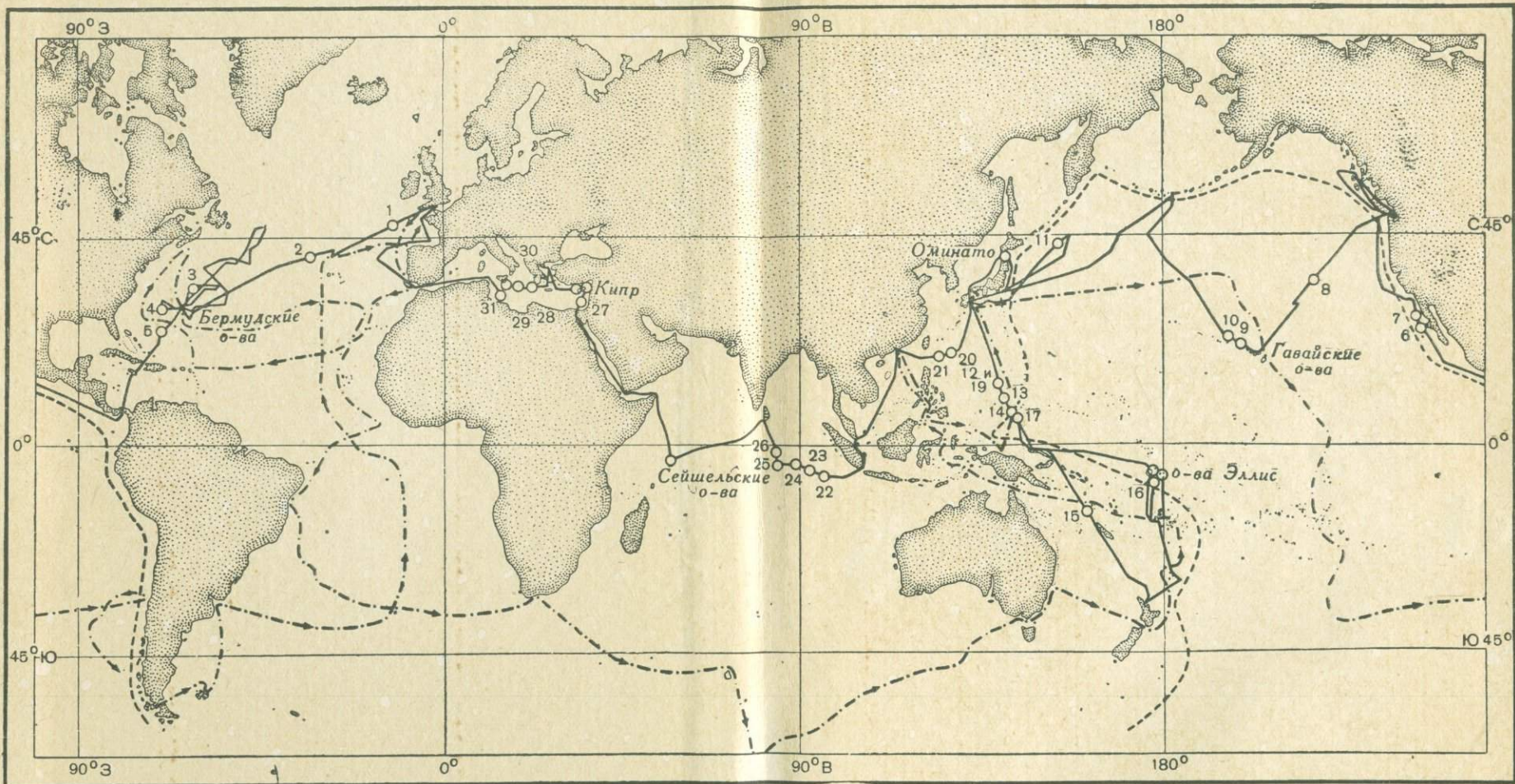


Т. Ф. Г Э С К Е Л Л

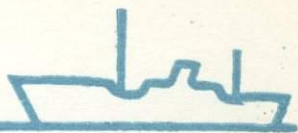
ПОД ГЛУБИНАМИ  
ОКЕАНОВ

# КАРТА ЭКСПЕДИЦИЙ „ЧЕЛЛЕНДЖЕРА“



- Путь „Челленджера“ 1872-1876гг.
- Путь „Челленджера“ 1950-1952гг.
- Андезитовая линия

Цифры обозначают положения сейсмических станций в экспедиции 1950-1952 гг.



**UNDER THE  
DEEP OCEANS**

TWENTIETH CENTURY VOYAGES OF DISCOVERY

T. F. GASKELL

EYRE AND SPOTTISWOODE  
22 HENRIETTA STREET. LONDON WC2

1960

537. 46

Т. Ф. ГЭСКЕЛЛ

# ПОД ГЛУБИНАМИ ОКЕАНОВ

*Перевод с английского*

*А. И. Медянцева*

*Под редакцией Г. Б. Удинцева*

*Бандасарин Т. Г.*

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА — 1963



Книга представляет собой увлекательный рассказ о современных проблемах науки о Земле, о новых геофизических методах, позволяющих проникнуть далеко в глубь дна океана и изучить его строение. Автор книги был научным руководителем кругосветной экспедиции на английском гидрографическом судне «Челленджер», и в книге широко использованы материалы этой экспедиции. Живо и интересно в книге рассказано о коралловых атоллах, о строении и рельефе дна океана, о гипотезе расширения Земли и других интереснейших вопросах современной геофизики.

Книга Гэскелла написана в популярной форме, живым и образным языком. Она будет интересна и полезна широкому кругу читателей, интересующихся географией, геологией или геофизикой.

## Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА . . . . .	7
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	11
I. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
СЕГОДНЯ . . . . .	18
II. ЗЕМЛЯ И ОКЕАНЫ . . . . .	37
III. СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ . . . . .	58
IV. МОХО . . . . .	86
V. ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ ГЛУБИН . . . . .	111
VI. КОРАЛЛОВЫЕ АТОЛЛЫ . . . . .	134
VII. ВТОРОЙ СЛОЙ . . . . .	159
VIII. ОСАДКИ НА ДНЕ ОКЕАНА . . . . .	173
IX. ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ . . . . .	195
X. СРЕДИЗЕМНОЕ МОРЕ . . . . .	210
XI. БЛУЖДАЮЩИЕ МАТЕРИКИ . . . . .	219
XII. ГЛУБОКОЕ БУРЕНИЕ . . . . .	237

## *Предисловие редактора перевода*

**П**рошло уже 10 лет со времени кругосветного плавания «Челленджера», и многое изменилось в состоянии исследований дна морей и океанов. Работы по программе Международного геофизического года и Международного геофизического сотрудничества в 1957—1959 гг. значительно продвинули вперед методы и технику морских геологических и геофизических исследований, необычайно расширили наши представления о строении земной коры и верхней мантии Земли под океанами. В период МГГ экспедиции охватили огромные пространства Мирового океана. Круг вопросов, решавшихся во время МГГ, был очень широк, но проблема строения Земли в целом как планеты безусловно была одной из важнейших. Решение этой проблемы, как показывает развитие современной науки, невозможно без тщательных исследований строения дна морей и океанов.

Проблема происхождения оболочек Земли — это по существу проблема происхождения и соотношения во времени и пространстве областей коры различных типов — материкового, океанического и нескольких переходных между ними. Воды Мирового океана скрывают от нас  $\frac{2}{3}$  поверхности Земли, и это подводное пространство имеет не менее сложную по строению кору, чем материка.

Представления о структуре и составе оболочек Земли основывались в прошлом на наблюдениях, производившихся только на суше, на материках. Они ограничива-

лись, таким образом, лишь одной и не столь уж характерной для всей Земли в целом областью коры материкового типа. Работы по программе МГГ в океанах раскрыли много тайн Земли, но вместе с тем возникло еще больше новых вопросов, требующих разрешения. Слова академика Карпинского о том, что «геологу нужна вся Земля», становятся в наши дни девизом всех изучающих нашу планету. Морские геолого-геофизические исследования приобретают в связи с этим особенно важное значение.

Казалось бы, на фоне столь значительного движения вперед книга Т. Гэскелла о плавании на «Челленджере», проходившем еще до МГГ, не будет представлять особенного интереса для читателей. Однако это не так, и с нами согласится каждый, кто прочтет книгу Гэскелла.

Сложные вопросы геолого-геофизических исследований глубин Земли в условиях морских экспедиций излагаются автором исключительно живо, ясно и доходчиво. Он пишет о серьезных вещах с мягким юмором, пробуждая интерес к этой новой области исследований и внимание и уважение к людям, ведущим работу в суровых условиях дальнего плавания. Автор обладает большой эрудицией и широко ставит вопросы, представляющие интерес для ученых, изучающих Землю с самых различных позиций, — геофизиков, геологов, биологов и т. д. Он хорошо показывает, как разрешение того или иного вопроса, кажущегося на первый взгляд незначительным, ведет к решению крупной проблемы. Вместе с тем автор прежде всего геофизик, и поэтому он прежде всего говорит о проблемах морской геофизики. Число людей, интересующихся этими проблемами, сейчас непрерывно растет, и книга Гэскелла будет для них чрезвычайно интересна.

Изложение серьезных вопросов геофизики и геологии переплетается в книге Гэскелла с живым и не лишенным юмора описанием плавания на «Челленджере» вокруг света.

Описание путешествий, особенно в далекие «заморские» страны, — это неувядающий жанр литературы всех стран, имеющий множество почитателей. Любители путешествий найдут в этой книге много интересного. Но она, безусловно, послужит им не только развлечением. Автор пробудит в них интерес и к исследованиям тайн Земли, раскрытие которых сулит человечеству овладение огромными богатствами земных недр. А всем, кто глубже

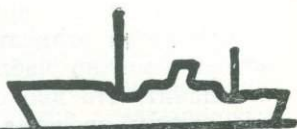


заинтересуется вопросами морской геологии и геофизики, мы рекомендуем познакомиться с выходящей в ближайшее время в свет книгой С. М. Зверева о морских сейсмических исследованиях, а также с новым изданием книги О. К. Леонтьева «Краткий курс морской геологии».

В тексте книги все меры длины, высоты, глубины и веса даны как в оригинале, т. е. в английской системе мер. Основные меры этой системы, встречающиеся в тексте, таковы: морская миля — 1853 м, морская сажень — 1,853 м, фут — 0,3048 м, дюйм — 2,54 см, фунт — 0,4536 кг.

*Г. Б. Удинцев*

Февраль 1963 г.



## Введение

Я твердо верю, что наука является достойным объектом для истории и основой для литературы...

У. С. Д. Дампьер-Уэтем, *История науки*

**Я** пришел к выводу, что глубины океана, и особенно его дно, являются все еще неведомой областью для многих моих знакомых, которые в других отношениях люди очень бывалые. Это не значит, что я хочу, чтобы мои по крайней мере самые отважные друзья побывали на дне океана за пределами его мелководных прибрежных частей. Это вряд ли возможно, поскольку большая часть океанов — а они покрывают около двух третей земной поверхности — имеет глубину в несколько миль. Тем не менее я все-таки чувствую, что уже наступило время, когда наиболее интересные факты об этом недостижимом подводном мире должны стать известными не только сравнительно небольшой горсточке океанографов, изучающей его.

Каждый человек обладает какими-то, хотя бы поверхностными, знаниями по геологии: например, что горы образованы пластами горных пород, испытавшими перемещения и складчатость, а затем разрушавшимися под воздействием рек, мороза и дождей. Было бы вполне естественно предположить, что подобные явления характерны и для дна океана. И в самом деле, найдется много почтенных геологов, которые стали бы утверждать, что океаны и континенты легко можно поменять местами и что горные хребты суши обычно продолжаютя и под водой. И все же

это не так. Слои горных пород океанического дна коренным образом отличаются от тех геологических структур, которые можно наблюдать на материках. Это, конечно, не значит, что дно океана совсем ровное или, наоборот, что океаны представляют собой бездонные пучины. Сейчас проведено уже много детальных измерений глубин в самых различных частях Мирового океана, указавших на широкое распространение в океанических глубинах огромных горных хребтов, гигантских горных пиков, соперничающих с высочайшими вершинами суши, и глубоких подводных долин. Но когда мы применяем современные геофизические методы для изучения горных пород, образующих эти формы подводного рельефа, мы обнаруживаем существенные отличия от хорошо известного нам геологического строения суши. Мы приходим к неизбежному выводу, что океаны постоянны — они существовали всегда и они никогда не станут континентами.

Теперь должно быть уже совершенно ясно то значение, которое имеют для теорий геологической истории Земли две трети ее поверхности, скрытые водами океанов. Если мы согласимся с тем, что океаны и континенты имеют различное геологическое строение, то мы должны будем также признать, что структуры океанов играют важнейшую роль в общем плане строения Земли. С этой точки зрения хорошо изученные структуры континентов являются скорее исключением из общего правила и вовсе не так уж характерны для Земли в целом. Этот подход позволяет нам простейшим образом представить строение всей нашей планеты. Исходя из особенностей строения океанического дна, мы сможем понять происхождение не только подводных горных хребтов, островов и коралловых атоллов, но и крупных материковых поднятий, образующих сушу Земли. Нашим новым пониманием геологической истории Земли мы в огромной степени обязаны геологам и геофизикам, изучающим моря и океаны.

Дно океана нельзя больше рассматривать как мир покоя и безмолвия. Новые методы его изучения открыли нам множество животных, чьи норы нарушают первичное залегание осадков, дождем падающих на дно из водной толщи. Существуют и подводные течения, которые играют свою роль в переносе осаждающегося материала из одной части океана в другую. Таким образом, хотя геология дна океана и отличается от геологии суши,

перенос осадочного материала и здесь имеет место. В глубинах океана можно найти даже подобие быстро движущихся обвалов и лавин суши. Так называемые суспензионные или мутьевые потоки низвергаются с материковых склонов со скоростью курьерского поезда, неся с собой продукты выветривания с поверхности суши, прорывая подводные каньоны и отлагая свои осадки.

Причина того, что океаны до недавнего времени оставались для геологов закрытой книгой, частично лежит в том, что существовало множество доступных мест на суше, привлекавших исследователей. Но одного этого было бы недостаточно, чтобы удерживать любознательных, если бы сам океан не являлся областью, необычайно трудной для проведения научных исследований. Толща морской воды непрозрачна, и это первая трудность, с которой встречается океанограф. Большинство приборов, необходимых для изучения океана, должно быть основано на более сложных физических принципах, чем оптические методы, которые так успешно применяются при изучении поверхности суши. Кроме всего этого, морская вода содержит такое количество соли, которое делает ее не очень хорошим проводником электричества и вместе с тем лишает свойств изолятора; так что и в этом отношении в морской воде работать гораздо труднее, чем в атмосфере. Соленая вода заставляет исследователей бороться также с коррозией. И в довершение всего, как будто специально для того, чтобы создать для научных исследований максимум трудностей и неудобств, поверхность океана редко бывает спокойной.

Большие глубины океана связаны с большими давлениями; на глубине всего лишь 30 футов от поверхности давление удваивается по сравнению с атмосферным. Сложные условия морских исследований можно сравнить разве с трудностями работы нефтяников, когда они исследуют свойства подземных коллекторов. Еще совсем недавно было широко распространено мнение, что даже тяжелые предметы, скажем затонувшие стальные суда, не достигают дна океана из-за увеличения плотности воды при возрастании давления с глубиной, так что они скорее всего плавают где-то в океанских глубинах, а не лежат на дне. Гидростатическое давление действительно вызывает некоторое увеличение плотности воды в глубинах океана, а следовательно, и плавучести погруженных тел.

Этого увеличения плавучести с глубиной оказывается достаточно, чтобы удерживать в толще воды специальные поплавки для измерения течений методом, который будет описан позднее, но его недостаточно, чтобы создать сказочное кладбище погибших кораблей на полпути до дна океана.

Современные морские исследования развиваются благодаря усилиям океанографов всего мира. Огромный вклад в эти исследования внесли, например, советские ученые. Вместо тех сравнительно маленьких судов, которые удавалось применять для океанографических исследований в прошлом, в СССР применяются сейчас такие корабли, как «Витязь», на котором свободно размещаются двадцать—тридцать ученых и просторные лаборатории. И такие корабли работают в СССР в течение уже нескольких лет! В настоящее время Управление военно-морского флота США предлагает программу океанографических исследований, проведение которой будет стоить свыше ста миллионов долларов. Она является ответом на указание Министерства обороны о необходимости получить более подробные сведения о физических свойствах океанов.

