. Речь идет о проблеме захоронения радиоактивных отходов ядерной энергетики. В поисках подходящего места взоры вновь и вновь обращаются к морскому дну. Нельзя ли канистры с отходами зарывать в слое морских осадков? Прежде чем решиться на это весьма рискованное предприятие, нужно провести самое тщательное обследование предполагаемых районов захоронения. Надо убедиться, что район абсолютно несейсмичен, а толщина слоя осадков позволяет поместить радиоактивные отходы достаточно глубоко. Существует опасность выноса отходов в водную толщу океана, если существует хоть какое-то движение воды, пронизывающее осадочные породы. Так что необходим самый скрупулезный анализ возможных перемещений воды, ибо надо помнить, что любые неудачи, связанные с захоронением радиоактивных отходов, сопряжены с большой опасностью для грядущих поколений.

На этом я закончу ту часть моих предположений о будущем океанологии, где я чаще всего оперировал словами «вероятно», «возможно» и т. д., памятуя о трудной предсказуемости научных открытий. В общем я касался проблем, которые надо решить. Быть может, действительные методы решения будут совсем иными. Будущее покажет. Сейчас я перейду к рассказу о наших обширных программах исследовательской работы — уже не прогноз, а развернутая программа деятельности больших коллективов океанологов на ближайшее десятилетие.

Начну с программы «Разрезы», сформулированной в конце 70-х годов и рассчитанной на 80-е годы. В каком-то

виде работы, по-видимому, будут продолжаться и в 90-е годы. Ее идеологом и руководителем является академик Г. И. Марчук. Основная задача программы — понимание того, как океан сказывается на краткосрочных колебаниях климата на нашей планете за периоды в несколько лет¹, о чем я уже говорил. Напомню, что основная идея программы состоит в следующем. В формировании погоды, а значит, и климата на земном шаре участвуют все крупные водные бассейны. Строго говоря, надо было бы держать под наблюдением весь Мировой океан и прилегающие к нему моря, измерять поверхностную и глубинные температуры, перенос тепла течениями, обмен с атмосферой теплом, влагой и количеством движения и многое другое. Затем надо было бы включить все полученные данные в математические модели циркуляции атмосферы и океана, учитывающие также взаимодействие атмосферы и океана с континентами. И это дало бы нам возможность прогнозировать и погоду, и климат будущего. Однако пока что эта работа человечеству не по плечу. Приходится довольствоваться меньшим. В свое время академик Г. И. Марчук заметил, что не все районы Мирового океана одинаково эффективно влияют на погоду и климат. Работы вначале были чисто математические. Г. И. Марчук разработал теорию так называемых сопряженных уравнений для циркуляции атмосферы с учетом влияния океана. Зная реальную погоду в разных частях земного шара в настоящий момент, с помощью этих уравнений можно оценить, какие районы океана сказались на ее формировании больше всего. И вот тут-то и выяснилось, что не все районы океана равноценны, а некоторые взаимодействуют с атмосферой наиболее активно. Изменения теплозапаса в них велики, течения интенсивны, обмен теплом с атмосферой велик. Эти зоны были названы энергоактивными зонами океана (ЭАЗО). Очевидно, именно в них в первую очередь следует организовать регулярные многолетние наблюдения, которые должны охватывать практически всю глубину океана: должны измеряться течения

¹ Разные ученые по-разному понимают термин «климат». Строго говоря, климат — это погода, усредненная за много (несколько десятилетий) лет. В программе «Разрезы» климат понимается несколько по-другому и, когда говорится о краткосрочных изменениях и колебаниях климата, речь идет о том, как меняется некая средняя погода за несколько лет.

и температура в глубинах океана, а также в атмосфере, включая как приповерхностный слой, так и высотные слои. Должны контролироваться процессы взаимодействия атмосферы и океана в этих зонах.

Выявленные чисто теоретически энергоактивные зоны оказались весьма естественными. Анализ экспериментальных данных показывает, что в таких районах значительна амплитуда годовых колебаний температуры поверхности; величина колебаний разности температур воздух—вода тоже максимальна. Интенсивность горизонтальной и вертикальной циркуляции вод океана велика. Поэтому неудивительно столь значительное влияние энергоактивных зон на погоду и изменение климата планеты, сказывающееся также и в отдаленных районах суши.

Программа «Разрезы» состоит из двух крупных подпрограмм.

1. Систематические наблюдения в энергоактивных зонах с измерением всех характеристик океана и атмосферы, о которых я говорил.

2. Сбор всей информации, полученной таким образом, ее обработка в рамках некоторой математической схемы, которая связывает изменение характеристик океана в этих зонах с характеристиками океана и атмосферы в целом, включая атмосферу над континентами.

Во второй подпрограмме, естественно, нельзя игнорировать результаты других экспериментов, ведущихся в настоящее время, а также так называемых исторических данных, полученных ранее. Кроме того, используются и текущие данные, получаемые со всего океана с космических средств, в частности карты поверхностных температур Мирового океана. Таким образом, программа оказывается очень объемной.