Чем же объяснить такой внезапный интерес к океану? Безусловно, такие крупные средства вкладываются сейчас в исследования океана в связи с потенциальной возможностью использования глубин океана для скрытого передвижения подводных лодок, несущих ядерное оружие. Расширение морских исследований поддерживают также те ученые, которые в прошлом были вынуждены добиваться успехов океанографии, проводя лишь малое количество наблюдений. Теперь, когда самая дорогостоящая часть любой морской экспедиции—судно и его команда—обеспечивается государственным бюджетом на оборону, появляется множество идей для разнообразных исследований богатств подводного мира.

Следует сказать о мирных аспектах океанографических исследований, которые так же важны в наши дни, как и военные. Благодаря улучшению медицинского обслуживания и росту жизненного уровня, смертность среди населения уменьшилась и наблюдается увеличение населения земного шара. В связи с этим вновь возникает давняя проблема увеличения запасов продуктов питания. Океан представляет собой огромные плодородные равнины, с которых можно получить колоссальные количества пищи,

и понятно, почему биологические стороны океанографических исследований поддерживаются правительственными субсидиями. Возможность традиционного использования моря как места свалки для промышленных отходов и сточных вод сейчас требует строгой научной проверки, поскольку объем всевозможных отходов деятельности человека быстро возрастает. С появлением большого количества радиоактивных отходов атомной промышленности опасность неконтрольного захоронения в океане таких продуктов с длительным временем распада представляет большую потенциальную угрозу для всего человечества.

Система исследования океанов всегда носила двойственный характер. С одной стороны, это были региональные исследования в сравнительно кратковременных экспедициях, которые тяготели к морским портам, разбросанным по всему земному шару. Результаты, полученные в этих плаваниях, связывались воедино теми крупными исследовательскими рейсами, которые составляют второй вид исследований и длятся в течение нескольких лет. Они и позволяют проводить сравнения различных океанов или их частей. Экспедиция на английском судне «Челленджер» в 1872 г. была одним из первых кругосветных плаваний такого рода, и она явилась началом детального изучения глубин океана многими последующими экспедициями. В 1949 г. военно-морской флот Великобритании снарядил аналогичную экспедицию, и — что поразительно — на судне, которое вновь носило название «Челленджер». Экспедиция на «Челленджере» и полученные ею результаты послужили основой для данной книги. Эта экспедиция никоим образом не открыла всего того, что известно сейчас о геологическом строении дна океана, и результаты плавания «Челленджера», возможно, отступят на второй план в сравнении с результатами, полученными другими научно-исследовательскими океанографическими экспедициями в различных частях земного шара. Но характер работ и трудности, сопутствующие изучению дна океана, примерно одинаковы для всех экспедиций, так что опыт одних исследователей может послужить примером для многих других.

Наиболее мощным средством исследования, имеющимся у современного морского геолога, является метод сейсмического зондирования. И он применялся экспедицией на «Челленджере» для выяснения характера горных пород,

залегających под поверхностью дна океана. Кроме решения вопроса о том, действительно ли океаны перманентны или под их водами лежат древние затопленные материки, результаты сейсмической разведки дают также представление о мощности покрова рыхлых осадков, а также о толщине земной коры под океанами. Отдельные главы этой книги посвящены описанию различных слоев земной коры, слагающих дно океанов. Данные о строении коралловых островов — атоллов — и обнаруженные совсем недавно затопленные подводные горы с плоскими вершинами подтверждают ту простую гипотезу происхождения атоллов, которая была предложена Дарвином еще в прошлом веке. О том, как подтверждается эта гипотеза с помощью новых методов исследования, рассказывается в гл. VI. Однако, прежде чем исследовать, что лежит под дном океана, сначала нужно получить представление о рельефе самого дна. Эхолот позволил обнаружить большое разнообразие форм подводного рельефа и заставил отказаться от старых представлений об однообразной, плоской равнине океанического ложа. Он открыл нам страну с огромными горными хребтами, высокими пиками и долинами, с более изрезанным рельефом, чем это можно видеть обычно на суше.

Современные океанографические экспедиции проводят и другие виды исследований. Наблюдения за температурой и течениями, отбор образцов донных осадков и планктона — все это помогает узнать, как циркулируют огромные водные массы в бассейнах океанов. Сюда же относятся и все естественно-научные исследования, которые проводятся, зачастую попутно, всеми экспедициями, проникающими в редко посещаемые воды.

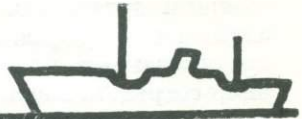
Последняя часть книги посвящена выводам, которые можно сделать в настоящее время на основании все увеличивающегося объема собираемых сведений. Например, Средиземное море по строению коры рассматривается как образование, переходное между перманентными океанами и континентами. Оно возникло, возможно, в результате разделения Африки и Европы, которое произошло в далеком геологическом прошлом. Признаки такого раздвижения были получены в большом количестве с помощью многочисленных скважин, пробуренных нефтяными компаниями. Эти скважины производят в представлениях геологов такую же коренную ломку и таким же дорого-

стоящим путем, как морские исследования, изменяющие идеи океанографов. Глубокое бурение — дорогостоящее предприятие, и поэтому геологи, особенно в Великобритании, сосредоточивались на местных проблемах, которые могут быть разрешены путем бурения лишь неглубоких скважин. Геофизические методы исследования и аэрофотосъемка значительно расширяют наши представления и о строении Земли. И хотя геологов-нефтяников иногда считают узкими практиками, работающими для экономических целей, в действительности они идут в первых рядах ученых, овладевающих новыми идеями геологической науки.

К геологам-нефтяникам недавно присоединились геофизики, и теперь они вместе подвергают сомнению прежний скептицизм по отношению к гипотезам о движении континентов. Вопрос о том, представляли ли прежде Америка, Европа и Африка один огромный материковый массив, пока еще не решен; в настоящее время лучше всего заняться сбором фактов и не торопиться с окончательными выводами.

5335  
Решительный ответ на большинство вопросов о том, как Земля достигла своего современного вида, будет получен в ближайшие несколько лет путем глубокого бурения, которое даст возможность узнать, что лежит под наружной корой Земли. Сочетание достижений нефтяников-разведчиков с энтузиазмом океанографов и финансовой поддержкой военно-морских ведомств всех стран мира обеспечит решение этих проблем. Я работал во всех этих трех лагерях — с океанографами перед войной, как научный руководитель на «Челленджере», с военными моряками во время войны и сейчас в одной из крупных британских нефтяных компаний. Я хорошо представляю себе их возможности и надеюсь, что такое сочетание даст возможность вписать еще одну интересную главу в историю развития человеческих знаний о земном шаре, который является нашим родным домом.





## I. Географические исследования сегодня

...Двадцать томов с результатами экспедиции «Челленджера»... являются монументом, воздвигнутым в честь еще одной мирной победы, одержанной Британским военно-морским флотом во имя всего цивилизованного мира.

Сэр Клементс Маркхэм, *История  
Королевского военно-морского флота*

Один из героев Конан-Дойля, профессор Челленджер, утверждал, что Земля создана подобно морскому ежу. С внешней стороны имеется тонкая скорлупа — земная кора, образующая футляр, содержащий массу желеобразного вещества. Эта точка зрения не разделяется большинством астрономов и геофизиков; также сильно расходятся мнения ученых о том, что находится внутри Земли и как вообще туда проникнуть. Возможно, что Земля образовалась как устойчивое скопление метеоритов. Тогда это будет обозначать, что земное ядро состоит из жидкого железа и никеля. С другой стороны, если бы Земля представляла собой сгущение газообразной материи, то ее недра содержали бы сильно сжатый водород. Теории о Земле живут упорно и догматически в течение многих веков, и профессор Челленджер у Конан-Дойля жил согласно именно этим двум принципам. Однако будучи человеком решительным, он для подтверждения своей идеи организовал прорытие шахты глубиной свыше восьми миль.

Экспериментальный подход, несомненно, является единственно правильным, если мы будем пытаться доказывать теоретические аргументы. В последние десять лет наблюдается возрождение усилий, направленных на то,

чтобы больше узнать о Земле. Форма земной поверхности была определена довольно полно еще во времена великих открытий XVIII и XIX вв., и поэтому можно простить тех, кто думает, что с завоеванием Эвереста и Антарктиды окончательно закрылась книга географических приключений. И, конечно, именно поэтому большая часть искателей неизвестного уже направила свои мысли на исследование Луны и даже более отдаленных космических тел. А ведь мы еще далеко не все знаем о Земле. Есть еще географический рубеж, который нужно преодолеть, — дно океанов.

Даже беглого взгляда на карту мира или глобус достаточно, чтобы увидеть, что почти три четверти земного шара покрыто водой. Что спрятано под этим покровом? Плоское морское ложе или целый ряд затонувших континентов? Большая часть океанического дна совершенно не исследована или же пересечена лишь немногочисленными разрозненными промерными галсами. Каждый раз, когда какое-нибудь судно прокладывает новый промерный галс, оно обнаруживает неизвестные ранее формы подводного рельефа, — следовательно, здесь мы имеем огромное поле для современных открытий, совершаемых небольшой группой ученых во всех океанах земного шара. Эта работа не ограничивается только регистрацией морфологии морского дна, так как у нас созданы приборы, дающие возможность определить характер слоев горных пород, залегающих глубже поверхности дна океанов. И именно в этом смысле новый «Челленджер» внес большой вклад в изучение Земли. «Челленджер» — это гидрографическое судно, которое со специальными океанографическими заданиями отправилось в 1950 г. в трехгодичное кругосветное плавание.

Одной из традиционных задач Британского Королевского военно-морского флота было участие в исследовательских плаваниях. И в истории его есть немало страниц, повествующих о мирных подвигах английских судов и моряков, которые спорят со славой, добытой ими в военных битвах. Имена Кука, Флиндерса, Нареса, Скотта, названия судов «Дискавери», «Баунти», «Бигл» и «Челленджер» говорят нам о ведущей роли Королевского флота в поисках новых земель и описании неизвестных растений и животных.

Когда-то было сказано, что «знакомство с работой военно-морских экспедиций не может не привести к убеж-

дению, что именно это и есть настоящее дело для военного флота в мирное время». Так оно, безусловно, и есть, потому что знание географии, природы и процессов, происходящих в море, имеет первостепенную важность для военных моряков, так же как и для всех вообще мореходов. Кроме того, организация морских научных экспедиций обходится всегда очень дорого, и поддержка со стороны военного флота оказывается почти необходимой. Поэтому постоянное объединение ученых и военных моряков в исследовательских экспедициях и открытиях совершенно естественно. Это объединение очень часто проявляется в сравнительно небольших предприятиях, как, например, сбор образцов донных грунтов в Ла-Манше или измерения силы тяжести с подводной лодки вблизи материкового шельфа. Однако необходимость изучения всего земного шара требует порой приложения новой техники для исследований и в далеких частях Мирового океана. Тогда становится необходимым снаряжать крупные и хорошо оснащенные экспедиции.

Целью первых экспедиций военно-морского флота было открытие новых земель, нанесение на карту всех деталей их береговой линии и надводного рельефа, а также отыскание морских путей в дальние страны. Длительные поиски Северо-западного прохода и западного пути в Индию, попытки найти Южный материк — все это привело к большим успехам в картографии. Географические открытия дали сведения о новых видах животных и растений, и ученые-натуралисты XVIII и XIX столетий получили большое количество систематических данных. А во второй половине XIX в. внимание исследователей обратилось к изучению самих глубин океана. Изобретение подводного телеграфа, несомненно, было одним из первых стимулов большого желания — равно как и необходимости — изучать рельеф океанического дна. В 1868 г. британское судно «Лайтнинг» проводило регулярные измерения глубин, а в следующем году «Поркупайн» добыл образцы донных грунтов с глубины 1500 морских саженей. Однако знания одних лишь очертаний рельефа океанического ложа было еще недостаточно, чтобы полностью оценить осуществимость проекта прокладки трансокеанского кабеля. Считали, что могут возникнуть огромные трудности из-за глубинных течений. О крайнем недостатке знаний говорят также опасения, что разные невиданные морские

чудовища, живущие в глубинах океана, могут весьма враждебно встретить всякое вторжение на их территорию. Поэтому было необходимо всесторонне изучать глубины океана, подобно тому как в предшествующих столетиях были тщательно исследованы и научно описаны новые земли.

В 1872 г. судно «Челленджер» было послано в экспедицию для изучения Мирового океана, и можно сказать, что эта знаменитая экспедиция заложила основы современной океанографии. Это великое дело было организовано начальником Гидрографического управления военноморского флота совместно с Королевским обществом, а личный состав корабля состоял из военных моряков под командованием капитана Джорджа Нареса и гражданских ученых, которых возглавлял проф. С. Уайвил Томсон. «Челленджер» проводил регулярные измерения глубины и отбирал пробы донных грунтов, а также вел температурные наблюдения и химические анализы морской воды с различных глубин. Объемистые отчеты, содержащие детальные описания собранных зоологических экземпляров, а также физические исследования говорят сами за себя, и можно только восхищаться огромной работой, проделанной этой первой действительно научной океанографической экспедицией. Хотя работами «Челленджера» были установлены примерные пределы изменения физических свойств океанов, но оставалось еще много деталей, которые следовало выяснить. Только после этого можно было бы составить истинную картину природы океана.

Измерения глубин производились очень трудоемким способом — путем опускания на дно океана груза на очень прочном пеньковом лине. При вытравливании в воду пеньковый линь значительно уменьшает свой вес за счет плавучести. Это было необходимо, так как если бы применялся тяжелый линь, то было бы очень трудно заметить изменение в натяжении на лине в тот момент, когда груз достигает дна. Современный эхолот произвел революцию в изучении подводного рельефа. До его введения в практику данные глубоководного промера были весьма малочисленными. И хотя общие очертания подводных цоколей островов, поднимающихся над ложем океана, а также шельфов вокруг континентов были известны, детали рельефа морского дна могли быть очерчены не лучше, чем если бы мы попытались очертить рельеф Британских

островов, зная лишь высоты Лондона, Эдинбурга и Сноудона. Эхолот дает не отдельные точечные измерения глубины, а ведет непрерывную запись профиля дна и, таким образом, дает представление об истинной морфологии ложа океана.

Гидрографическое ведомство морского министерства интересуется главным образом неровностями дна на мелководьях, опасными для мореплавания. А геоморфология глубоководных областей океана является предметом, который наука должна была развивать ради своих теоретических интересов. Однако во время последней войны были обнаружены многие формы глубоководного рельефа. Особенно заслуживают внимания открытия Х. Хесса в Тихом океане. И сознание того, что под водами океанов существует огромный и все еще неведомый нам мир, привело в последние десять лет к усилению сбора данных о морских глубинах.

Никто не может еще точно сказать, каким образом знание рельефа глубоководных частей океана принесет пользу военно-морскому флоту; не исключена, например, возможность, что подводные лодки смогли бы ложиться на грунт в открытом океане на вершинах крупных подводных гор. Но все равно совершенно очевидно, что чем больше мы узнаем о природе океана, тем будет лучше.

В 1940 г. явственно ощущался недостаток в точных сведениях об океане как водной среде, в которой действуют корабли. Например, волнение, которое имело огромное значение при десантных операциях, в целом было едва изучено, и методы предсказания состояния моря по метеорологическим данным нуждались в самом интенсивном развитии. Зато теперь прогнозы волнения широко используются при разведке нефти у побережья.

При глубоководных промерах необходимо иметь данные наблюдений о температуре и солености морской воды, чтобы в показания эхолота можно было вносить поправки за истинную скорость звука. Со времени экспедиции на первом «Челленджере» океанографы использовали определения температуры и солености воды для наблюдения за движениями водных масс, чтобы затем нанести на карту основные океанические течения. В свою очередь сведения об этих течениях необходимы штурманам для точного определения местонахождения судна методом счисления и для определения длительности плавания. Таким

образом, изучение океанов напоминает игру в мяч между моряками и учеными: каждый успех ведет к необходимости более тщательных наблюдений; расширение наблюдений вызывает возникновение новых интересных проблем. Даже жизнь океанического животного мира представляет непосредственный интерес для Гидрографического ведомства, и притом не только с точки зрения рыбного промысла. Дело в том, что в настоящее время с помощью эхолота различными кораблями обнаружено много мелей в таких местах, где они маловероятны. В действительности записи этих мелей были получены не от мелководного дна, а от скоплений рыбы, поедающей мелкие морские организмы.

Недавно появилась еще одна заинтересованная группа, которая тоже начинает играть свою роль в океанографии. Геологи, ведущие разведку на нефть, с некоторого времени стали считать, что источники нефти нужно искать скорее всего в тех местах, где в условиях недостатка кислорода наблюдается распад организмов рыб или других морских животных. Поскольку знание того, как образуется нефть, может помочь в поисках ее крупных залежей, совершенно очевидна связь нефтяной разведки с морскими исследованиями.

Океанографические исследования проводились многими странами, но в большинстве случаев эта работа выполнялась небольшими экспедициями с весьма ограниченными задачами и районами исследований. Конечно, были и исключения. Например, плавания судов «Джон Муррей» и «Метеор» значительно расширили представления о природе Индийского и Атлантического океанов. В этих экспедициях основное внимание уделялось структуре и динамике вод океана и жизни их обитателей. Геология морского дна исследовалась лишь путем сбора проб из самых поверхностных слоев донных осадков, а также путем крайне медленного сбора сведений о глубинах. Но интерес некоторых физиков и геологов к вопросу о составе земной коры привел к развитию методов исследования глубинных слоев морского дна. В 1939 г. война прервала экспериментальные исследования, проводившиеся по обе стороны Атлантики. Эти эксперименты уже дали успешные результаты в прибрежных водах на глубинах порядка 100 морских саженей (180 м) и намечали пути зондирования дна океана на больших глубинах. Был создан эхолот-са-

мописец, позволяющий записывать многочисленные профили дна и тем самым расширять представления о рельефе дна. Появилась и стала расти новая школа океанографов, которая занималась уже не столько водами океанов, сколько их дном.

Ханс Петтерсон был первым, совершившим сразу же после войны комплексную кругосветную океанографическую экспедицию на шведском учебном судне «Альбатрос». Петтерсон с большой детальностью исследовал ложе океана, применяя для отбора проб грунта новую трубку, изобретенную Кулленбергом. Эта трубка позволяла брать со дна океана колонки грунта — глинистых осадков — длиной до 70 футов. Петтерсон пытался также определять толщину слоя рыхлых осадков с помощью записи волн, возбужденных взрывом небольшого заряда и отраженных от подошвы осадочного покрова. Как мы увидим дальше, этот сейсмический метод отраженных волн может дать ценные результаты, но интерпретация записей отраженных волн не однозначна. Тем не менее экспедиция на «Альбатросе» провела исключительно широкие исследования осадков, покрывающих дно океанов, а замечательная коллекция колонок грунта, собранная ею, при детальном изучении в лаборатории дает много сведений о ледниковых периодах и относительно недавней геологической истории. «Альбатрос» был оснащен эхолотами, способными записывать непрерывные профили дна на глубинах 3—4 тысячи саженей. Подобно всем послевоенным экспедициям, экспедиция на «Альбатросе» превратила глубоководный промер в обычные повседневные наблюдения. Это же было сделано затем и датской глубоководной экспедицией на «Галатее», которую возглавлял доктор Антон Бруун.

Главным объектом изучения «Галатее» был животный мир океана. Глубоководные траления проводились этой экспедицией в классической манере первого «Челленджера», но уже с применением самого современного оборудования. Королевское научно-исследовательское судно «Дискавери» совершило плавание в южное полушарие главным образом с целью изучить поведение китов, но во время этого рейса проводился попутный промер и брались пробы воды, а также делалась попытка получить отражения звуковых волн от подошвы осадочного слоя.

В последние годы бурную деятельность стали развивать Соединенные Штаты Америки, и в результате были

достигнуты большие успехи во всех областях океанографии в Тихом океане. Это было следствием как вызванного войной возросшего интереса к островам и атоллам Тихого океана, так и необходимостью для вооруженных сил располагать точными сведениями об острове Бикини и других подобных местах, используемых в качестве полигонов для испытаний атомного оружия.

Изучение Тихого океана связано как с изучением природы его островов, так и с исследованием геологического строения этих островов и атоллов, а также самого ложа океана. В Тихом океане экспедиции работают почти непрерывно. Кроме неглубокого исследования дна океана путем драгирования и взятия образцов донных осадков стали применять также сейсмический метод преломленных волн для изучения пластов горных пород, лежащих глубоко под дном океана и до «корней» коралловых атоллов. Огромное количество сведений о геологии дна океана собрано во время многочисленных рейсов «Атлантика» и других судов под руководством профессора Колумбийского университета Мориса Юинга, пионера глубоководных сейсмических исследований.

Свои первые сейсморазведочные работы Юинг проводил на мелководных участках атлантического побережья Америки с целью получить сведения о различных геологических формациях. Такие же эксперименты были выполнены Эдуардом Буллардом на западных подходах к Ла-Маншу. В обоих этих случаях применялась обычная наземная техника сейсмической разведки, с тем лишь дополнением, что приборы, устанавливавшиеся на дне, герметизировались. Результаты этих работ позволили проследить границу между относительно молодыми породами и подстилающими их древними породами фундамента вплоть до края шельфа, где плавно понижающаяся поверхность отмели переходит в обрыв, круто падающий вниз на протяжении нескольких миль к ложу океана.

Эти ранние эксперименты служили двум целям: во-первых, возбудить интерес к возможностям морской геологии и, во-вторых, показать, что исследования можно проводить в глубоководных частях океанов. Было обнаружено, что совсем не обязательно помещать сейсмическую аппаратуру на дно моря; наблюдения сейсмических волн можно с успехом проводить и вблизи поверх-



ности воды. Подробно этот метод будет описан в одной из последующих глав.

Летом 1949 г. Морис Хилл (Отделение геодезии и геофизики Кембриджского университета) доказал, что определения толщины слоев и скорости звука могут быть сделаны достаточно точно для горных пород, залегающих на глубине 2—3 миль от поверхности воды. Аппаратура Хилла была приспособлена для работы с одного судна. По счастливой случайности эта аппаратура была испытана как раз в то время, когда Гай Вьятт, главный гидрограф Британского военно-морского ведомства, планировал кругосветное плавание «Челленджера». Даже самый заядлый морской геолог вряд ли станет утверждать, что изучение строения пород, залегающих на глубине 3 миль под килем корабля, действительно представляет большой интерес для навигации. Однако, как мы уже видели, военно-морской флот часто производит исследования не только с чисто практическими целями, и Гай Вьятт согласился включить сейсморазведочные эксперименты в программу плавания «Челленджера». Сочетание глубоководного промера с морскими геолого-геофизическими исследованиями было просто идеальным и явилось дальнейшим развитием океанографических работ первого «Челленджера» как в смысле выяснения подробностей рельефа морского дна, изученного тогда лишь в самых общих чертах, так и в смысле более глубокого исследования земной коры, чем это позволяло драгирование и сбор образцов донных осадков на старом «Челленджере».

Новый «Челленджер» был не так велик, как его знаменитый предшественник XIX в., и на нем нельзя было разместить химические или какие-либо другие океанологические лаборатории и взять большую группу ученых. Главная научная задача экспедиции была посвящена одной определенной отрасли океанографии, связанной с изучением рельефа и геологического строения дна океанов. Умение и опыт морских исследователей, а также новая кембриджская аппаратура были на уровне этих задач, и, как мы увидим дальше, сделанные благодаря всему этому открытия помогли собрать достаточное количество фактов, которым не должны противоречить выдвигаемые предположения о строении Земли.

Такая целенаправленность экспедиции вовсе не означала, что изучение других вопросов океанографии было

полностью заброшено. Природа океана изучалась со всех сторон и самым энергичным образом, хотя иногда, возможно, скорее по-любительски, чем профессионально. За два с половиной года плавания, во время которого судно побывало в некоторых редко посещаемых районах земного шара, были собраны различные коллекции и сделаны наблюдения, представляющие огромный интерес для других специалистов. В наши дни осталось уже очень немного мест, которые лежали бы в стороне от проторенных морских дорог и не были бы описаны с самых различных сторон. Однако исследователи получали полное удовлетворение при виде индейских племен на островах Королевы Шарлотты или обитателей коралловых атоллов группы островов Эллис. И даже такие места, как Япония и Гавайские острова, уже исхоженные вдоль и поперек, при первом знакомстве приводили в восторг путешественников, а быстрая смена мест позволяла проводить интересные сравнения.

Кроме того, у экспедиции не было недостатка в открытиях. Не говоря уже о новых геологических данных, полученных благодаря сейсмическим исследованиям, в океане было обнаружено много новых подводных географических объектов. «Челленджер» обнаружил также самое глубокое место в океане, которое было зарегистрировано когда-либо до этого. Глубина 5940 саженей была получена в Марианском желобе в Тихом океане не более чем в 50 милях от того места, где «Челленджер» XIX в. обнаружил во время своего плавания самую большую из измеренных им глубин. Может быть, и существуют места с глубиной на несколько саженей больше, но в общем история измерения максимальных глубин океана уже пройдена до конца. И кажется замечательным, что корабль с таким славным названием завершил эту работу, начатую когда-то пионерами океанографии на одноименном же корабле.

Бесконечное множество аналогий можно получить, изучая переплетающиеся маршруты экспедиций на «Челленджере» в 1872 и 1950 гг. При этом немаловажно то, что если «Челленджер» XIX в. путем сравнительного изучения всех океанов заложил основы океанографических измерений вообще, то «Челленджер» наших дней, развивая морские геологические исследования, дал основы представлений о структуре дна океанов. Эти представле-

ния будут пополняться дальнейшими исследованиями, направленными уже на изучение отдельных деталей.

1 мая 1950 г. в 11 час. 30 мин. утра судно английского флота «Челленджер» миновало волнорез в Плимуте. Этот день казался подходящим, чтобы начать экспедицию, в частности и потому, что день 1 мая был понедельником. Последняя неделя в Плимуте ушла на проверку аппаратуры после очень короткого предварительного рейса из Чатама. Дни, проведенные в Чатаме во время большого ремонта, который был необходим, прежде чем судно покинет на несколько лет родные доки, образовали затянувшийся период маленьких неприятностей и нарушений планов. Доки выпускают замечательные суда военно-морского флота, но до тех пор, пока до выхода из дока не останется один час, будет казаться, что на судне царит хаотический беспорядок из шлюпок, канатов и машинного оборудования, а также бесчисленной толпы рабочих, слоняющихся по всем палубам с инструментами, а иногда и с кружками чая. Суматоху еще увеличивает то, что судно уже укомплектовано командой, хотя еще не закончен ремонт и переделки, и поэтому команда корабля должна вести двойную жизнь: днем — на судне, а ночью — в казармах.

В воспоминаниях о первых днях, проведенных на борту корабля, остался неубранный грязный подход к трапу мимо электрических генераторов и ведер для мусора и холодное судно, в которое пар из машинного отделения еще не вдохнул жизненного тепла, хотя оно и сопровождалось, как всякий новорожденный, достаточным шумом. Электроэнергия доков, конечно, давала свет для судна, но это носило характер своеобразного переливания крови, и корабль жил в порту таким образом еще много времени спустя, пока его машины и, что гораздо важнее, его механики отдыхали.

Электроэнергия приводила в действие вентиляторы для очистки воздуха в небольших помещениях, на которые было разделено судно. Эти вентиляторы производили шум, напоминающий порывистый ветер в сопровождении жалобного воя на высокой ноте, — сочетание звуков, которое угрожало вначале полностью лишить нас сна. Однако после первых же нескольких дней, проведенных на борту судна, этот шум перестали замечать. Позднее, когда питание энергией переключали с судового источника на

береговой, мертвая тишина, устанавливающаяся при этом, казалась даже странной. Но это безмолвие вместе с полутьмой, воцарившейся при выключении света на несколько минут, вызывало приятные ассоциации, так как обычно совпадало с прибытием в новое место.

Хотя морские исследования и были для экспедиции «хлебом насущным», никто не стал бы отрицать, что посещение различных портов являлось своего рода «пирожным». За два с половиной года плавания «Челленджер» побывал почти в шестидесяти портах мира и во всех чувствовал себя очень бодро, за исключением шести недель ремонта в Оклендском доке, который явился остановкой на полпути кругосветного путешествия.

Однако судно может умереть. И мой последний визит, нанесенный прекрасному «Челленджеру», был печален, так как для судна окончились экспедиции и доки, и больше на нем не видно было рабочего оживления, не слышно шума, взрывов смеха, стоит полная тишина и уныние, и вас охватывает чувство такой пустоты, какой в действительности на судне никогда не бывает. «Челленджер» теперь уже пошел на слом, но в будущем, без сомнения, это имя будут носить другие суда, которые, быть может, продолжат традиции исследований, начатых знаменитым «Челленджером» в 1872—1876 гг.

Инструкции главного гидрографа предусматривали проведение прибрежного промера многих районов, включая Бермудские острова, Ямайку, острова Фиджи и Кипр. Следовало также: «проводить непрерывные эхолотные наблюдения на всем протяжении плавания, причем курс судна необходимо прокладывать так, чтобы заполнить самые большие пробелы в измерениях глубин океанов;

выполнять сейсмические измерения для изучения геологического строения дна океана в возможно большем числе мест, насколько это позволят время и погода;

исследовать все возможные мели, подводные горы, глубоководные желоба и другие формы подводного рельефа, а также отбирать образцы донных грунтов;

выполнить ряд станций для измерения температуры и взятия проб воды;

измерять температуру поверхности воды и проводить регулярные батитермографические наблюдения с целью получить температурные кривые для поверхностного слоя воды;

проводить определения магнитного склонения на выбранных станциях;

наблюдать и описывать любое явление, представляющее интерес для биологии; особенно важно проводить сеть ловы планктона и других мелких морских животных и заносить в вахтенный журнал записи обо всех увиденных морских птицах».

Маршрут, выбранный для кругосветного плавания, проходил на запад к Бермудским островам, затем в Тихий океан к западному побережью Канады, а потом через Тихий океан к берегам Японии; спустившись на юг к Новой Зеландии, судно начинало обратный путь, пересекало Индийский океан и через Средиземное море возвращалось в Портсмут. Путь следования «Челленджера» показан на приложенной карте, на которой отмечен также маршрут первого «Челленджера», проходивший в восточном направлении.

Панамский и Суэцкий каналы были менее интересными пунктами путешествия. В то время как старый «Челленджер» провел часть своего плавания в Южной Атлантике, потому что должен был пройти через Магелланов пролив и обогнуть мыс Доброй Надежды, курс нового «Челленджера» почти полностью ограничивался северным полушарием. Несмотря на то что Суэцкий канал был открыт уже в 1869 г., экспедиция 1872—1876 гг. миновала Средиземное море и прошла через южную часть Индийского океана, явившись первой экспедицией, которая на судне с паровым двигателем пересекла антарктический полярный круг. Маршруты обеих экспедиций наиболее близки в западной части Тихого океана. Случилось ли это потому, что антиподы обладают для англичан, отправляющихся в кругосветное путешествие, особенной привлекательностью, а может быть, в этом было повинно обаяние островов Южных морей? В общем было пройдено 74 000 миль, немногим больше, чем путь старого «Челленджера», который прошел 69 000 миль.

«Челленджер» — судно водоизмещением 1200 т — был построен в 1929 г. для Министерства сельского и рыбного хозяйства для исследования новых промысловых районов в северных водах. Предполагалось, что руководить судном будет военно-морской флот и что в плаваниях на нем будет принимать участие группа ученых.

Хотя судно никогда не оказало непосредственной по-

мощи рыбной промышленности, первоначальные замыслы его создателей во многих отношениях все же были осуществлены. Рейс «Челленджера» дал много сведений об океанах, представляющих интерес для исследования рыбного промысла, хотя прямые наблюдения за жизнью рыб имели лишь второстепенное значение в этом плавании.

«Челленджер» имел немного более 200 футов в длину, широкое поперечное сечение и высоко поднятую носовую часть, так что он больше походил на яхту, чем на военноморское судно. С 1931 г., после первого плавания, ввиду финансовых ограничений, наложенных кризисом в 1930 г., Гидрографическое управление включило судно в свой флот гидрографических судов, и «Челленджер» был занят в нескольких рейсах, которые по своему характеру лишь немного выходили за рамки обычной съемки. Один из первых рейсов «Челленджера» был к побережью Лабрадора и Гренландии. Капитан, плававший на нем в этом рейсе, впоследствии стал начальником Гидрографического управления, который и направил судно в кругосветную исследовательскую экспедицию. Без сомнения, морские офицеры, привязываются к своим кораблям, и поэтому назначение старого корабля в настоящий исследовательский рейс, должно быть, доставило сердцу Гая Вьятта огромное наслаждение. В 1950 г. он сказал на прощанье, обращаясь к капитану Биллу: «Судно прекрасно и в плохую погоду, но помните, Вы не должны допускать, чтобы оно черпало кормой». Во время нашего кругосветного плавания, даже в самые сильные штормы это предупреждение не имело плохих последствий, но в последующем рейсе, в 1953 г., волна действительно захлестнула корму и смыла одну из шлюпок. «Челленджер» сослужил хорошую службу во время войны на Дальнем Востоке, а однажды выполнял роль плавучей картографической фабрики при составлении необходимых десантных карт для захвата Малайи. После войны судно выполняло работу по обычной съемке в Персидском заливе, и карты, созданные на базе этой съемки, принесут большую пользу для все возрастающих поисков нефти в море у берегов Аравии. Один из каналов, для которых была произведена съемка, уже используется танкерами, идущими в большой нефтяной порт.