Не прост и вопрос о количестве энергоактивных зон Мирового океана и их местоположении. Он обсуждался на весьма представительном собрании ученых в Токио в 1981 г. Тогда заседал Международный научный комитет по климатическим изменениям и роли океана в них. После длительных дискуссий было выделено 15 зон. Поскольку программу «Разрезы» осуществляет пока только Советский Союз с некоторой помощью ученых Польши, ГДР и Болгарии, то охватить исследованиями все 15 зон пока невозможно. В качестве первоочередных ученые выбрали для наблюдения всего лишь пять ЭАЗО — четыре в Атлан-

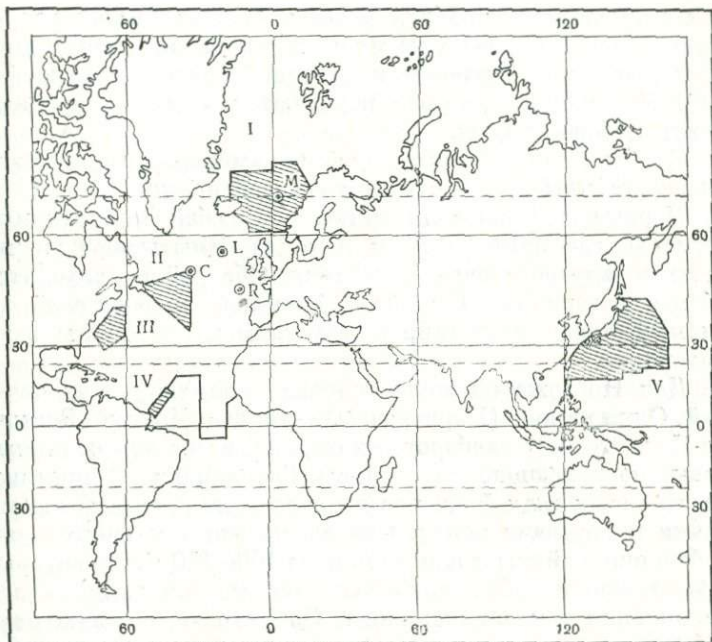


Рис. 10.1. Районы работ по программе «Разрезы»

I—V — ЭАЗО (I — Норвежская, II — Ньюфаундлендская, III — Гольфстрим, IV — Тропическая атлантическая, V — Куроиси); C, L, R, M — корабли погоды

тическом и одну в Тихом океане. Они показаны на рис. 10.1. Это Норвежская и Ньюфаундлендская зоны, зона течения Гольфстрим и Атлантическая тропическая зона. Кроме того, большую ценность имели бы наблюдения у берегов ледовых зон Гренландского и Баренцева морей. Такое повышенное внимание к Атлантике естественно, именно она в основном определяет погоду над Европой и значительной частью нашей страны.

Измерения, о которых мы уже говорили, должны проводиться на каждом из выбранных полигонов четыре раза в год в соответствии с временами года, причем выбираются постоянные месяцы наблюдений — февраль, май, август, ноябрь.

На рис. 10.1 указано также местоположение четырех

так называемых кораблей погоды. В этих местах непрерывно (круглый год) уже много лет корабли, сменяя друг друга, ведут наблюдения над водной толщей и атмосферой. Полученные данные передаются в международные центры сбора данных.

Чтобы лучше понять, почему выбраны именно эти энергоактивные зоны, отметим их особенности.

Первые две зоны представляют собой приполярные регионы, где притоки воды и тепла испытывают значительные внутrigодовые колебания. Оба района находятся вблизи материков — Европы и Америки — и дают свой солидный вклад в формирование климата и погоды этих материков.

Для Норвежской зоны основное — влияние двух течений. Одно из них (Норвежское) — теплое. Другое (Восточно-Исландское), наоборот, — холодное, несет оно полярные воды, поступающие со стороны Гренландии. В противоборстве этих двух факторов и происходят процессы накопления и передачи тепла. Оказалось, что там существуют небольшие районы с поперечником 100—150 миль, которые представляют собой ярко выраженные аномалии, очаги накопления тепла или холода. Они играют важную роль в формировании теплового режима вод и влияют на теплообмен атмосферы и океана. Большое значение имеют и почти всегда существующие здесь гигантские вихри — своеобразные водяные циклоны и антициклоны. Механизм их образований пока не выяснен.

Ньюфаундлендская зона по предварительной оценке самая мощная среди средне- и высокоширотных энергоактивных зон. Во всяком случае, известно, что интенсивность отдачи тепла здесь больше почти в 10 раз по сравнению с расположенными на той же широте восточными и центральными районами океана. Опять-таки здесь сталкиваются два течения: теплое — Гольфстрим и его ответвления и холодное — Лабрадорское.

Основной фактор, который надо иметь в виду, — сложная динамика перемещения воды в зоне и специфический рельеф дна. Основная задача экспедиций — исследование закономерностей формирования теплового и динамического (перемещение воды) состояний вод Ньюфаундлендской зоны и их изменения во времени.

Крайне важной ЭАЗО является зона Гольфстрима после отрыва этого мощного течения от мыса Гаттерас. Здесь

происходит самая интенсивная передача тепла в атмосферу в зимнее время.

Основная цель работ состоит в оценке запасов тепла системы Гольфстрима и воздействия его вихрей и меандров на состояние атмосферы, а также в исследовании энергообмена поперек течения.

Тропическая энергоактивная зона Атлантического океана характеризуется мощным переносом тепла с юга на север. Этим, кстати, Атлантический океан отличается от Тихого, где в среднем за год отсутствует обмен теплом между Северным и Южным полушариями.

В Тихом океане в качестве энергоактивной зоны естественно было взять зону течения Куроисио.

Зона Куроисио напоминает зону Гольфстрима и расположена почти на той же широте, но в районе, существенно отличающемся по своим данным от Атлантики. В частности, зона Куроисио в весенний период подвергается нашествию аэрозолей из пустынь Такла-Макан, Гоби и Ордос. Это скопище вещества, попадающего в атмосферу, приносит резкие изменения ее характеристик.

В каждой энергоактивной зоне производятся измерения четырех родов — океанографические, метеорологические, радиационные и аэрологические.

Океанографические эксперименты должны производиться по разрезам, пересекающим основные струи течений, вершины меандров и центральные части синоптических вихрей. В результате должна быть определена вся картина распределения температуры и плотности воды в активном (верхние 200—300 м) слое океана.