В дни войны у «Челленджера» на задней мачте был установлен бизань-парус, что увеличивало его скорость на 1—2 узла и давало ему возможность идти наравне

с быстроходными судами флота. Вообще «Челленджер» был «тихоходом»: его средний ход даже в хорошую погоду составлял всего около 8 узлов, с резервом лишь в 2 узла при самом полном ходе. В бурную погоду в открытом море скорость судна часто падала до 1—2 узлов, при этом нос его резко зарывался в волны, создавая большое сопротивление воде. Но именно эти резкие наклоны давали кораблю возможность оставаться сухим от воды, и даже в самую бурную погоду лишь случайная волна пробиралась внутрь, чтобы вымыть дорожки.

Двигатель был несколько старомодным для современного военно-морского судна: один-единственный винт с паровой машиной тройного расширения, т. е., по существу, с той же машиной, которую Уатт применял в своих ранних экспериментах, лишь с тем усовершенствованием, что пар, выходящий из первого цилиндра с понизившимся давлением, с успехом использовался еще в двух цилиндрах, чтобы дать на главный ведущий вал добавочное давление. Паровые котлы топились нефтью, так что у нас не было той грязи от угля, которую приходилось терпеть на паровых судах времен старого «Челленджера».

Вдоль каждого борта главной палубы шли закрытые проходы, за счет чего ширина верхней палубы увеличивалась до полной ширины судна и создавалась удобная защита и от солнца и от дождя. В передней части главной палубы располагались якорные лебедки, а якорная цепь помещалась там же несколько ниже, в форпике. Паровая лебедка для опускания приборов при сборе образцов грунта и морской воды была расположена впереди по правому борту. Бак судна ограничивался передней переборкой капитанской каюты. Из центра носовой палубы поднималась главная мачта, на которой имелась стрела для опускания в воду тяжелых приборов, таких как радиоакустические буи. Это было очень удобно для проведения сейсмических работ, так как на баке было много места для громоздкой сейсмической аппаратуры. Бак был также местом, где офицеры могли подышать свежим воздухом и где, конечно только в тихую погоду, они провели немало приятных часов во время «собачьей» вахты, сидя в кресле или лениво поглядывая на голубое небо или звезды, а может быть о чем-нибудь мечтавая.

Интересно сравнить это судно с «Челленджером» XIX в., снаряженным для экспедиции 1872 г. Лейтенант

Уильям Дж. Дж. Спрай описывает старый «Челленджер» как «двухпалубный корвет водоизмещением 200 т, с машиной в 4000 лошадиных сил; все необходимое переоборудование, которое было нужно, чтобы приспособить судно для предстоящей работы, было сделано в доке в Ширнесе. Чтобы иметь свободное место, с главной палубы были убраны все орудия, за исключением двух 64-фунтовых пушек. Кроме кают капитана, старшего помощника и руководителя научной группы, на судне имелись также просторные помещения для научных наблюдений и анализов, химическая лаборатория и фотолаборатория, оборудованные всевозможными приборами, которые только могли предоставить наука и техника. На верхней палубе был установлен двухцилиндровый двигатель в 18 лошадиных сил с приводными валами и барабанами, протянувшимися через весь корабль и предназначенными для выбирания тросов во время драгирования и измерения глубин».

Старый «Челленджер» XIX в. со своим водоизмещением в 2000 тонн был гораздо больше, чем наше судно, и его лабораторные помещения были куда роскошнее. Это было необходимо для того типа научных наблюдений, которые на нем проводились. Но поскольку мы не пытались делать какие-либо химические анализы и собирали для коллекции только те образцы животных и осадков, которые не могли быть определены непосредственно на борту корабля, то у нас было достаточно места для геоморфологических и геологических работ, которые имели для нас первостепенное значение. Наша сейсмическая аппаратура не была чересчур громоздкой; а что касается результатов работы, то нужно было лишь место для хранения фотобумаги, на которой записывались вступления звуковых волн, прошедших сквозь толщу воды и донных отложений.

Преимуществом старого «Челленджера» было в высшей степени удачное сочетание паруса и пара, в то время как мы из-за запасов горючего были ограничены пребыванием в открытом море лишь не более 22 суток. Из-за сочетания малой скорости и ограниченного пребывания в открытом море мы не могли останавливаться для проведения экспериментов более чем на несколько дней во время некоторых больших переходов, длина которых определялась географическим размещением заправочных станций. Если в открытом море встретится плохая погода,



то это может полностью поглотить те несколько дней, которые планировались для работы, а также может замедлить ход судна до такой степени, что не останется ни одного дня в запасе. Тем не менее за время нашего плавания было выполнено свыше 6500 измерений глубин, в то время как на старом «Челленджере» — лишь 250, и определено геологическое строение дна в 32 пунктах Атлантического, Тихого и Индийского океанов и Средиземного моря.

Команда судна численностью около ста человек состояла полностью из добровольцев, и для многих из них этот рейс был первым заграничным плаванием. По плану экспедиция должна была продолжаться три года, т. е. дольше, чем обычный период службы во флоте в мирное время вдали от родных вод. Однако привлекательность посещения множества мест, которые лежат за пределами обычного заграничного плавания, обеспечила среди добровольцев горячий отклик. Кое-кто из наиболее циничных утверждали, что они пришли на «Челленджер» лишь для того, чтобы сэкономить деньги или чтобы набрать специальный 42-дневный отпуск за работу во время погрузок. Впрочем, каковы бы ни были причины появления на судне участников этой экспедиции, очень немногие сожалели о времени, проведенном в плавании. Около двух третей команды оставались на корабле на протяжении всего плавания. Те же, кто оставил судно, сделали это лишь потому, что некоторое время спустя нормальная система повышения в звании превратила правильно пропорциональный личный состав корабля в состав, переполнивший судно всякого рода начальниками и старшинами. Пришлось даже увеличить офицерскую кают-компанию, чтобы справиться с таким положением дел на судне.

Почти все обитатели кают-компании были специалистами в той или иной области. Небольшое судно может взять ограниченное число офицеров, но когда оно плавает как автономное судно вдали от флота или родной базы, то совершенно необходимо иметь на борту доктора и казначея, так как физически невозможно делить их с другими кораблями. Офицер-механик и штурман имеют свои особые задания, так что кроме первого лейтенанта — специалиста по гидрографии — остается место еще только для двух строевых офицеров. Смешанная каюта была за-

полнена учеными. При таком небольшом числе офицеров было совершенно необходимо оказывать друг другу помощь как в кораблевождении, так и в проведении экспериментов. Успешное выполнение океанографических работ зависело от совместных усилий всех тех, кто плыл на борту «Челленджера».

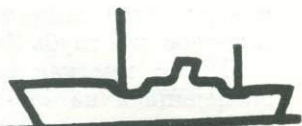
Результаты научных исследований, полученные «Челленджером», сообщались в публикациях различных научных обществ. Некоторые выводы из проведенных на «Челленджере» наблюдений спорны, но «Челленджер» лишь собирал факты, и только последующее изучение новых данных покажет, какой из теорий следует отдавать предпочтение. Вопрос о том, как образовалась Земля, всегда привлекателен, и выяснить строение Земли под океанами крайне необходимо, прежде чем мы сможем составить ясную картину ее геологического прошлого.

В промежутках между проведением научных исследований было очень приятно увидеть различные интересные уголки земного шара. Правда, океанографическая экспедиция не является самым быстрым способом знакомства с достопримечательностями дальних стран, потому что между каждым заходом в порт, продолжающимся всего несколько дней, лежат три недели, проводимые в море, а океан во всех частях света выглядит почти одинаково. Тем не менее, за немногими исключениями, завершением каждого трехнедельного перехода в море для нас было посещение новой страны. Правда, это постоянное движение иногда даже раздражало, так как в портах, куда заходило судно, мы очень быстро приобретали друзей, сердечное гостеприимство и товарищеское отношение которых делали расставания печальными.

Но, как правильно сказал капитан 3-го ранга Ритчи: «Вы никогда не совершите кругосветного путешествия, если будете все время стоять на одном и том же месте!» Итак, мы все же совершили плавание вокруг света, несмотря на обольстительные чары островов Южных морей, где так тепло и легко живется под сенью пальм.

Профессиональным фотографам, очевидно, известно, что пальмы и нефтяные вышки имеют общее свойство — фотогеничность. Это, по-видимому, не относящееся к делу замечание напоминает о связи океанографии с поисками нефти. В экспедиции на «Челленджере» этот вопрос совпадал с интересами гидрографов и морских геологов.

И хотя в коралловых атоллах Тихого океана не было найдено нефти, исследования показали, как образовались эти своеобразные структуры. Они, по существу, являются как бы надгробными памятниками древних вулканических островов, выросших на дне океана в результате извержения лавы и затем медленно погружавшихся в океанские пучины, но сохранные деловитыми коралловыми полипами, построившими атоллы. Представления о формировании атоллов имеют известное отношение к вопросу о происхождении нефти, так как нефть часто находят в структурах древних коралловых рифов, погребенных под поверхностью современных континентов. Возможно, в этом отношении еще больше могут дать методы изучения геологического строения коралловых атоллов, так как эти методы применимы также и для поисков нефти в мелководных морях.



## II. Земля и океаны

Определение земных осей является главной целью геодезии — самой важной области геофизики, если не считать геологии.

Сэр Гарольд Джеффрис, *Земля*

Глаза любознательных устремлены сейчас ввысь — в космос, а форма и строение самой Земли в какой-то мере остаются как бы сами собой разумеющимися. Однако полеты искусственных спутников Земли уже показали, как плохо мы еще изучили свою планету; нам необходимо пересмотреть принятые ранее величины, показывающие, насколько земной сфероид сплюснут у полюсов и растянут по экватору. Чем больше появляется гипотез о происхождении лунных кратеров, или о каналах на Марсе, или о том, что скрывает атмосфера Венеры, тем яснее становится, как мало определенного мы знаем о самой Земле и о ее месте в солнечной системе. Конечно, изучая другие небесные тела, можно узнать больше и о нашей планете, но все же нам предстоит сделать еще много открытий и на ней самой. Применение современных научных методов открывает массу новых возможностей, которые со временем сыграют свою роль в астрономии. Ключ к этим современным исследованиям в значительной степени заключается в океанах, поскольку под ними скрыта большая часть твердой земной поверхности. Новые исследователи XX столетия закончили открытие новых земель лишь на

поверхности земного шара и теперь устремились вверх, в космос, и в глубь Земли.

Перед тем как описывать вклад в науку, сделанный экспедицией на «Челленджере», уместно вспомнить, как создавались наши знания о Земле. Это поможет нам понять, почему именно океанографы проводили специальные измерения, касающиеся нашей планеты. Много интересных идей можно обнаружить в древних рукописях, сохранившихся от ранних цивилизаций, но все же подлинный прогресс науки часто определяется практическими требованиями, рожденными общественной жизнью. Океан, то казавшийся свирепым чудовищем, то прекрасным зеркалом в лучах заходящего солнца, издавна должен был дразнить искателей приключений. И вот бесстрашные моряки совершали путешествия, постепенно осознавая, что Земля является шаром, а не плоской поверхностью, какой она кажется, если рассматривать ландшафт вокруг себя с одного и того же пункта наблюдения. Путешественники по суше и океану объединяли свои представления и получали примерную картину протяженностей континентов и океанов, тогда как философы в это время спорили о том, каким образом Земля достигла своего нынешнего облика. Самые ранние предположения, которые можно найти в «Книге Бытия», очень подробны и догматичны, но даже наиболее достоверные современные гипотезы в какой-то мере согласуются с отдельными библейскими текстами, если, конечно, проявить достаточную гибкость в понимании тех или иных слов. С библейских времен понадобилось очень много трудов, чтобы собрать факты, с помощью которых можно отвергнуть или видоизменить картину Земли, созданную разумом или верой.

Появилась необходимость в картах, для того чтобы объяснить людям, как попасть из одного города в другой; особенно они нужны были для армий, которым приходилось маршировать по чужим землям. Это привело к созданию системы измерения расстояний, а поскольку такие заметные объекты, как горы и реки, были не только существенными вехами для путешественников, но и возможными препятствиями для них, в географической науке возникли методы регистрации форм рельефа. В этих ранних географических исследованиях, наверное, было что-то родственное философии, так как две тысячи лет назад Страбон писал: «Полезность географии в том, что она предполагает

философский ум у того, кто изучает искусство жизни, т. е. счастье».

Географы установили, что рельеф Земли состоит из плоских равнин, горных хребтов, пологих неровных поверхностей, долин с крутыми склонами и ущельями. И материалы, слагающие все эти формы рельефа, часто отличаются от окружающих пород. Во многих местах растительность или слой почвы скрывают породы земной поверхности. Но необходимость в воде и поиски полезных ископаемых научили людей рыть грунт, а при этом было обнаружено, что горные породы часто залегают в виде определенных слоев, и иногда эти слои могут быть изогнуты, образуя холмы или горы, а иногда падать вниз, скрываясь под другими слоями, или даже могут опрокидываться, как складки ткани. Было очень важно изучить получше характер этих слоев, поскольку металлы, уголь и вода, значение которых с развитием общества все возрастало, обычно встречались в сочетании с определенным типом пород. Появилась новая наука — геология, которая стала сопоставлять имевшиеся наблюдения, создавая общие представления, на основании которых можно было предсказывать, что можно найти в еще не исследованных районах. Подобно другим ученым, геологи прилагали громадные усилия, чтобы решить проблемы, поставленные перед ними природой. Однако есть предел того, что можно узнать при исследовании одной только поверхности Земли, и поэтому прогресс геологической науки был неразрывно связан с добычей рудного сырья, вызванной уже непосредственно экономическими причинами. Но не следует думать, что различные слои пород, лежащие под нами, можно видеть только в искусственных разрезах; природа позаботилась о геологах, открыв им большие обнаженные профили в тех местах, где глубокие речные ущелья прорезают толщу пород мощностью в тысячи метров. Оказалось, что структуры, обнаруженные под рыхлым почвенным покровом при добыче угля и золота, по своему характеру определенным образом соответствуют тем формам, которые наносились на карты при детальном исследовании пород на земной поверхности.

В последние десятилетия поиски нефти ведутся уже на глубинах около 8 км, но даже эта глубина является лишь тысячной долей расстояния до центра Земли, а породы,

обнаруженные на глубине таких скважин, сходны с теми, которые известны на поверхности.

Поверхностные породы разделяются на два больших класса: породы, образованные при отложении ила, песка и остатков растений и животных, — они называются осадочными, — и породы, излившиеся из недр Земли в виде расплавленной лавы, — их справедливо называют изверженными. Эти породы могут изменяться под действием давления или температуры. Это происходит в тех случаях, когда одни слои породы покрываются другими осадками или когда расплавленная изверженная порода прокладывает себе путь через другие слои. Большой класс пород, получившихся при подобных изменениях, называется метаморфическим. Изучение пород на земной поверхности говорит о том, что все осадочные породы, включая метаморфизованный материал, образовались при выветривании первичной суши и переотложении обломочного материала в виде ясно выраженных осадочных слоев в воде. Этими отложениями сложены горные хребты, поднимающиеся высоко над уровнем океана, что несомненно потребовало поднятия прежнего дна на тысячи метров. Некоторые изверженные породы представляют собой расплавленный осадочный материал, но иногда их химический состав является по своему характеру основным, и это, по видимому, первичные породы, из которых состояла Земля до начала процессов выветривания и до того, как стал изменяться уровень суши по отношению к уровню океана.

Различие между основными и кислыми породами зависит от соотношения кремнезема (чистого кварца в его самой обычной форме) и окислов железа и магния в той смеси, которая образует горную породу. Основные породы (базальт, габбро) содержат меньше половины кварца, а кислые (гранит) имеют в своем составе до двух третей кварца вместе с калием и натрием, которые прибавляются к смеси при включении некоторых осадочных пород. Возможно, как мы увидим дальше, разделение кислых и основных пород началось уже тогда, когда Земля затвердела, т. е. на самом раннем этапе ее истории. Какова бы ни была причина, верхние слои земной коры обычно слагаются кислыми породами. Непрерывное перемешивание пород продолжается все время в результате процессов выветривания, которые хорошо видны там, где море размывает береговые обрывы, где реки и временные потоки

врезаются в склоны гор, а разрушенный материал переносят к своим устьям. Иногда опускание всей береговой линии требует постройки специальных защитных дамб, чтобы сохранить территорию, занятую человеком.

В обнажениях, которые имеются почти в каждом карьере, выемке железнодорожного полотна, а лучше всего в глубоких речных ущельях хорошо видно, как в прошлом один слой осадков ложился на другой и в свою очередь перекрывался последующими слоями.