Потребуются также и спутниковые наблюдения. Кроме получения конкретных данных, касающихся, скажем, температуры поверхности воды, целесообразно иногда руководство экспериментами со спутников, когда непрерывное измерение параметров поверхности океана в ЭАЗО при помощи спутниковой аппаратуры дает возможность оптимальной организации океанографических измерений.

Что касается метеорологических измерений, то они обычно выполняются восемь раз в сутки и дополнительно в них включается изучение турбулентных потоков в приводном слое воздуха. Согласно программе все экспедиционные суда выполняют основной комплекс радиационных измерений, т. е. измерение лучистых потоков тепла из атмосферы в океан и обратно. Существуют также осо-

бые задания, в том числе измерения содержания в атмосфере углекислого газа и озона, что крайне интересует человечество. Увеличение углекислого газа ведет к так называемому парниковому эффекту, т. е. дополнительному нагреву планеты. А ослабление слоя озона может иметь крайне плачевные последствия, так как уменьшится поглощение ультрафиолетовых лучей, падающих на Землю. Аэрологическая программа предусматривает применение радиозондов и радиолокационных методов.

Разумеется, много дел предстоит спутникам Земли, причем творчески обобщается уже имеющийся опыт проведения аналогичных экспериментов советскими спутниками «Космос-1076», «Космос-1151», «Космос-1500» и «Интеркосмос-21». На многих спутниках уже прошла испытания аппаратура, которая предназначена для наблюдений по программе «Разрезы».

Читатель может заметить, что эту программу правильнее было бы назвать программой ЭАЗО. Откуда взялся термин «разрезы»? Дело в том, что в ранней стадии развития идеи казалось, что для выполнения той же цели можно ограничиться экспедиционными измерениями по некоторым наиболее ответственным сечениям в океане, т. е. осуществить, как говорят океанологи, разрезы. Действительно, такой разрез через Гольфстрим, например, давал бы количества тепла и воды, переносимого Гольфстримом, — важные климатические факторы. Таким же образом, например, измерения, проведенные по сечению Исландия — Гренландия, давали бы возможность контролировать водообмен Атлантики с Северным Ледовитым океаном, формирование глубинных вод в Атлантике, перенос теплых вод из Атлантики в Северный Ледовитый океан и т. д. Потом оказалось, что такого рода контроль за океаном является недостаточным, и возникли площадные энергоактивные зоны достаточно больших размеров. Впрочем, во время экспедиционных измерений в энергоактивных зонах в сущности также производятся разрезы по различным направлениям, только не один, а много раз, так что термин «разрезы» не так уж плохо передает суть дела.

В программе «Разрезы» участвуют около 30 научно-исследовательских организаций Советского Союза, не говоря уже об организациях стран народной демократии. Это очень крупная многонациональная программа дли-

тельного действия, первая программа, имеющая вполне определенную теоретическую идеологию и ставящая целью изучение двух океанов одновременно по единой методике. Более того, я думаю, что и в ближайшие несколько лет не появится международной программы, сравнимой с «Разрезами» по грандиозности ставящейся задачи и по объему производимых работ. Ученые капиталистических стран, хотя и не принимают официально участие в программе, живо интересуются информацией, получаемой в рамках этой программы, которая в некоторых частях является неопценной.

В настоящее время программа «Разрезы» набирает силу. Ежегодно проводится больше 20 научно-исследовательских рейсов. Всесоюзный научно-исследовательский семинар по этой программе заседает практически еженедельно, создан семинар во Владивостоке; ежегодно проводится всесоюзная или многонациональная (с участием стран СЭВ) научная конференция. Помимо большого числа научных статей о работах по программе, ежегодно издаются две-три специально посвященные ей монографии.

На этом я закончу рассмотрение одной из программ исследования океана, в рамках которой советские ученые будут заниматься изучением влияния Мирового океана на климат и погоду всей Земли. Подробное описание всех аспектов программы понадобилось мне, чтобы читатель ощутил ее размах и трудности выполнения. Именно по таким программам мы и собираемся работать теперь. В одиночку — я имею в виду локальные эксперименты и наблюдения — большие вопросы океанологии уже решать нельзя. Необходима совместная деятельность океанологов всего мира, всех стран. Океан — достояние человечества. Пользуются им все. И изучать надо совместно. Этого требует время!

Поэтому я перейду к рассмотрению некоторых международных программ, имея в виду будущее нашей науки. Начну с Всемирной программы исследования климата.

В мае 1983 г. в Токио собралось более 50 ученых в области физической океанографии и морской метеорологии. Задачей встречи была выработка планов крупных экспериментов в океане в связи с выполнением международной программы климатических исследований. Возможно, что это была наиболее широкая и продуктивная встреча океанографов-физиков за последнее время. Во

всяком случае, так ее оценил старейший океанограф американец проф. Р. Ревелл. Он сказал, что оценивает идеи, высказанные на этой конференции, как чрезвычайно передовые и современные, поскольку он, уже состарившийся океанолог, сумел понять только 20% из сказанного. Аргументация, как видите, очень своеобразная, хотя основной тезис абсолютно правильный.

В этой связи я вспоминаю эпоху бурного развития квантовой физики — 30-е годы нашего столетия. Тогда рассказывали, что, если какой-нибудь молодой коллега известного ученого В. Гейзенберга преподносил ему новую идею, он часто говорил: «Нет, эта идея не может быть правильной, она недостаточно безумна». Если судить по приведенному выше высказыванию Ревелла, то на конференции в Токио в 1983 г., по-видимому, «безумных» идей в хорошем смысле этого слова хватало. В результате двухнедельных дискуссий родились два масштабных проекта — один из них именуется ВОСЕ (World Ocean Circulation Experiment), другой — ТОГА (Tropical Ocean Global Atmosphere).

Идеей проекта ВОСЕ является создание такой системы измерений, когда со спутников фиксировались бы с большой точностью уровень океана, ветер над поверхностью океана, поверхностная температура. Дополнительно к этой системе спутниковых измерений, распространенных на весь океан, должны производиться в некотором количестве гидрологические разрезы по всей толще океана от поверхности до дна. К этому добавляются данные, полученные теряемыми термозондами с попутных судов. Кроме того, должны использоваться данные, получаемые при помощи акустической томографии. Все это, сведенное в единое целое, должно использоваться в рамках математических моделей циркуляции Мирового океана и предсказывать картину течений в океане, их изменение в пространственных масштабах от нескольких сотен километров до глобальных масштабов, а во времени — в масштабах месяцев, годов и даже десятилетий.

Да, программа эта действительно может показаться безумной, но не в части ее научного содержания, а в части ее грандиозности и объема необходимых для ее реализации средств. Она с первого взгляда может показаться даже парадоксальной.

Действительно, хотя ее основной задачей является исследование циркуляции океана, т. е. течений в нем, сами течения непосредственно измеряться не будут. Они появятся как результат вычислений по информации, перечисленной выше. Трудность заключается в точности измерений. Должна быть обеспечена точность измерений уровня моря в несколько сантиметров, измерения приповерхностного ветра с точностью до 1 м/с, поверхностной температуры с точностью до нескольких десятых градуса. Трудность заключается также в организации информационной системы для передачи всех этих данных и последующей их обработки в рамках математической модели. Однако программа все-таки реальна, если учесть, что ее авторы предполагают, что она будет выполняться лишь начиная с 90-х годов, поскольку основной упор делается на спутниковые измерения. А спутники с подобными характеристиками как раз к этому времени будут введены в действие.

И наконец, проект ТОГА. Надо сказать, что эту программу вполне можно рассматривать как первую фазу всей комплексной программы ВОСЕ.

Многие ученые уже давно считают, что процессы, происходящие в тропических частях Мирового океана, где усваивается большая часть солнечной энергии, падающей на нашу планету, являются ключевыми для понимания циркуляции океана и атмосферы в целом. Во всяком случае, именно эта энергия в основном их и движет. К числу ученых, энергично отстаивающих подобную точку зрения, принадлежал известный советский ученый академик В. В. Шулейкин. Тогда это было только интуицией, но сейчас в руках ученых имеется целый ряд доказательств того, что тропическая часть Мирового океана играет исключительную роль в климате нашей планеты. Одно из них связано с южными осцилляциями и явлением Эль-Ниньо, о которых я уже говорил в начале книги.

Напомним, в чем там дело. Явление Эль-Ниньо — явление теплых тропических тихоокеанских вод у берегов Перу и Эквадора вместо обычно холодных вследствие апвеллинга вод. Это прежде всего ведет к резкому понижению продуктивности в этом обычно богатом рыбой районе со всеми вытекающими катастрофическими последствиями. Кроме того, появляется ряд других аномалий в поведении как океана, так и атмосферы над Южной и частично Северной Америкой. Эль-Ниньо (по-испански

«ребенок») появляется более или менее регулярно через каждые 5—8 лет. Возникает вопрос: что определяет эту периодичность? Какая система «помнит», когда было последнее Эль-Ниньо?

Атмосфера, как правило, не имеет такой многолетней памяти. Та часть океана, которая непосредственно затронута Эль-Ниньо, тоже невелика, она не может обладать таким долговременным влиянием. Ответ, по-видимому, только один — «помнит» о предыдущем Эль-Ниньо и определяет, когда будет следующее, весь Тихий океан (а может быть, и не только Тихий). В частности, давно было отмечено, что уровень Тихого океана в западной его части обычно примерно на 40 см выше, чем в восточной, что обусловлено системой ветров, господствующих над Тихим океаном. Именно этим обстоятельством объясняется Перуанский апвеллинг, когда на поверхность океана выносятся глубинные холодные воды.

Но вот ученые заметили, что задолго до того, как начинает заметно проявляться Эль-Ниньо, эта разница в уровнях уменьшается, что как раз может являться предвестником печального своей славой явления. Многим кажется, что это еще не все, и если подвергнуть поведение океана более тщательному изучению, то мы найдем далекие, гораздо более заблаговременные признаки будущего Эль-Ниньо. Все эти соображения, а также последствия очень сильного Эль-Ниньо 1982—1983 гг. и заставили ученых ускорить формирование программы ТОГА. Поскольку измерениями будет охвачена только тропическая часть Мирового океана, ее осуществить легче. Заметная часть измерений может быть выполнена судовыми средствами, включая непосредственные измерения течений на разных глубинах. Однако основной акцент снова делается на спутниковые измерения.

Сейчас все планы ВОСЕ и прежде всего программа ТОГА, активно разрабатываются специальными рабочими группами ученых под общей эгидой Международного комитета по климатическим изменениям и океанографии. В работе этих групп участвуют и советские ученые.

Советские ученые могут внести значительный вклад в программу ТОГА также и своими измерениями в тропической энергоактивной зоне Атлантики.

Все эти уже запланированные и многие другие исследования несомненно приведут к новым важным откры-

тиям. Как я выше уже говорил, такие открытия в океанологии последнее время происходят примерно каждые пять лет. В дальнейшем этот «темп» может убыстриться.

Произойдет и многое другое...

Думаю, что настала пора организации больших полигонов на континентальном шельфе, создания сети подводных лабораторий, где подолгу работали бы большие группы ученых, как это делается сейчас на дрейфующих льдинах в Арктике, а также на многих станциях в Антарктике.