Тип породы в каждом слое отражает условия окружающей среды, существовавшие в то время, когда шло осадконакопление. Тонкие частицы ила, переносимые большими реками, образуют глины, которые под давлением покрывающих пород превращаются в глинистые сланцы. Цементированные песчинки, вынесенные из пустынь или получившиеся при выветривании гранитов, образуют песчаники, а многие поколения маленьких морских животных, накапливаясь, образуют различные виды известняка. Для создания каждого слоя осадков нужны миллионы лет, и поэтому здесь не может быть и речи о внезапных изменениях климата или процессов наземной эрозии. В геологии свой масштаб времени, и в нем период человеческой жизни занимает такое же место, какое занимает один день в привычном нам счете времени на годы и десятилетия. Правда, иногда происходят случайные катаклизмы, и они могут оставить нам небольшую маркирующую прослойку в породах, например прослойку пепла от крупного извержения вулкана или прослойку наносов от необычного по своим размерам паводка.

При чтении страниц геологической истории хорошо помогает изучение ископаемых остатков, обнаруженных во многих отложениях. Эволюция моллюсков и растений, остатки которых сохранились до сих пор, прослежена так же, как и развитие человека. В результате долгого и трудоемкого сравнения ископаемых, найденных в различных слоях, и основываясь на предположении, что более древние породы лежат под более молодыми, была создана шкала времени, охватывающая примерно 500 миллионов лет.

На протяжении всего этого времени ветер, дождь, мороз и реки непрерывно разрушали поверхность суши, перетлагая обломочный материал в горизонтально залегающие слои осадков. Осадконакопление обычно происходило в сравнительно мелкой воде. Это можно установить по



остаткам животных, сохранившимся в отложениях, и путем сравнения с теми местами, где подобные процессы происходят и в настоящее время. Но мы знаем, что мощность таких осадков часто достигает нескольких тысяч метров. Следовательно, морское дно должно было постепенно опускаться, по мере того, как идет процесс осадконакопления. Если вдоль береговой линии образуется впадина, то реки стремятся стекать в нее и заполнить илистыми наносами.

Течение геологического времени приводило к образованию гор, сложенных осадочными породами, которые когда-то несомненно были отложены в виде горизонтальных слоев в мелкой воде. Значит, кроме непрерывного разрушения поверхности суши и последующего отложения обломочного материала в мелководных морях, должен идти обратный процесс, в результате которого материал, заполнивший опускавшиеся бассейны, поднимается и образует новую сушу. При деформации слоев, связанной с горообразованием, возникают ловушки, где скапливается нефть. Образование нефти и ее миграция следуют геологическому циклу эрозии, осадконакопления и поднятия, поскольку нефть образуется из умерших морских животных, находящихся в осадках. С течением времени характер нефти меняется, и она превращается в жидкость, известную нам как «сырая нефть». Когда осадки уплотняются под тяжестью своего веса, капельки нефти выжимаются из них, мигрируя вместе с морской водой, в которой прежде плавали животные. При этом более легкая нефть стремится отделиться от соленой воды и при благоприятных условиях собирается в коллекторах из пористого известняка или песчаника, удерживаясь в таком положении находящейся ниже водой. Часто нефть мигрирует прямо к поверхности и там пропадает из-за окисления. Следовательно, благоприятные геологические условия для образования нефтяной залежи включают наличие непроницаемой породы, которая надежно закрывает пористые коллекторы сверху.

Образованию нефти посвящено много научных исследований, поскольку правильное понимание происходящих при этом процессов помогает найти новые подземные залежи. Интересно отметить, что в сырой нефти обнаружены соединения, которые входили в кровь морских животных. Подобным же образом, изучая ископаемые папоротники

и древесные стволы, можно понять, как образовался каменный уголь при разложении растений в пресноводных болотах. Имеются также промежуточные минеральные отложения, образующиеся в смешанных условиях пресных и соленых вод в той зоне эстуариев, которая затрагивается приливами. Это — горючие сланцы (shale-oil), происхождение которых устанавливается по спорам папоротников и другим растительным остаткам, принесенным реками к устью. В горючих сланцах нет жидкой нефти; она содержится там в виде твердого вещества — керогена. Только при нагревании породы кероген превращается в сырую нефть.

Хотя породообразующие процессы имеют очень большое значение для современности и продолжались до этого сотни миллионов лет, они затрагивают только очень тонкую внешнюю оболочку Земли. Это устанавливается по общей мощности осадочных пород, которая измеряется при их послойном изучении, сочетающемся с определением возраста по ископаемым остаткам. Во многих частях земного шара осадочные породы лежат непосредственно на невыветрелых гранитах, и эти последние породы — породы фундамента — часто встречаются при бурении глубоких нефтяных скважин. Осадочные породы, лежащие на фундаменте, напоминают слой почвы в саду, и, подобно ей, они перерабатывались с правильными интервалами. Возможно, при каждой переработке почвы к поверхности выносятся некоторое количество подпочвенного материала, пополняющего почвенный слой, но, несмотря на это, полезный слой почвы обычно бывает очень тонким. Выводы о геологической истории Земли основываются на наблюдениях, касавшихся этого очень тонкого поверхностного слоя, а также на физических экспериментах, которые можно поставить для проверки теорий, объясняющих те или иные факты. С помощью этих экспериментов создавались очень правдоподобные модели, но у них всегда был существенный недостаток: огромное различие масштаба времени человеческой и геологической истории. Некоторые эксперименты могут помочь в получении косвенных данных о недрах Земли. Эти геофизические методы позволили проникнуть в глубинные слои Земли, помогали разведчикам находить нефть и другие полезные ископаемые на больших территориях, и это обходилось гораздо дешевле, чем трудоемкое бурение глубоких скважин.

Данные об изменениях плотности глубинных пород можно получить, измеряя локальные изменения силы земного притяжения для ньютонова яблока или любого другого тела определенной массы. Присутствие некоторых пород обнаруживается по изменениям, которые они вызывают в магнитном поле Земли, измеряемом на поверхности. Кроме того, в верхних слоях земной коры существует постоянный восходящий приток тепла. Об этом свидетельствует увеличение температуры при спуске в глубокую шахту. Нарушение этого теплового потока вызывается замещением одних пород другими. Самым мощным геофизическим методом, применяемым для разведки и для получения детальных сведений о внутренних частях Земли, является метод, использующий сейсмические волны. Эти волны исходят из искусственного источника (например, взрыва) или естественных землетрясений и проходят через слои различных пород. Время пробега сейсмических волн — отраженных или преломленных (т. е. изменяющих направление на границах слоев с различными упругими свойствами) — позволяет вычислить глубины соответствующих границ.

Общая схема строения Земли была создана путем сочетания геологических и геофизических наблюдений с теоретическими представлениями. Но до самого последнего времени эта схема основывалась на измерениях, сделанных только на суше. При беглом взгляде на карту мира легко заметить, что около трех четвертей земной поверхности покрыто водой, а при более внимательном изучении окажется, что две трети занято глубокими океанами.

Форма границ материков и океанов была определена уже на начальных стадиях географических исследований, когда все представления об океане ограничивались тем, что он имеет ровную поверхность. Геологи проводили огромную работу для выяснения сложного наслоения пород на материках, и сразу же появились теории, пытавшиеся объяснить причину существования обширных океанских просторов. Первые сведения об океане были собраны не учеными, а мореплавателями и военными моряками, у которых практические интересы явно преобладали над научными, а плавание по океану требовало определенных знаний. Моряку нужно было знать очертания суши, нарисованные географами, но со времени самых первых парусных плаваний он еще больше интересовался глуби-

нами около берега, где мог посадить на мель свой корабль при попытке высадиться на сушу. Глубины измерялись на мелководье, когда корабль входил в порт, и эти измерения наносились на морские карты, показывающие, как изменяются глубины около берега. Моряки Британского военно-морского флота одними из первых начали составлять морские карты, и к концу XVIII столетия на флоте было образовано Гидрографическое управление, которое снабжало практическими сведениями капитанов кораблей, чтобы они могли точно определиться по берегу после тысячемильного перехода в океане. Первые исследователи, такие, как Кук и Флиндерс, отмечали открытые ими земли на морских картах с такими подробностями, которые не требуют до сих пор почти никаких поправок.

В XIX столетии военные моряки всех стран занимались построением карт для открытого океана, и ведущая роль в этом деле принадлежала британскому флоту. Введение усовершенствованных хронометров позволило значительно точнее определять положение островов, удаленных от материка. Земля равномерно вращается вокруг своей оси, и расстояние с востока на запад определяется количеством времени, которое проходит, пока два пункта окажутся поочередно под одной и той же звездой. Чтобы измерить расстояние с точностью до 1 мили, необходимо измерять время с точностью до секунд. Поэтому не следует удивляться, что капитан Блай с «Баунти» был так разгневан пренебрежением к его часам<sup>1</sup>. В последние годы радио очень упростило службу времени и сделало ее более точной. В наши дни определение относительного местоположения на том несколько неправильном шаре, каким является наша Земля, стало настолько важным,

---

<sup>1</sup> История капитана Блая и мятежа на бриге «Баунти» (1789 г.) очень популярна в западной литературе. Это одна из романтических страниц истории парусного флота и плаваний в неисследованных Южных морях. Причиной мятежа на «Баунти» послужила жестокая расправа капитана Блая с его помощником, небрежно обращавшимся с судовым хронометром. Мятежники высадили капитана Блая с его сторонниками на шлюпку, а сами отправились на поиски необитаемого острова. Они высадились на затерянном в просторах Тихого океана острове Питкэрн и затопили «Баунти». Команда «Баунти» и их потомки прожили на острове Питкэрн в условиях полной изоляции от внешнего мира почти сто лет.— *Прим. ред.*

что им занимается специальная наука, называемая геодезией.

Геолог, желающий распространить на океан свои представления о горных породах суши, сразу же сталкивается с рядом трудностей. Многие можно узнать, изучая форму профиля дна океана, точно вычерчиваемого эхолотом. Гораздо труднее собрать образцы пород и увидеть, как один слой замещается другим. Мы уже видели, что буровые скважины на материках могут проникать на несколько километров вглубь, и при этом можно получить образцы пород, встречающихся на пройденном пути. Правда, глубина бурения составляет лишь ничтожную долю земного радиуса, но это все же гораздо больше того, что мы можем получить в глубоком океане. Только в самые последние годы наметился прогресс в глубоководных исследованиях, и если раньше мы лишь буквально «царапали» дно океана драгой, то теперь можно проникнуть в него на глубину до 70 футов, правда, если оно сложено довольно рыхлыми осадками<sup>1</sup>. Разумеется, и такая глубина — фактически тоже лишь царапина на дне океана, но это все же позволило показать, что осадки покрывают большую часть ровного океанического дна. В сочетании с геофизическими измерениями толщины осадочного покрова и данными о современной скорости осадкообразования из мельчайшей взвеси и остатков мертвых животных это указывает на существование океанов в течение сотен миллионов лет.

Косвенные геофизические методы исследования глубинных слоев земной коры применять в океане трудно. Однако в последние десятилетия физики показали, что эти методы могут применяться там, где глубокое бурение оказывается практически непригодным. Быть может, сейчас уже нельзя говорить о невозможности глубокого бурения на дне, скажем, Тихого океана, глубина которого достигает 3 миль, поскольку бурение в прибрежных зонах, где толщина слоя воды около 100 футов, ста-

---

<sup>1</sup> Длина колонок рыхлых донных осадков, полученных советскими исследователями в экспедиции на «Витязе» в Охотском и Беринговом морях, достигает 34,5 м. Это максимальная длина колонок, полученных грунтовыми трубками. Длина колонок, получаемых в открытом океане, значительно меньше и не превышает 12 м, так как плотность океанских донных отложений значительно выше, чем в краевых морях. — *Прим. ред.*

новится в Америке обычным делом<sup>1</sup>. Можно не сомневаться, что при соответствующих усилиях бурение станет возможным и в глубоком океане. Но это потребует громадных расходов, а геофизические методы могут применяться и в океане, если произвести лишь сравнительно недорогие видоизменения в технике, уже используемой при исследованиях на суше. Поэтому более дешевые и быстрые геофизические методы исследования являются главным источником наших знаний о больших глубинах. Конечно, так же как и на суше, геофизические методы дают менее определенные сведения о природе слоев земной коры, чем буровые скважины.

О первом геофизическом эксперименте, по всей вероятности, рассказывается в легендарной истории о том, как Ньютону на голову упало яблоко. Созданная Ньютоном теория тяготения непосредственно привела к определению массы Земли. Ньютон установил, что все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Этот закон универсален, и он объясняет, почему Луна притягивается к Земле и обращается вокруг нашей планеты, а не улетает по касательной в пространство. Он объясняет также движение всех других тел солнечной системы. Этот же закон заставил яблоко притягиваться к Земле, или, иными словами, заставил яблоко иметь вес. Если в формуле притяжения яблока к Земле определить постоянную, то можно вычислить и массу самой Земли. Ньютон сделал очень хорошее предположение о величине этой постоянной, допустив, что плотность слагающих Землю пород увеличивается к ее центру. Но только Кавендиш сумел измерить эту величину, проделав весьма тонкий эксперимент, в котором маленькие золотые шарики притягивались к большому свинцовым шарам.

---

<sup>1</sup> В марте 1961 г. американские исследователи пробурили первую скважину на больших глубинах Тихого океана. Скважина была пробурена со специального судна, удерживавшегося неподвижно в одной и той же точке с помощью нескольких двигателей, с определением точного местоположения относительно четырех заякоренных буев. Скважина пробурена на глубине океана 3512 м в районе острова Гвадалупе, в точке с координатами 28° 58' с. ш. и 117° 28' з. д. Скважина прошла сквозь осадочный покров мощностью 167 м и вошла на 13 м в слой базальта миоценового возраста.— *Прим. ред.*

Трудность этого эксперимента состояла в том, что сила притяжения очень незначительна, так как иначе тела стремились бы притягиваться друг к другу, подобно тому как магнит притягивает к себе кусок стали.

Длину окружности Земли можно определить с помощью непосредственных измерений. Для этого не нужно сложной теории, поскольку хотя расстояние измеряется и не шагами с мерной лентой, но в конечном счете оно получается путем почти столь же простой процедуры. А если мы знаем размеры и массу Земли, то можно вычислить среднюю плотность слагающего ее вещества.

Известно, что для пород, встречающихся на поверхности Земли, эта величина в два-три раза превосходит плотность воды. А вычисленное значение средней плотности вещества Земли оказывается значительно больше. Следовательно, внутри Земли должен находиться какой-то очень плотный материал. Дальше мы увидим, как другие измерения, которые могут быть сделаны на земной поверхности, показывают, что высокая средняя плотность вещества Земли определяется концентрацией массы в ядре, где плотность почти такая же, как у железа.

С ньютоновским универсальным законом тяготения связан интересный факт: сила, действующая между двумя телами, не зависит от того, что находится между ними. Следовательно, если масса плотного материала погребена под слоем более легких пород, она все равно должна вызывать у поверхности Земли дополнительное притяжение, которое можно измерить, определяя притяжение массы, подвешенной к пружинным весам. Разумеется, это дополнительное притяжение даже под погребенной горой, сложенной железной рудой, будет очень небольшим, поскольку оно составляет лишь незначительную долю всего притяжения Земли, постоянно действующего на измеряемую массу. Но все же, измеряя силу земного притяжения с точностью до одной десятимиллионной, можно обнаружить местные отклонения — аномалии поля земного притяжения, связанные с различием пород в земной коре. Над океанами место горных пород занимает вода, а она гораздо легче их; поэтому, на первый взгляд, там следует ожидать уменьшения гравитационного притяжения. На самом же деле, как показывают измерения, ускорение силы тяжести над океанами примерно такое же, как и на суше. Следовательно, под океаном должен находиться слой

очень плотной породы по сравнению с породами, образующими континенты, и его мощность вполне достаточна для того, чтобы возместить относительно низкую плотность воды.

Гравиметрические наблюдения позволяют вычислить массы вертикальных колонок воды и горных пород, но удовлетворительные результаты получаются лишь благодаря тому, что существует равновесие между чрезвычайно плотными породами океанического дна и легкой водой, с одной стороны, и умеренно плотными породами, слагающими континенты, — с другой; и это равновесие достигается значительно раньше центра Земли. Чтобы показать природу различий между материком и океаном в поверхностной земной оболочке, необходимо обратиться к сейсмическим измерениям. Эксперименты с сейсмическими волнами, глубоко проникающими в земную кору, и были главной целью экспедиции на «Челленджере». Но прежде чем рассказывать о тех методах, с помощью которых сейсмические волны позволяют нам узнавать внутреннее строение Земли, не мешает напомнить, что именно сейсмические волны, возникающие при землетрясениях, раскрывают нам строение глубоких недр, находящихся под земной корой.