Освоение океана рождает множество проблем как технического, так и физиологического плана. Медики не случайно проводят различные эксперименты по изучению возможностей живых организмов — человека в первую очередь. Загадка китов и многих других млекопитающих, которые столь спокойно ныряют на большие глубины, не перестает мучить физиологов. Можно ли «научить» человека действовать подобным же образом? Вопрос не праздный, а имеющий самое прямое отношение к практике.

Для изучения океана нам нужны в большом количестве и подводные аппараты, оснащенные самым современным оборудованием. Нам нужно разработать специфические приборы, призванные обслуживать океанологов. Нам нужна хорошая робототехника.

Мы надеемся на общий прогресс науки и техники, который всегда влияет на все отрасли науки, на все области народного хозяйства. Стоит еще раз вспомнить, что советская океанология в этом аспекте уже давно и честно служит народному хозяйству, причем служба эта с каждым годом становится все обильнее и дает все бóльшие практические плоды.

Что касается «чистой науки», то стоит вспомнить незыблемое правило, действительное для любой науки: самое интересное всегда впереди!

10.2. Настоящее и ближайшее будущее акустики океана

Второй и заключительный раздел этой главы я хочу посвятить настоящему и будущему науки, которой я сам непосредственно занимаюсь.

Обозревать настоящее, конечно, легче, чем прогнозировать будущее. К тому же эта задача облегчается тем, что в июле 1986 г. в г. Галифаксе (Канада) в рамках 12-го

Международного акустического конгресса прошел весьма представительный симпозиум по подводной акустике. На этом симпозиуме, а также на основном конгрессе в Торонто было заслушано около 150 докладов по акустике океана.

За последнее десятилетие можно отметить тенденцию повышения интереса в подводной акустике к все более низким частотам звука. Много работ посвящается исследованиям распространения звука на частотах в несколько сотен герц. Это вызвано в основном требованиями акустической томографии океана и необходимостью понять действие неоднородностей океана различного масштаба на структуру звуковых полей. Конечная задача заключается в решении обратной задачи — по структуре звукового поля определить характер присутствующих в океане неоднородностей. Исследования на низких частотах выявили новые механизмы поглощения звука в морской воде, обусловленные наличием в ней как электролите ионов солей бора $B(OH)_3$, а также, хотя и в меньшей степени, ионов карбоната магния $MgCO_3$.

Интересы гидроакустиков распространились вниз по шкале частот до десятков герц и даже нескольких герц. На этих частотах ряд исследователей изучают подводные шумы. В этом диапазоне частот шумы обусловлены в основном нелинейным взаимодействием поверхностных волн между собой и турбулентностью атмосферы.

Вопросы распространения волн этого и более низкочастотного диапазонов мало разработаны. На этих частотах акустическая и сейсмическая проблемы смыкаются. Основная трудность для теоретического расчета лежит в реалистической модели строения дна, поскольку волны этих частот проникают глубоко в дно океана. Но даже и там, где такая модель известна, расчеты звуковых полей с помощью используемых в настоящее время алгоритмов возможны только на мощных ЭВМ, поскольку необходимо принимать во внимание наличие значительного количества соприкасающихся между собой слоев, в каждом из которых возбуждаются как продольные, так и сдвиговые волны.

В методике экспериментальных исследований сейсмоакустических полей сейчас имеется одно новшество, использование которого в будущем несомненно расширится. Наряду с регистрацией звуковых полей в толще воды регистрируются звуковое и сейсмическое поля гидрофонами

и сейсмометрами, помещенными под слой рыхлых отложений в пробуренные в дне океана скважины. Уровень сейсмоакустических помех, действующих там на приемник, оказывается на несколько порядков ниже, чем в воде или на поверхности дна. В результате создаются очень благоприятные условия для регистрации возмущений в земной коре, вызванных мелкими землетрясениями или подземными ядерными взрывами. Такое ослабление помех объясняется тем, что последние в этом диапазоне частот в основном идут с поверхности океана и звук от таких источников, проходя осадочную толщу, сильно ослабляется.

Большое значение приобретает и будет усиленно разрабатываться в дальнейшем проблема распространения звука в зоне шельфа. Это понятно, поскольку мы живем во времена все расширяющегося освоения богатств шельфовой зоны. Кроме того, если проводить акустические исследования в глубинных зонах океана, одновременно приходится иметь дело с шельфом. Дело в том, что подводные шумы на низких частотах (особенно в диапазоне сотен герц) в открытом океане в основном обусловлены судоходством в районе шельфа. Шумами, распространяющимися из этой зоны, в частности, объясняется шумовой фон в зоне оси подводного звукового канала в открытом океане.

Теоретические исследования распространения звука в зоне шельфа связаны с решением весьма сложной задачи о поле в клине со слоистым дном. Интерпретация экспериментальных исследований также сильно осложняется вследствие большого разнообразия грунтов и большой изменчивости их по трассе распространения, а также из-за сложного рельефа дна.

Между тем зона шельфа представляется наиболее удобной для развития акустической томографии. В прибрежной зоне может быть расположено достаточно большое количество акустических приемников. Снятие с них информации и обеспечение их энергопитанием здесь проще, чем в открытом океане. Местоположение их также может быть точно фиксировано. За счет увеличения числа приемников (при сохранении необходимого числа акустических трасс) может быть понижено число излучателей, располагаемых в глубинных зонах шельфа или на континентальном склоне. Естественно, можно себе представить и обратный случай, когда в глубинных зонах находятся приемники, а в прибрежной зоне — излучатели или в той

и другой зонах находятся обратимые преобразователи, способные выполнять как роль излучателя, так и роль приемника. При помощи такой томографической системы можно осуществлять непрерывное слежение (мониторинг) за всеми процессами, происходящими в водной толще этой зоны океана, включая вихри, поверхностное волнение, течения и т. д.