Толчок, вызванный землетрясением, часто бывает очень силен, и его можно почувствовать даже на противоположной стороне земного шара. Вступление сейсмических волн регистрируется сейсмическими станциями всего мира, и это позволяет вычислить время пробега волн через слои различной толщины внутри земного шара. Сейсмические станции, расположенные вблизи от эпицентра землетрясения, регистрируют волны, проходящие через земную кору. С увеличением расстояния от толчка сейсмические волны проникают все глубже, а сейсмограф, находящийся на диаметрально противоположной стороне земного шара, зафиксирует волну, прошедшую прямо через центр Земли. Можно вычислить время и место землетрясения по измерениям на соседних сейсмических станциях, и тогда время вступления волн к удаленным станциям может быть использовано для определения скорости прохождения волн через недра Земли. Обнаружено, что скорость распространения волн увеличивается к центру Земли. И это вполне естественно, поскольку внутренние слои выдерживают вес всех лежащих выше пород и,



следовательно, подвергаются огромным давлéниям. А из лабораторных экспериментов известно, что увеличение давления вызывает увеличение скорости сейсмических волн. Скорость зависит от упругих свойств и плотности породы, и по данным наблюдений, помня в то же время, что плотность должна соответствовать известным массе и моменту инерции Земли, можно создать правдоподобную модель строения земного шара, в которой породы нормальной плотности окружают более плотное ядро. Такое представление появилось еще в прошлом столетии. Оно отчасти основывалось на том, что метеориты, попадавшие на Землю из космоса, обычно были двух типов и состояли из силикатов и из соединения никеля с железом.

Эти представления подтверждаются наблюдениями за временем вступления волн от землетрясений, которые проходят через ядро, и волн, отраженных на границе оболочки, или мантии, и плотного ядра. Столь же несомненно эти наблюдения подтверждают, что земное ядро является жидким. Известно несколько типов волн, проходящих через слои пород. Самой быстрой из них оказывается продольная волна, или волна сжатия, которая может распространяться в твердой и жидкой среде. Ее иногда называют «ударной» волной («push»), так как она, двигаясь вперед, ударяет и мгновенно сжимает небольшой объем твердого или жидкого вещества, находящегося перед ней. Волны другого типа распространяются медленнее и могут распространяться только в твердой среде, потому что эти волны зависят от жесткости, которой не имеет жидкая среда. Это поперечные, или «вибрирующие», волны («shake»). Когда они проходят через твердую среду, они заставляют частицы ее колебаться под прямым углом к направлению распространения волны. Они могут возникать, например, при колебании верхней части студенистой массы из стороны в сторону. С другой стороны, поперечные колебания не могут вызвать никаких волн в жидкой среде. Поэтому поперечные волны не могут проходить через жидкое ядро. И в противоположность продольным волнам, которые можно проследить от центра землетрясения вокруг всей Земли, они теряются сразу же, как мы попадаем в зону тени жидкого ядра.

Существует много гипотез, объясняющих внутреннее строение Земли и связь ее и других планет с Солнцем.

Некоторые теории лучше других удовлетворяют фактическим данным, но считать какую-либо одну из них более приемлемой пока нет оснований.

Одна школа исследователей считает, что началом образования солнечной системы было вращение массы расплавленного вещества, которая сжималась и вследствие этого вращалась еще быстрее. То же самое происходит с конькобежцем, прижимающим руки и ноги к телу для увеличения скорости пируэта. При быстром вращении раскаленная масса уплощается и затем образует диск, похожий на кольца Сатурна. В конце концов этот диск превращается в систему планет, обращающихся вокруг Солнца.

Возможен и другой вариант этого процесса: звезда, проходившая вблизи от вращающегося Солнца, притянула к себе язык его расплавленной массы, который распался затем на отдельные планеты. Земля могла образоваться и иным путем: на первоначально небольшом теле, пролетавшем во вселенной, постепенно нарастало вещество из окружающего пространства. Вид поверхности Луны позволяет предполагать, что она испытала много столкновений с крупными метеоритами, и при каждом столкновении ее размеры несколько увеличивались. То же самое могло происходить и с Землей. Наличие обломков, блуждающих в пространстве и попадающих затем на планеты, можно объяснить тем, что Солнце было когда-то двойной звездой, подобно многим наблюдаемым сейчас звездам. Часто одна звезда из такой пары взрывается, и, это вполне могло случиться с двойником нашего Солнца.

Какой бы из вариантов ни был правильным, вряд ли стоит сомневаться в том, что в начале своей жизни Земля была расплавленной массой. Это само собой разумеется, если она оторвалась от Солнца, но то же самое было и в том случае, если она образовалась путем накопления падающего метеоритного вещества, поскольку при каждом новом столкновении выделялось тепло. Кроме того, большое количество тепла должно было образовываться при дальнейшем развитии Земли, когда составляющие ее части укладывались более плотно в результате гравитационного сжатия. Непосредственным признаком бывшего расплавленного состояния внешней земной оболочки является слой гранитных пород, который, как мы увидим далее, слагает континенты. Они могли отделиться от пород ман-

тий только одним путем — всплыванием на поверхность расплавленного шара. Жидкое ядро Земли объясняется столь же просто: жидкая расплавленная масса постепенно остывала вглубь, и в этом случае тяжелые железо-никелевые соединения оседали ниже мантии. Факты, касающиеся образования Земли, могут нам дать астрономические исследования и изучение земного ядра, а не земной коры, представляющей для нас непосредственный интерес. Но изучая земную кору, мы сможем пролить свет на некоторые выдвинутые ранее теории, поскольку одни из них прямо противоположны другим, а мы имеем слишком мало фактов для проверки их ценности.

Можно сделать много заключений, изучая поверхность суши, но они будут несовершенны из-за того, что будут основываться на фактах, собранных лишь с одной трети видимого внешнего покрова Земли. Кроме того, еще совсем недавно было принято сдвигать все неясные проблемы в неисследованные глубины океанов, где можно было предполагать любые геологические структуры. Было бы полезно установить определенные границы, внутри которых должны располагаться все теории как для всей Земли, так и для ее изученной части.

Как мы уже знаем, участки современной суши, находящиеся на несколько километров выше уровня моря, сложены породами, которые могли быть образованы только под водой. Отсюда возникло представление о том, что океаны и материка могут переходить друг в друга и что сегодняшние континенты могут в будущем стать океанами. С другой стороны, резкая граница между океанами и континентами предполагает, что континенты почти всегда занимали примерно одно и то же положение, и для многих геологов «постоянство океанских впадин» является аксиомой. Изолированные острова на необъятных просторах глубокого океана обычно сложены основными породами, т. е. не теми же породами, что континенты. Сейсмические волны распространяются в океанах быстрее, чем в породах континента, подтверждая тем самым их различие. Легко представить, как это могло произойти. Первая порода, затвердевшая при остывании Земли, образовала гранитную пленку на жидкой массе. В этой пленке собрались все легкие породы, а затем она, быть может, раскололась на многие куски, которые распределились по поверхности Земли и образовали современные материка.

Континенты лежат на слое более тяжелого материала, окружающего весь земной шар и выходящего на поверхность под океанами. Любопытно отметить, что более легкие породы, образующие континенты, не распространились по всей земной поверхности в виде однородного слоя. Вероятно, что можно объяснить тем, что Луна образовалась из верхних слоев расплавленной Земли, которые были оторваны от нее, когда гранит почти затвердел. При этом значительная часть Тихого океана должна была остаться без верхнего гранитного покрова, а существование других океанов может быть связано с последующим разрушением и перераспределением той части гранитного слоя, которая осталась после образования Луны.

Даже тогда, когда Земля затвердела, она продолжала отдавать тепло, путем теплопроводности медленно уходящее к ее поверхности. Достаточно спуститься в угольную шахту, чтобы почувствовать, как по мере спуска постепенно становится теплее. Охлаждение тел почти всегда сопровождается их сжатием, и породы, слагающие Землю, не являются исключением из этого правила. При сжатии объема внутренних слоев с охлаждением наружная земная кора, которая задолго до этого уже достигла устойчивого равновесия с теплом, получаемым от Солнца, стала испытывать большее притяжение и, чтобы приспособиться к уменьшенной внутренней сфере, образовала складки. Точно так же сморщивается кожура яблока, когда его внутренняя часть со временем сжимается. Складки в земной коре являются первой стадией горообразования. За ними в дальнейшем следовали вулканические извержения, скольжение и выжимание слоев пород различной пластичности.

Горы и межгорные долины разрушаются дождем и льдом, и, как это ни парадоксально, именно это заставляет их подниматься вследствие локального уменьшения нагрузки на нижележащие породы мантии; по этой причине, например, в настоящее время поднимаются Гималаи. В конечном счете эрозия одерживает победу, и прежняя горная система полностью выравнивается. На этом, однако, история не заканчивается, так как размывтый материал образует новые слои, отлагающиеся в мелководных морях, и в свою очередь превращается в новые горные хребты при последующих деформациях, обусловленных сжатием Земли.

Единственное затруднение, касающееся этого вполне вероятного хода геологического развития Земли, возникает при вычислении количественных характеристик складчатости и вероятного общего сжатия Земли. Одним только сжатием нельзя объяснить все горы на нашей планете, и в частности большой подводный хребет, который протягивается с севера на юг через весь Атлантический океан. Нет сомнения, что сжатие Земли может объяснить происхождение большинства форм земной поверхности, но кроме этого должны были происходить и какие-то другие процессы. Сторонники иных теорий горообразования, не связанных со сжатием Земли, имеют в своем распоряжении много убедительных фактов, подтверждающих их правоту. И если разумно подходить к этой проблеме, то следует допустить, что эти теории взаимно не исключают друг друга и современный облик планеты является результатом действия нескольких различных процессов.

Существует много геологических и биологических данных, подтверждающих теорию о том, что континенты Северной и Южной Америки отделились от Европы и Африки. Такой дрейф материков легко допустить, если он происходил в то время, когда материки были пеной, плавающей на жидкой оболочке Земли. Гораздо труднее вообразить движение континентов, уже ставших такими же твердыми, как теперь, а именно об этом свидетельствуют факты, которые должен объяснить этот дрейф. Однако уже общепринято, что слои твердых пород перемещаются вверх и вниз в процессе осадконакопления и горообразования, так что силы неизвестного происхождения, возможно, расталкивают массивы суши. Взаимодействие движущихся континентов друг с другом и со слоями, по которым они скользят, также может быть причиной складчатости и горообразования на суше. При этом вовсе не обязательно, чтобы континенты непрерывно двигались. Изучение геологической истории древних пород показывает, что периоды горообразования были сравнительно короткими и сменялись спокойными периодами, продолжавшимися около ста миллионов лет.

Одной из причин более длительной подвижности земной коры может быть временный разогрев подстилающих ее слоев. Внутри Земли благодаря радиоактивным элементам, входящим в состав пород, происходит непрерывное выделение тепла. Содержание радиоактивных элемен-

тов в горной породе невелико, но количество тепла, образующееся в общем объеме вещества мантии, достигает огромной величины. Это тепло стремится сохраниться внутри Земли, поскольку породы земной коры отличаются плохой теплопроводностью. При вулканических извержениях горячие расплавленные породы изливаются на поверхность, и вместе с ними уходит часть тепла, но общее количество тепла, потерянное при всех локальных извержениях, слишком незначительно и не может остановить постепенное увеличение температуры на глубине десятков миль от поверхности Земли. Небольшие очаги расплавленных пород, вызывающие извержения вулканов, могут в конце концов очень разрастись, и тогда наступит период излияния больших лавовых потоков, сопровождаемый заметным увеличением подвижности материковых масс. При этом во внутренних слоях Земли уменьшается избыток тепла, и земная кора должна снова оседать. При нагревании, распространяющемся кверху, холодные внешние слои будут растягиваться из-за расширения подстилающих пород. Следы такого растяжения можно найти в рифтовых долинах Африки и в Красном море, а также в разломах, недавно открытых в океанах.

На первый взгляд кажется, что периодическое разогревание пород под земной корой и ее последующая «пульсация» прямо противоположны охлаждению и сжатию Земли, которыми в значительной мере объяснялся процесс складчатости и горообразования. Однако вполне возможно одновременное действие обоих процессов. Земля в целом охлаждалась и сжималась, а ее внешние слои непрерывно поднимались и опускались, словно дышали, с периодом около ста миллионов лет. Если одного только движения материков достаточно для объяснения горообразования, тогда можно допустить, что Земля постоянно разогревается благодаря радиоактивному теплу и только вначале затвердела при быстром охлаждении, связанном с конвективными потоками в расплавленной Земле. Некоторые геофизики даже считают, что Земля с самого начала была холодной и только теперь постепенно разогревается, но в этом случае трудно понять, каким образом произошло разделение слоев коры, мантии и ядра.

Теория дрейфа континентов совершенно противоположна теории Дж. Т. Вильсона, которую можно назвать теорией расширения фиксированного положения конти-

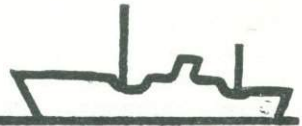
нентов. Самые древние части материков сложены, как показывает подробное изучение, осадками, отлагавшимися под водой, с примесью вулканических пород, так же как и молодые геологические образования. Кроме того, самые молодые породы обычно встречаются по периферии материков. Это может быть обусловлено постепенным образованием материка при вулканических излияниях из земных глубин. После выветривания первичного вулканического вещества образуются осадочные породы, которые в свою очередь изменяются и сминаются в складки при последующих вулканических процессах. Так постепенно образуется материк, поскольку вся масса обломочного материала, вынесенного реками, будет отлагаться на мелководьях вблизи суши. Материк будет так же подвергаться складко- и горообразованию, как и перманентные материки в других теориях. Существует различие между вулканическими извержениями на суше и в океанах, и можно, следовательно, предполагать, что разница между этими частями земной коры существовала всегда. Если теория Вильсона о постепенном расширении материков верна, то трудно не допустить существования особого рода первичной земной коры, давшей начало кислым породам континентов. Быть может, в начальной стадии охлаждения Земли фактически уже существовало некоторое разделение первоначальной пены, плавающей по жидкой оболочке, причем эта пена могла быть более распространена на материках, образованных вулканической деятельностью, чем на той части земной коры, которая находилась под океанами.

Оценки возраста Земли колеблются от нескольких тысячелетий по Библии до верхнего предела в 6 миллиардов лет, вычисленного по общему количеству радиоактивного урана, которое могло существовать в первичной расплавленной Земле. В прошлом столетии Кельвин предложил цифру в несколько сот миллионов лет, основываясь на скорости потери тепла охлаждающейся Землей. Он, к сожалению, не знал о радиоактивном тепле, и современные подсчеты по скорости охлаждения дают цифру 4,5—6 миллиардов лет. Шкала геологического времени, которая основывается на прослеживании осадочных пород в смысле относительного положения слоев и содержащихся в них ископаемых остатков, на измерении мощностей слоев и определении скорости осадконакопления, охваты-

вает около 1,5 миллиарда лет, хотя ясные данные сохранились лишь для последних 500 миллионов лет.

По осадкам, отлагающимся на дне глубокого океана, можно составить шкалу времени, которая позволит измерить возраст океанов. Такой метод определения возраста имеет громадное значение в связи с различными теориями, упоминавшимися в этой главе. Выветривание поверхности суши продолжается свыше миллиарда лет, и продукты разрушения примерно такого возраста можно встретить на континентах. Сомневаться в возрасте этих пород нет оснований, поскольку он определен по относительному содержанию радиоактивных элементов, количество которых изменяется с постоянной скоростью с того времени, как затвердела содержащая их порода. Большинство осадков, выносимых с суши, никогда не достигает глубокого океана и осаждается на мелководьях, а если поверхность этих мелководий постепенно опускается, то накапливается огромное количество отложенного материала. Благодаря этому процессу образовались мощные толщи известняков, в которых часто встречается нефть; аналогичный процесс продолжается в настоящее время в Персидском заливе и Ираке, где большая река Карун выносит размытую почву из Ирана в верховья залива, а Тигр и Евфрат отлагают переносимый ими из северных гор материал на плоских равнинах между Багдадом и Басрой. Возможно, с этими отложениями связано происхождение мировых запасов нефти, а движения массивов суши определяют ее миграцию к коллекторам пористых пород, из которых их добывают. Знание этих процессов очень важно для экономики поисков нефти. Если три могущественные силы — интересы нефтяников, военно-морская гидрография и океанографические исследования — идут общими путями, то легко понять, почему современные морские экспедиции все еще совершают кругосветные плавания по океанам земного шара.





### *III. Сейсмические исследования*

Если бы вместо того, чтобы посылать данные наблюдений Моряков умелым Математикам на Суше, направить умелых Математиков в Море, это дало бы гораздо больше для улучшения Навигации и безопасности в море человеческих жизней и имущества.

Исаак Ньютон, *Письмо в Адмиралтейство*

**П**ринцип действия двух современных приборов, служащих для изучения рельефа морского дна и нижележащих слоев пород, основан на распространении звуковых волн, которые, пройдя по многокилометровым толщам пород и воды, возвращаются на поверхность, доставляя сведения о них наблюдателю. Широко известен эхолот, который дает непрерывную запись глубин моря и, следовательно, рельеф его дна. В гл. V будет рассказано об открытиях, сделанных за последние годы с помощью интенсивного измерения глубин океана, а также будут рассмотрены усовершенствования этого прибора, уже занявшего свое место как стандартное снаряжение исследовательского судна.

Несколько труднее описать сейсмический метод, в котором для проникновения на многие километры в глубь коренных пород используются более мощные звуковые волны.

Тем не менее необходимо понять главные принципы, лежащие в основе этого метода, так как большинство результатов, относящихся к геологии дна океанов, получено именно путем интерпретации данных о распространении сейсмических волн.

Чтобы избежать слишком утомительного обилия технического материала и показать различные стороны этого метода, мы здесь расскажем о практическом применении аппаратуры для сейсмических исследований в экспедиции на британском судне «Челленджер».

Выяснение типа пород, залегающих на глубине, — проблема, которой уделяется огромное внимание в нефтяной промышленности. Хотя в конечном счете, чтобы поднять нефть на поверхность, необходимо все равно бурить скважину, нужно учитывать, что залежи нефти на земле ограничены по размерам и разделены сравнительно большими расстояниями.

Когда бурение производится без достаточной информации, наугад, могут быть обнаружены только легко определяемые нефтяные месторождения, а большинство их уже открыто. Тем не менее учеными были разработаны методы точного определения возможных нефтяных залежей на глубине, и наиболее эффективным из этих методов является сейсмическая разведка.

Сейсмическим методом нефть обнаружить нельзя, но он указывает местоположение пород, которые могут содержать нефть, и поэтому шансы открыть месторождение нефти увеличиваются.

В конечном счете должна быть пробурена скважина. Если есть нефть, скважина становится нефтяной, а если, как это часто бывает, породы содержат только воду, то ее называют сухой, что звучит несколько парадоксально.

Наиболее прямым методом, при котором звуковые волны могут быть использованы для зондирования различных слоев пород, является сейсмический метод отраженных волн. В нем измеряется время, за которое звуковые волны от взрыва дойдут до какого-то слоя пород, залегающего на глубине, и отразятся обратно на поверхность.

Если слой залегает горизонтально, то промежуток времени, за который отраженная волна возвратится на поверхность, будет одним и тем же независимо от места взрыва. Но если породы приподняты и образовали нечто вроде подземного купола, который мог бы содержать нефть, то взрыв, произведенный над вершиной такого купола, породит отраженные волны, которые возвратятся на поверхность за более короткое время. Чтобы получить картину залегания такого изогнутого подземного пласта, производится серия взрывов.

В большинстве мест под поверхностью существует сложная последовательность различных пород, и соответственно сложная картина отраженных волн записывается приемниками, которые устанавливаются на поверхности неподалеку от пункта взрыва.

Интерпретация этих записей звуковых волн производится геофизиком, объединяющим все, что известно об этих пластах из геологии, с результатами, которые он получает от сейсмических исследований.

Иногда значительные скопления нефти содержатся в пористом пласте песчаника, который претерпел деформации под действием колебательных движений Земли и был поднят до непроницаемого для нефти пласта глин или же был вынужден подняться под действием огромного соляного купола, который мог бы быть выжат внутренним давлением Земли, так что соль начала течь, как течет лед в леднике.

Чтобы обнаружить эти погребенные структуры, необходимо проводить сейсмические исследования очень точно со специальным расположением пунктов взрыва и приемников сейсмических волн.

Но метод отраженных волн имеет некоторые недостатки, и полученные результаты могут иногда ввести в заблуждение. Например, то, что кажется куполом в каком-либо глубинном пласте пород, может быть вызвано изменением мощности пласта, залегающего сравнительно близко от поверхности.

Сила взрыва, которая необходима чтобы получить на поверхности хорошую запись отраженных волн, зависит от глубины отражающего горизонта и от сложности геологического строения толщи пород, залегающей над ним. Обычно 5—25 кг сильной взрывчатки взрывают на дне скважины глубиной примерно 50 футов. Скважина используется не только во избежание разрушений на поверхности, но и для того, чтобы как можно большая часть энергии взрыва распространилась в породах в виде упругих волн.

Когда измерения отраженных волн проводятся на море, то дорогостоящее и требующее значительного времени бурение скважин для зарядов взрывчатки не нужно, потому что сама вода является отличной средой для возбуждения звуковых волн, которые проходят сквозь всю ее толщу и проникают затем в нижележащие слои горных по-

род. При этом экономится также и время, необходимое для установки регистрирующих приборов, так как их можно буксировать позади корабля на так называемой сейсмической косе.

Буксировка сейсмической косы почти не вызывает шумовых помех, так как она скользит в воде на глубине 20—30 футов. Однако чтобы обеспечить оптимальные условия для приема звуковых волн, отраженных структурами, расположенными под поверхностью ложа океана, сейсмическую косу рекомендуется травить с кормы судна с того момента, когда производится взрыв. Тогда во время регистрации отраженных волн приемники будут неподвижны.

Заряд выпускается в воду с помощью кабеля, и взрыв производится в тот момент, когда заряд находится над косой. Заряды выпускаются один за другим, скользят по этому кабелю и взрываются, когда достигают электрического контакта на его конце. Такой простой способ дает возможность производить взрывы с интервалами всего в 2 минуты, так что за день можно произвести несколько сот взрывов. За это же время на суше может быть произведено лишь около десяти взрывов.

Огромное количество исследований по методу отраженных волн было выполнено в Мексиканском и Персидском заливах, а также в Атлантическом океане вокруг острова Тринидад. Нефтяные компании широко использовали этот метод исследования, который был разработан впервые М. Юингом в 1936 г. В то время океанографы старались получить поддержку от нефтяных компаний, чтобы применить геофизические методы разведки на море. Но (и это было всего лишь двадцать лет назад!) находились люди, которые говорили, что никто никогда не будет искать нефть под водой. Нефтяные компании довольно консервативны, несмотря на свойственную им энергичную деятельность, и морскими исследованиями они занялись только после того, как все месторождения нефти, от болот Луизианы вплоть до морского побережья, уже были открыты.

Разработанные в последние годы методы ускоренного проведения сейсмической разведки по методу отраженных волн не подходят, однако, для изучения глубин океанов. Во-первых, при таком методе работы ежедневно расходуется свыше тонны взрывчатки, и, не говоря уже о большой ее стоимости, это повлекло бы за собой очень слож-

ные проблемы снабжения при проведении работ без постоянной базы. Еще более существенным является тот факт, что сведения о тонких деталях подземных структур, которые необходимы, чтобы обнаружить нефтяное месторождение размерами в несколько миль, являются обычно не тем родом информации, которая представляет основную ценность при изучении самих океанов.

Следует напомнить, что по крайней мере еще в 1950 г. геологический разрез океанов по существу был неизвестен, и первым видом информации, которая была тогда необходима, была региональная съемка, а отнюдь не детальные исследования.

Предварительные исследования показали, что в настоящее время в морской геологии действительно существуют некоторые актуальные проблемы, в разрешении которых могут помочь современные быстро развивающиеся методика и техника. Можно было надеяться, в частности, что это будет сделано с помощью методов, которые используют нефтяные компании.

Отличительной особенностью экспедиции «Челленджера» по сравнению с другими океанографическими экспедициями было то, что главной задачей ее являлось изучение ложа океанов, а не водной толщи. Экспедиция была оборудована сейсмической аппаратурой и эхолотами значительно лучше, чем все предыдущие английские океанографические экспедиции. И недаром моряки Новой Зеландии прозвали автора настоящей книги Доктор Морское Дно, чтобы не путать его с представителями других наук, объединяемых под названием океанографии. В нашей экспедиции был, например, Профессор Моллюск, областью которого являлось изучение раковин моллюсков и жизни рыб вблизи берегов, а также Профессор Деревьев и Болот, более вежливо называемый экологом. Для комплексного изучения моря, конечно, необходимо объединение ученых различных специальностей. Обычно океанографические экспедиции имеют уклон к какой-нибудь одной области изучения океана, но для того, чтобы полнее оправдать затраты на снаряжение корабля, всегда стараются организовать работу так, чтобы без ущерба для основной работы выполнить столько различных исследований, сколько удастся.

В экспедиции «Челленджера» сейсмические работы по методу отраженных волн проводились, как правило, еже-

Дневно с целью узнать, можно ли получить хорошие отражения, которые могли бы дать сведения о мощности рыхлых осадочных отложений, о существовании которых говорили образцы, взятые со дна. При этом полукилограммовый заряд выпускался за кораблем на расстоянии примерно нескольких сот футов от кормы и взрывался на глубине около трех футов от поверхности воды. При таком взрыве выбрасывается огромный столб воды, как это бывает и при обычных разведочных работах по методу отраженных волн. Это происходит потому, что взрыв нужно производить на небольшой глубине. Если взрыв произвести на глубине более нескольких футов, то пульсации газового пузыря, образующегося при взрыве, вызывают целую серию импульсов звуковых волн, которые, конечно, осложняют записи полезных отраженных волн и снижают надежность проводимой интерпретации этих записей. Выбрасываемый вверх столб воды показывает, что газ от взрыва достиг водной поверхности и уже не образует пульсирующего пузыря, так что будет послан только один отчетливый звуковой импульс.

Однако с использованием неглубоких взрывов связано одно досадное обстоятельство. Вид поплавок, поддерживающего заряд и дрейфующего за кормой судна, был весьма непривычным для стаи любопытных альбатросов, почти постоянных спутников корабля в северной части Тихого океана. Эти огромные птицы садились на воду вокруг заряда и иногда оказывались настолько близко от него, что взрывались. Бедняги никак не могли научиться избегать этой опасности, и вид птиц, которые трогательно тормозили своих мертвых товарищей, как бы пытаясь пробудить их, был для нас слишком мучительным, чтобы продолжать эти работы.

Но вскоре находчивая корабельная команда изобрела новый способ. По команде «приготовиться к взрыву» машинное отделение давало короткий толчок «полный вперед». Птицы не решались опуститься на воду, вспененную гребным винтом, и даже кухонные отбросы, которые, безусловно, были для них одной из наиболее привлекательных черт нашего корабля, не могли заставить их сделать это.

Звуковые волны, отражающиеся от дна океана и нижележащих слоев горных пород, регистрировались гидрофонами, подвешенными за бортом корабля. В некоторых

местах можно было легко распознать отражения, которые пришли от слоев, залегающих под морским дном. Но эти результаты сами по себе еще не представляют большого интереса, если их не объединять с данными другого сейсмического метода — метода преломленных волн. На суше и на мелководье можно определить, от каких именно слоев приходят отраженные волны, так как их записи можно сопоставлять с данными геологического изучения слоев горных пород, вскрываемых буровой скважиной. Даже при отсутствии скважин можно избежать неопределенности интерпретации, прослеживая те или иные пласты от известных мест их выхода на поверхность и далее по мере их погружения под другие слои.

В глубоких океанах нет ни обнажений, ни буровых скважин, которые могли бы помочь исследователю. И поэтому данные отраженных волн невозможно использовать для отождествления тех или иных типов пород. При наблюдениях таким методом измеряется время, необходимое звуковой волне, чтобы, отразившись, вернуться обратно, и само по себе это время еще не может быть указателем глубины какой-либо отражающей границы или изменений свойств горных пород, происходящих на ней. Чтобы определить эту глубину, нужно знать скорость звука в покрывающей ее толще. Скорость звука в воде известна, но о скорости волн в породах, слагающих морское дно, можно лишь строить предположения.

Метод отраженных волн эффективен в Антарктике даже при отсутствии буровых скважин, поскольку скорость распространения звука во льду известна, и отражения от основания ледникового покрова могут служить мерой толщины льда. Однако даже в случае простого отражения через толщу льда имеются свои трудности. Они связаны с тем, что звуковые волны, распространяющиеся от взрыва прямо к приемникам, достигают их всегда быстрее, чем отражения, которые идут вниз до основания льда и затем обратно вверх. Второй путь длиннее по той простой причине, что сумма двух сторон треугольника больше третьей.

Положение осложняется также и тем, что взрыв порождает за первым главным импульсом массу помех — целую серию вторичных колебаний, которые распространяются вдоль поверхности и приходят к приемникам как раз тогда, когда необходимо полное спокойствие воды, что-

бы уловить слабые волны, отраженные снизу. Для устранения этих поверхностных помех применяют различные способы. Например, взрыв может быть рассредоточен на несколько частей, расположенных на таких расстояниях друг от друга, чтобы отраженные волны от отдельных взрывов усиливали друг друга. Для точных измерений лучше всего работать с такими звуковыми импульсами, которые вступают в приемники первыми. К счастью, это вполне возможно. В различных породах звук распространяется с разными скоростями, и обычно в более глубоких слоях скорость оказывается больше.

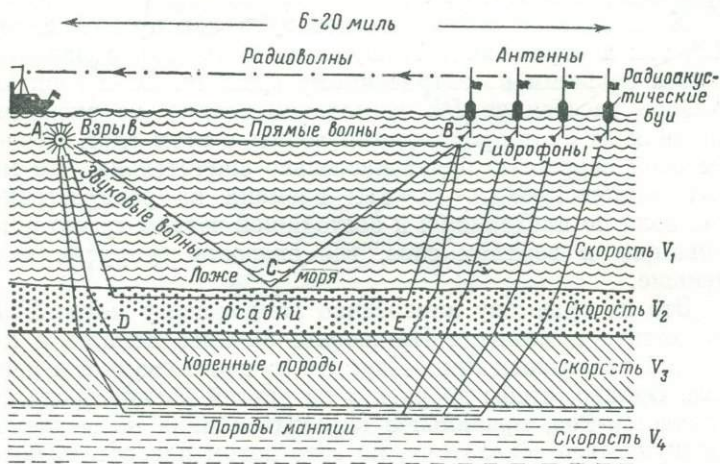


Рис. 1. Различные пути сейсмических волн от взрыва до акустических буев.

Принципы, лежащие в основе метода преломленных волн, довольно просты, и, с разрешения читателя, мы позволим себе рассмотреть некоторые специальные вопросы, которые помогут понять, каким образом звуковые волны могут доставить точную информацию о строении земной коры.

На рис. 1 показаны различные возможные пути звуковых волн от взрыва, произведенного в точке А. Прямая волна распространяется горизонтально в поверхностном слое воды к приемнику в точке В, и, очевидно, она всегда будет приходить раньше отраженной волны АСВ, так как



всегда распространяется по более короткому пути. Преломленная волна распространяется по пути  $ADEB$ . Часть этого пути направлена вертикально вниз и вверх ( $AD$  и  $EB$  в верхней толще), но основная доля его приходится на горизонтальный отрезок  $DE$  в подстилающем слое. Волна, распространяющаяся вдоль линии  $AD$ , преломляется на границе между двумя слоями горных пород точно так же, как световой луч преломляется при переходе из воздуха в стеклянную призму. В точке  $E$  звуковая волна снова преломляется и идет вверх к вышележащему слою и к приемнику в точке  $B$  — аналогично тому, как она преломилась в точке  $D$ .

Хотя путь  $ADEB$  и длиннее пути как прямой волны  $AB$ , так и отраженной  $ACB$ , он не обязательно является самым большим по затраченному времени. Если горизонтальное расстояние  $DE$  достаточно велико, то экономия времени за счет прохождения волны в этом слое с более высокой скоростью будет настолько значительна, что может компенсировать затраты времени на распространение волн по нисходящей и восходящей ветвям траектории, лежащим в верхнем слое, где скорость упругих волн меньше.

Это по существу аналогично лондонскому метро. Если вы хотите с площади Пиккадили быстрее попасть в лежащий поблизости Грин-Парк, то лучше всего пойти пешком. Однако, чтобы добраться на другой конец города, до Глочестер-Род, правильнее спуститься вниз по медленно движущемуся эскалатору, но зато потом наверстать потерянное время в поезде, быстро мчащемся по горизонтальному пути.

Чтобы использовать преломленные волны для целей исследования, производится несколько взрывов на разных расстояниях, и времена пробега звуковых волн наносятся на график в функции расстояния  $AB$  между взрывом и приемником. На малых расстояниях регистрируется прямая волна, что позволяет определить скорость распространения волн в самом верхнем слое, т. е. в воде. Начиная с некоторого расстояния, первыми к приемнику приходят уже преломленные волны, и по ним вычисляется скорость звука в нижележащем слое.