Теперь о томографии открытого океана. Со времен, когда она была предложена У. Манком и К. Вуншем (1976 г.), прошло уже 10 лет. За это время был пройден важный этап — было показано, что томография в принципе возможна, и были испробованы простейшие томографические схемы. Однако дальше дело пока не пошло, и причиной этого является ряд трудностей, возникающих при осуществлении реальной томографической системы в океане, и опасение, что результаты, получаемые от нее, могут не оправдать вложенные затраты.

Действительно, допустим, что мы осуществили томографическую систему на относительно большой акватории океана — скажем, с длинами акустических трасс порядка 1 тыс. км и, следовательно, акваторией порядка 1 млн. км² — и установили там достаточное (думаю, что необходимо не меньше 20) число обратимых акустических преобразователей (излучателей—приемников). Для этого нам предварительно пришлось бы решить ряд сложных технических задач: а) создать акустический широкополосный излучатель, способный излучать мощный низкочастотный сигнал достаточной сложности, а также систему приема и обработки этого сигнала на другом конце акустической трассы, способную фиксировать с большой точностью (скажем, 5–10 мс) время прихода сигнала; б) создать автономный источник энергопитания долговременного (скажем, на полгода) действия для каждого такого преобразователя; в) решить проблему сохранения единого времени для всех точек системы как минимум в течение нескольких месяцев или полугодия; г) контролировать непрерывно в течение этого же времени местоположение каждого из преобразователей с точностью 5–10 м; д) осуществить непрерывную передачу данных со всех преобразователей в единый центр через космический аппарат или непосредственно. Накапливание информации в каждой точке и обработка всех данных только через те же полгода имеет некоторую ценность для отдельного эксперимента, но не для

службы непрерывного наблюдения. Преодолев все эти трудности, мы смогли бы создать систему, способную функционировать лишь относительно ограниченное время и на весьма малой, по сравнению с размерами любого из океанов, акватории. Явно результат не оправдывал бы усилий.

Несомненно, однако, что идея акустической томографии сама по себе очень разумна и полезна, и она будет разрабатываться в ближайшем будущем в ряде направлений. В частности, возможны варианты более оперативной, так называемой динамической, томографии, когда акустические преобразователи связаны с дрейфующими или идущими кораблями. Томография возможна также с помощью системы свободно дрейфующих буев, если положение каждого из них непрерывно определяется с большой точностью. В обычной томографической системе обработка сигнала ведется независимо на выходе каждого преобразователя. В принципе, эффективность системы можно существенно повысить, если производить когерентную обработку сигнала, с учетом его фазы, сразу в нескольких или во всех приемниках системы. Эта идея кажется совершенно естественной в случае жестко фиксированных прибрежных приемников, но она может быть распространена и на систему с заякоренными или дрейфующими буями.

Важным и интересным полем деятельности в ближайшем будущем будет разработка математических методов решения томографических (обратных) задач. То, что здесь могут быть интересные достижения, видно на примере работы сотрудников Института океанологии АН СССР В. Гончарова и В. Куртепова, которые при помощи математического эксперимента показали, как, пользуясь методами решения некорректных задач, при весьма небольшой информации, даваемой томографическим экспериментом, можно получить важные сведения об океанологической среде. В их работе учитывается определенным образом некоторая априорная информация о свойствах среды. В дальнейшем, кроме такой априорной информации, надо добавлять при решении томографических задач информацию о среде, получаемую одновременно с томографическим экспериментом другими методами, например с помощью космических средств.

Будет расширяться и сфера применений томографических методов. Так, в рамках одного международного про-

екта по исследованию климата Земли намечается установить цепочку акустических преобразователей на трассе, отделяющей северную часть Тихого океана от его центральной части. На этой трассе томографическими методами может быть найдено теплосодержание вод (по температуре, получаемой из определения скорости звука) и скорость их переноса. В результате может быть определен теплоперенос из одной части океана в другую за длительное время.

Определение свойств морского дна как слоистой среды было проведено в Институте океанологии АН СССР с помощью методики, являющейся разновидностью подводной акустической томографии. Приемник звука — составная часть автономной донной станции — воспринимал в широкой полосе частот шум исследовательского корабля, удаляющегося от станции с постоянной скоростью. Воспринимаемый приемником звук состоит из двух частей — прямого шума корабля и шума, возвращенного к приемнику дном (различными его слоями). Соответствующей обработкой сигнала, зарегистрированного таким образом, за определенный интервал времени оказалось возможным определить слоистую структуру дна. Контрольный эксперимент был проведен в Атлантическом океане в районе одной из скважин, пробуренных в свое время с корабля «Гломар Челленджер». Данные, полученные акустическим методом, неплохо совпали с данными исследования образцов, непосредственно вынутых из скважины.

Прогресс в вычислительной технике позволяет создать все более быстродействующие методы численного расчета звуковых полей с учетом изменения характеристик океана (глубина, прослоенность вод и т. д.) вдоль трассы распространения звука. Известны три основных метода таких расчетов: метод нормальных волн (в адиабатическом приближении или с учетом взаимодействия их друг с другом), метод параболического уравнения и метод конечных разностей. Каждый из них непрерывно совершенствуется. Особенно это относится к методу параболического уравнения. Несомненно, появятся и новые методы расчета звуковых полей.

Прогресс вычислительной техники сказывается и в другом. Увеличиваются возможности машин, которые представляют собой нечто среднее между персональным компьютером и большой машиной институтского масшта-

ба и могут находиться длительное время в полном распоряжении ученого. Опыт показывает, что научные работники предпочитают работать на этих машинах вместо того, чтобы иметь кратковременные выходы с готовой программой на большие машины.

Не уменьшается актуальность и аналитических методов анализа звуковых полей. Может показаться, что в рамках классических методов математического анализа давно все сделано, что можно было сделать, давно выведены все формулы, которые можно вообще вывести. Однако дело обстоит совсем не так. Непрерывное развитие аналитических методов наряду с численными дает нам возможность глубже заглянуть в природу различных интереснейших явлений в подводной акустике. В качестве примера можно привести работы сотрудника Института океанологии АН СССР А. Вороновича, который нашел изящное и простое решение задачи о рассеянии волн на неровной поверхности, вмещающее в себя как метод касательной плоскости (приближение Кирхгофа), так и метод малых возмущений. Единственным условием применимости его результатов является малость углов наклона неровной поверхности, что как раз хорошо выполняется в случае морского волнения.

В качестве другого примера можно привести две работы сотрудника того же института О. Година. В одной из них он показал, как найти точное решение задачи об отражении плоской волны от слоя с практически произвольным законом слоистости, в другой предложил новую форму волнового уравнения, с помощью которого звуковые поля могут описываться в областях, включающих границы со скачком плотности. Среда описывается таким уравнением как единое целое, и нет необходимости ставить граничные условия на границах со скачком плотности.

Несомненно интересные результаты для установления аналитических закономерностей в структуре подводных звуковых полей надо ожидать и в дальнейшем. Будут шире учитываться статистические факторы в поведении океана и в звуковых полях. Я привел здесь наиболее близкие мне примеры работ своих учеников, но, конечно, количество таких примеров могло бы быть существенно увеличено.

Интересной физической наукой является нелинейная

акустика. Однако, как правило, в воде нелинейные акустические эффекты малы. На упомянутом выше симпозиуме в Галифаксе Д. Блэксток (США) показал, что даже для мощного акустического импульса, получающегося при взрыве 22,7 кг взрывчатки, нелинейность незначительна на расстояниях больших 1100 м при частотах меньших 4 кГц. Конечно, при распространении звука в таких типично нелинейных средах, как вода, с большим количеством воздушных пузырьков в ней, нелинейные эффекты надо учитывать. Однако самую большую службу нелинейные эффекты сослужили подводной акустике при создании параметрического излучателя, который все больше входит в практику. Поскольку это широкополосный, узконаправленный (даже на низких частотах) излучатель без боковых лепестков, он является идеальным средством для изучения таких неоднородностей морской воды, как турбулентность и тонкая слоистая структура, а также внутренние волны. При его помощи (еще лучше в комбинации с параметрической приемной антенной) удобно изучать рассеяние звука на неровностях дна и поверхности. Последнее время параметрические излучатели стали применяться при прецизионной съемке рельефа дна, а также при сейсмопрофилировании, т. е. при определении внутренней слоистой структуры дна.

Конечно, методы и средства гидроакустических исследований будут непрерывно совершенствоваться. Будут использоваться новые, все более эффективные материалы для гидроакустических преобразователей. Будут совершенствоваться и конструкции последних. В акустических экспериментах будут использоваться космические средства — для определения точного местоположения излучателей и приемников звука (с точностью до нескольких метров), для передачи информации с автономных гидроакустических буев и станций и для ряда других целей. Акустический эксперимент будет более мобильным. Уже сейчас в этом направлении есть определенный прогресс. На симпозиуме в Галифаксе американскими учеными было доложено о широких исследованиях подводных шумов в Балтийском море на разных глубинах, в разных районах, в разные времена года, с одновременным, таким же полным, обследованием гидрологических условий. Этот, казалось бы, громоздкий эксперимент проводился мобильно. Подводные шумы измерялись при помощи сбрасы-

ваемых с самолетов радиоакустических буев с гидрофонами, опускающимися на разные глубины. С тех же самолетов сбрасывались теряемые термозонды, при помощи которых измерялся температурный разрез в воде по глубине.

Однако наиболее существенное усовершенствование методики гидроакустических исследований, удешевляющее последние, будет, по-видимому, связано с переходом от работы с двумя кораблями (излучающий и принимающий) к работе с одним кораблем в паре с автономной донной или дрейфующей приемной акустической станцией. Последняя может быть снабжена необходимыми антенными устройствами и развитой (основанной на микроэлектронике) вычислительной системой для промежуточной обработки акустических сигналов. Кроме понижения стоимости эксперимента, преимущество такого метода заключается в том, что приемная система при этом работает в условиях существенно меньших, чем на корабле, окружающих помех.

Интересные результаты надо ожидать в дальнейшем от исследований в пограничной области между биологией океана и гидроакустикой. Сейчас в промышленности усиленно совершенствуются методы акустического рыболовства при рыбном промысле. Задачей является определение при помощи акустики размеров скоплений рыб, их видового состава, плотности косяка. Может возникнуть вопрос, а надо ли в этом направлении прилагать много усилий? К гидроакустическим методам разведки рыбы сейчас прибавляются космические — рыбе совсем некуда будет деться, а ее уже сегодня в океане не так-то много. И все-таки ответ на этот вопрос должен быть положительным. Контроль состояния рыбных стад, изучение путей их миграции необходимы для правильной, построенной на научной основе эксплуатации биологических ресурсов океана, в частности для определения допустимых квот вылова различных видов рыбы в различных районах.

Акустическими методами можно определить не только характер и плотность рыбных косяков, но наличие и вид кормовой базы для них. В частности, в хорошо детектируемых акустическими методами и широко распространенных звукорассеивающих слоях расположено значительное количество зоопланктона и мелкой рыбы, идущей в пищу крупной рыбе.

Таким образом, в ближайшем будущем на повестке дня будет стоять широкий биологический мониторинг океана с применением дистанционных акустических средств. Такой мониторинг должен включать в себя также прием и регистрацию шумов океана биологического происхождения, т. е. широкого разнообразия звуков, издаваемых подводным населением. Кстати, поскольку звук является основным средством общения между обитателями океана, без изучения излучаемых ими звуков нельзя вникнуть в суть и характер так называемой «социальной» жизни подводного населения. Кто командует поведением данного коллектива (в частности, рыбного косяка), какими сигналами передаются команды, какая существует обратная связь, т. е. как наказываются непослушные особи? Даже наблюдая небольшие стайки рыб с берега реки, часто видим, что все рыбы в стае вдруг, как одна, мгновенно изменяют направление. Кто дает сигнал для этого и что это за сигнал? Существуют ли какие-либо способы коммуникации при миграции рыб на большие расстояния? Решают ли они возникающие при этом сложные навигационные задачи каждая по отдельности или у них есть какое-то подобие коллективного разума? А может быть, они следуют за вожаком? Возможно также, что изучение большого разнообразия звуков, издаваемых китами, поможет нам расшифровать секрет случаев их коллективного самоубийства (выбрасывание на берег), а также понять, благодаря какому физиологическому механизму они могут непременно нырять на большие глубины без каких-либо признаков кессонной болезни, которой человек подвергается в аналогичных случаях. Кроме акустических сигналов, для коммуникации между отдельными особями подводного населения могут служить и сигналы другой природы — электрические, магнитные, химические. Однако роль акустических сигналов безусловно очень велика.

Акустические сигналы человек может использовать для управления как отдельной особью, так и целыми косяками. Успешный опыт в этом направлении уже был сделан с косяками сельди Тихоокеанским океанологическим институтом АН СССР в г. Владивостоке.

Разнообразные требования к подводной акустике будут предъявляться в связи с расширяющимся использованием минеральных ресурсов как зоны шельфа, так, в перспек-

тиве, и открытого океана. Другими словами, человек обживает океан, продвигаясь к все большим глубинам. При этом, конечно, возникают вопросы навигационного обеспечения и связи с обитаемыми и необитаемыми аппаратами, опускающимися в глубины для проверки подводных установок, бурильных аппаратов, трубопроводов, несущих конструкций и т. д.

Несомненно настанет время, когда на дне океана (сначала в мелководных зонах, а затем и глубже) возникнут рабочие поселки. Так как опускание человека на глубины и особенно обратный подъем его на поверхность — процессы медленные (подъем связан с необходимостью декомпрессии), то на глубинах выгоднее работать «вахтовым» методом. Опустившись на глубину, человек работает и живет (в специальных домиках, снабженных всем необходимым) некоторое время, скажем неделю или две, а затем поднимается наверх для отдыха примерно такой же продолжительности. Вся ориентация донных жителей в окружающей среде и связь их друг с другом будут осуществляться в основном акустическими способами. При этом возникает вопрос о так называемом звуковидении под водой, т. е. видении и различении объектов под водой примерно так же, как это мы делаем в атмосфере, используя световые волны.

Существуют два существенно разных пути для создания подводного звуковидения. Первый вполне аналогичен нашему «световидению». В нем объект облучается достаточно мощным пучком ультразвука от специального ультразвукового прожектора. Звук, рассеянный объектом, попадает на специальную акустическую линзу. Последняя сделана из материала, обладающего подходящей скоростью звука и малым его поглощением. Такая линза создает в своем фокусе акустическое изображение объекта аналогично тому, как оптическая линза создает оптическое изображение. Аналогия с оптикой простирается еще дальше. Для устранения нежелательных потерь на отражение при входе звука из среды в линзу ее поверхность может быть покрыта одним или несколькими просветляющими слоями, как и в просветляющей оптике. Акустическое изображение в фокусе линзы можно превратить в видимое, оптическое, для чего существует целый ряд способов. В частности, можно представить себе мелкозернистую пьезоэлектрическую мозаику, на каждом элементе которой появляется

заряд, пропорциональный звуковому давлению. Этот заряд потом можно снимать электронным лучом в трубке, аналогичной телевизионной.

Другой метод звуковидения заключается в том, чтобы путем сканирования узкого ультразвукового пучка осматривать пространство в интересующем нас секторе. При этом в каждом направлении посылается короткий ультразвуковой импульс и затем принимается обратный импульс, отраженный или рассеянный объектом. Компактная современная микроэлектронная вычислительная техника позволяет на основе получаемой таким способом информации построить трехмерное изображение облучаемых объектов.

На этом я и закончу мой экскурс в интереснейшую комплексную науку нашего времени, науку, где сочетаются романтика и хозяйственная деятельность, отвлеченные глобальные теории и увлекательные эксперименты.

Океанология будет для будущих ученых самым широким полем деятельности, ибо будущее человечества во многом зависит от того, как подробно сумеем мы изучить и освоить Мировой океан.

Когда я писал эту книгу, то ее рабочее название было «Верь в океан». Этими словами я и хотел бы ее закончить.

Леонид Максимович Бреховских

ОКЕАН И ЧЕЛОВЕК: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Утверждено к печати Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР

Редактор издательства Л. Е. Кононенко. Художник И. Е. Сайко
Художественный редактор С. А. Литвак. Технический редактор З. В. Павлюк
Корректоры Е. Н. Белоусова, Г. Г. Петропавловская

ИБ № 35614

Сдано в набор 15.08.86. Подписано к печати 05.12.86. Т-21264. Формат 84×108^{1/2}
Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая
Усл. печ. л. 16,48. Усл. кр. отг. 17,1. Уч.-изд. л. 17,6
Тираж 12 000 экз. Тип. зак. 2893. Цена 1 р. 70 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485 Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

4819

1p. 70k7