Время пробега преломленной волны складывается из постоянных составляющих  $AD$  и  $EB$ , по которым волны идут вниз до слоя с большой скоростью и обратно вверх,

и горизонтального участка  $\overline{DE}$ , время пробега по которому увеличивается пропорционально длине отрезка  $DE$ . График зависимости времени пробега от расстояния в этом случае представляет собой вторую прямую линию. Наклон этой прямой является мерой скорости звуковых волн в нижележащих слоях пород, соответствующих горизонтальному пути  $DE$ , а величина отрезка, отсекаемого этой прямой на оси времени, служит мерой наклонного пути  $AD$  и  $EB$  и, следовательно, глубины этих слоев.

На рис. 1 показано несколько слоев пород. Поскольку в более глубоких слоях упругие волны распространяются с большей скоростью, то по мере увеличения расстояния

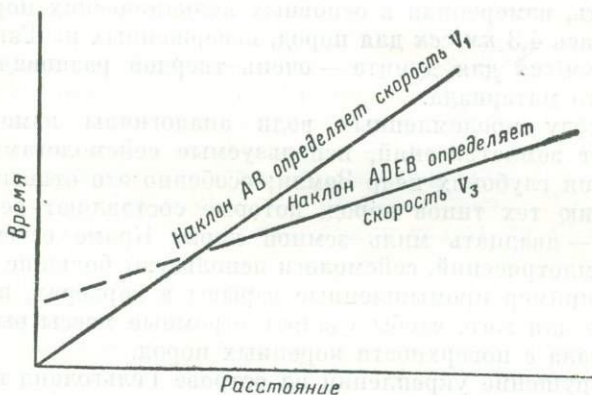


Рис. 2. График зависимости времени пробега сейсмических волн от расстояния (годограф).

путь наименьшего времени будет соответствовать все более глубоким слоям. С возрастанием расстояния время, необходимое для достижения данного слоя, составляет все меньший процент общего времени пробега, и звуковые волны могут проникать очень глубоко и достигать слоя, в котором скорость волн очень высока.

Сейсмический метод преломленных волн дает возможность определять глубину залегания каждого слоя и охарактеризовать его определенной скоростью волн. Этот метод является гораздо более мощным средством исследования неизученной территории, чем простой метод отраженных волн. Во-первых, здесь определяются не просто

времена пробега, а глубины залегания слоев, и, кроме того, выявленный в одном районе глубокий слой можно сопоставить со слоем равной скорости в каком-либо другом месте.

Правда, эти слои пород невозможно отождествить однозначно как определенные геологические формации, поскольку каждому определенному типу пород соответствует значительный диапазон скоростей. Например, скорость упругих волн в глинах обычно 1,5—2,4 км/сек, в плотных глинах она может достигать 3,0 км/сек; в известняках диапазон скоростей широк — от 2,4 для мела до 6,5 км/сек для плотного массивного известняка; скорость в гранитных породах изменяется от 5,0 до 6,0 км/сек, а скорость, измеренная в основных вулканических породах, равнялась 4,3 км/сек для пород, изверженных на Гавайях, и 6,9 км/сек для дунита — очень твердой разновидности лавового материала.

Методу преломленных волн аналогичны измерения волн от землетрясений, используемые сейсмологами для изучения глубоких недр Земли; особенно это относится к изучению тех типов пород, которые составляют верхние десять — двадцать миль земной коры. Кроме естественных землетрясений, сейсмологи используют большие взрывы, например промышленные взрывы в карьерах, применяемые для того, чтобы удалять огромные массы рыхлого материала с поверхности коренных пород.

Разрушение укреплений на острове Гельголанд вызвало волны от взрыва, принимавшиеся на расстоянии более 150 км как специально установленными постами на суше, так и военно-морскими судами в открытом море. Когда скала Рипл-Рок — препятствие в судоходном проливе между островом Ванкувер и материком — была снесена взрывом примерно двух тысяч тонн взрывчатки, то была установлена плотная сеть регистрирующих станций. Производились вспомогательные взрывы меньших размеров, для того чтобы установить, какого типа нарушения существуют в слоях горных пород под пунктом взрыва и под приборами.

Общее время пробега волн от точки взрыва до принимающего прибора зависит как от горизонтального участка пути, лежащего в глубинном слое большой скорости, так и от восходящего и нисходящего участков. Поэтому, если покрывающие слои негоризонтальны и неоднородны, то

при определении глубины поверхностей раздела и скоростей волн можно допустить ошибки. В связи с этим методом преломленных волн определяют глубины и скорости поочередно для каждого пласта точно так же, как с луковицы счищают шелуху и затем последующие слои, выявляя ее внутреннюю структуру.

Нефтяные компании обычно применяют метод преломленных волн для предварительного выяснения перспективности какой-либо крупной площади, прежде чем перейти к детальным измерениям по методу отраженных волн. Часто представляется возможным проследить твердые породы фундамента, под которыми редко встречается нефть, от их выхода на земную поверхность и до глубины две-три мили и таким путем наметить наиболее обещающие районы для дальнейших работ.

Иногда методом преломленных волн удается обнаружить крупные подземные купола, и это один из важнейших методов разведки, используемых в Иране. В качестве взрывчатки часто использовали несколько тонн гелигнита, закладываемого в скважины, пробуренные ручным способом до глубины 40 футов от поверхности. Приемники размещали при этом на расстоянии вплоть до 10 миль от пункта взрыва; в горных местностях, для того чтобы установить точные расстояния, приходилось производить тщательную топографическую съемку.

На море весь этот процесс значительно проще. Расстояния от точки взрыва до приемников звуковых колебаний можно определить с высокой точностью, измеряя время пробега прямой звуковой волны от взрыва по воде (волна *AB* на рис. 1), так как скорость звука в морской воде примерно постоянна. Небольшие вариации, которые действительно имеют место в различных частях океана, учитываются по измерениям температуры и солености воды.

Кроме того, на море удастся избежать трудоемких работ по бурению взрывных скважин, поскольку эквивалентное уплотнение заряда осуществляется путем взрыва его на соответствующей глубине. Мешающие дополнительные импульсы от пульсирующего газового пузыря, которых нужно остерегаться при работах методом отраженных волн на море, не опасны в методе преломленных волн. Это связано с тем, что в методе преломленных волн для вычисления глубины и скорости различных слоев обычно

используются только первые вступления волн к регистрирующему прибору<sup>1</sup>.

На суше для регистрации сейсмических волн используются приемники, основанные на электродинамическом принципе и называемые геофонами. Они реагируют на скорость смещения земной поверхности. Первые подводные эксперименты, например выполненные в 1938 г. Буллардом в проливе Ла-Манш, производились с обычными наземными приборами, заключенными в водонепроницаемую оболочку и помещенными на морское дно. Это было возможно при исследованиях на континентальном шельфе, где глубина не превышает двухсот метров. При работе же на больших глубинах чрезмерно длинные кабели, необходимые для связи геофонов с поверхностью воды, делают этот метод неприменимым.

Однако звуковые волны, которые распространяются от взрыва вниз и проходят в качестве сейсмических волн через различные слои горных пород, возвращаются к морскому дну и продолжают далее в воде снова как звуковые волны давления. Это было обнаружено еще в довоенных экспериментах. Было замечено, что гидрофон, подвешенный на глубине около 30 футов за бортом корабля, регистрировал волны, вступления которых могли быть объяснены, только если предположить, что они прошли не только сквозь толщу воды, но и слои морского дна.

О распространении звука под водой многое узнали уже во время войны, когда потребовались быстрые гидроакустические измерения для борьбы с акустическими минами и появилось много хороших гидрофонов для приема звуковых волн давления. Благодаря этому оказалось возможным использовать гидрофоны при сейсмических работах. Гидрофоны следует помещать на глубине около 100 футов от поверхности воды. Это необходимо, во-первых, для того чтобы на них не оказывало влияния поверхностное волнение, и, во-вторых, чтобы звуковые волны, отраженные от поверхности воды, не погасили бы полезных звуковых волн от поверхности дна. Поверхность

---

<sup>1</sup> Методика интерпретации результатов исследований по методу преломленных волн значительно усовершенствована советскими геофизиками. Ими анализируются не только первые вступления волн, но и все последующие (см., например, Г. А. Гамбургцев и др., Корреляционный метод преломленных волн, Изд. АН СССР, М., 1952). — *Прим. ред.*

моря бывает или неровной (и тогда она создает шумы) или гладкой и является тогда хорошим отражателем звука, вследствие чего может быть подавлена энергия полезных волн.

Чтобы получить ряд наблюденных данных о временах вступления волн и расстояниях между пунктами взрыва и приема, необходимых при работе по методу преломленных волн, гидрофоны следует располагать на разных расстояниях от взрыва. Ясно, что проще всего это осуществить, работая на двух кораблях: с одного из них производить взрывы, а с другого записывать вступления звуковых волн, улавливаемые гидрофонами. Такой способ используется американцами. Он также применялся на восточной стороне Атлантического океана еще перед второй мировой войной Буллардом и автором данной книги при первых экспериментах на шельфе.

Однако получить два корабля очень трудно, и поэтому был разработан другой способ, при котором гидрофоны подвешиваются на радиоакустических буях. Взрыв производится с корабля, а звуковые волны, улавливаемые гидрофонами, передаются по радио обратно к приемникам на корабле, где и производится запись волн.

Хотя этот метод первоначально разрабатывался лишь из-за того, что достать для работы два корабля было очень трудно и дорого, позднее оказалось, что он имеет еще и другие преимущества. Так, с помощью нескольких радиоакустических буев от одного взрыва можно получить несколько групп данных и, таким образом, можно сократить необходимое число взрывов. Другое, правда менее очевидное, достоинство этого способа состоит в возможности определять наклон слоев пород, слагающих морское дно. Это возможно потому, что, регистрируя волны несколькими гидрофонами, по данным одного отдельного взрыва можно вычислить их скорости. В то же время в случае работы с двух кораблей при одном взрыве мы получаем только одну запись, которой еще недостаточно для определения скорости (см. рис. 1).

Радиоакустические буй были не очень популярны среди матросов нашего корабля, в обязанности которых входило драить палубу. Сам буй имеет приблизительно 18 дюймов в диаметре и 3 фута в длину, так что он занимает довольно много места, а чтобы перенести его, требуется три-четыре человека. При подготовке буя к работе его

нужно снабдить трехметровой деревянной мачтой, а чтобы он стоял в воде вертикально, в качестве противовеса под ним укрепляется тяжелый стальной стержень. Каждый раз, когда буй готовят к работе, в батарейный отсек должна быть вставлена новая батарея и подсоединен и проверен гидрофон с 45-метровым кабелем.

Кроме всех этих кабелей и батарей имеются еще поплавки и трос для вытаскивания буя из воды. Это далеко не изящные предметы, которые нарушают обычный порядок работы по уборке палуб и все время пребывания в море портят щегольский вид корабля, столь любимый старшими помощниками капитанов.

Была еще одна причина для беспокойства с точки зрения моряков. С радиоакустическими буями получаются хорошие результаты, только если море спокойно, потому что во время волнения всплески воды вокруг буя вызывают посторонний шум. Этот шум улавливается гидрофонами и мешает регистрации полезных звуковых волн, которые очень ослаблены после прохождения нескольких миль по воде и подстилающим ее горным породам. Поскольку, кроме того, буи свободно плавают в воде, ветер вызывает их боковой дрейф, а сопротивление гидрофона в воде усиливает мешающий фон шумов.

После одной—двух неудачных попыток выполнить сейсмические работы во время волнения было выработано практическое правило: не проводить сейсмических работ при силе ветра более 15 миль/час. Ужасно обидно видеть, как день проходит за днем, корабль проплывает над интереснейшими донными структурами, а вы не можете использовать такое мощное орудие геологического исследования. Впрочем, это обычное дело для океанографов.

Эксперименты на море затруднены из-за того, что они выполняются с подвижных платформ. Кроме того, море — это такой озорной старикашка, который находит удовольствие в скручивании кабелей и тросов самым беспорядочным образом. Наряду со всем этим, всегда имеется разъедающая металл и проводящая ток морская вода, которая, словно стихийное бедствие, разрушает нежные электрические и электронные приборы. По всем этим причинам станции, на которых производятся наблюдения в любой из океанографических экспедиций, и оказываются разбросанными на таких больших расстояниях друг от друга. Но гораздо хуже расстройств научных планов

было наблюдение, сделанное командой корабля и состоящее в том, что между приготовлением радиоакустических буев к экспериментам и наступлением плохой погоды всегда имеется самая тесная связь. Только разнесется по кораблю весть о приготовлениях к сейсмическим работам, как мигом портится погода, лица у всех вытягиваются и все знают, что нужно скорее крепить предметы на палубе.

Несмотря на все причуды погоды, команда, работавшая с буями, вскоре стала управляться с ними исключительно успешно. Тяжелые буй быстро и ловко выводили за борт с помощью носовой стрелы и сбрасывали в воду, удостоверившись, что все сделано правильно. Четыре радиоакустических буя располагали по одной прямой с интервалом между ними примерно в полмили. Затем корабль отплывал по курсу вдоль линии буев, и начинали готовить глубинные заряды. Заряды содержали 25 кг тринитротолуола и были снабжены специальным взрывателем, который срабатывал, когда давлением воды сдвигало стальной боек. Этот взрыватель детонировал взрывчатку в тот момент, когда заряд погружался до глубины 900 футов. При взрыве на такой глубине на поверхности воды ничего не было заметно, но был ясно слышен «хлопок», который ощущался, как если бы по кораблю ударял гигантский молот. О корабль действительно ударяли звуковые волны, которые распространялись по воде непосредственно от взрыва, и именно они регистрировались на борту корабля первыми.

В штурманской рубке корабля находились четыре радиоприемника, настроенные на определенную частоту, на которой передавались сигналы с радиоакустических буев. Таким образом, можно было слышать поочередно все звуки, воспринимаемые каждым из буев, плававших на расстоянии нескольких миль за кормой. Сигналы радиоприемников записывались с помощью гальванометров на движущуюся фотоленту. Так удавалось получать непрерывную картину звуковых колебаний у каждого буя на движущуюся фотоленту. Так удавалось получать немарки времени с интервалом в  $1/20$  сек. По ним после проявления фотоленты можно было определять точное время любого записанного вступления волн.

Первым на записи отмечался момент удара прямой волны от взрыва о корпус корабля, точно отмеченный



группой гидрофонов, расположенных ниже ватерлинии. Этот момент на записи принимался за начало отсчета, и от него уже измерялись времена вступления всех других волн. От взрыва распространяются звуковые волны, и когда они достигают радиоакустических буев, последние по очереди посылают обратно на корабль радиосигналы.

Волны, распространявшиеся только в воде, давали на записи резкий пик высокочастотных колебаний. В то же время волны, которые шли вниз к морскому дну и распространялись затем по глубинным слоям горных пород, характеризовались нечетким вступлением и плавным нарастанием амплитуды. Иногда при записи первого взрыва, после того как замирала прямая водная волна, появлялась ясная запись донной волны. Но чаще всего прямая волна достигала буя первой и маскировала донную волну. Однако вопрос о том, когда быстрее распространяющаяся донная волна догонит прямую волну, — это лишь вопрос расстояния. После первого взрыва корабль передвигается еще на две мили, чтобы произвести второй взрыв.

Взрывы производятся очень просто. После того как заряд был снабжен, оставалось только опрокинуть его за корму и сигнализировать об этом в штурманскую рубку. Опыт показал, что заряд взрывается приблизительно через 90 сек, так что можно было отсчитать это время по секундомеру и пускать протяжку фотобумаги как раз перед взрывом. Иногда заряд не взрывался, и изрядный кусок фотобумаги пропадал в таких случаях даром. Но в большинстве случаев слышался успокоительный удар по корпусу корабля, за которым через несколько секунд следовали быстрые колебания зайчиков гальванометров, по мере того как различные звуковые импульсы достигали каждого радиоакустического буя. Лента проявлялась сразу же, в то время как корабль следовал в точку следующего взрыва, отстоявшую примерно на две мили. Тут же в фотолаборатории, пока лента еще промывалась, производился быстрый отсчет времени вступлений прямых и донных волн. Это позволяло набросать годограф — график времен вступления донных волн, — а по нему приблизительно оценить, на какое расстояние нужно отходить для следующего взрыва. Обычно удавалось принимать донные волны на расстояниях примерно до 15 миль. Затем корабль поворачивал и шел обратно к буям.

Американский способ двух кораблей обладает значительным преимуществом перед методом использования радиоакустических буев в смысле возможного максимального расстояния. Это связано не только с возможностью иметь большие заряды взрывчатки, но и (что еще важнее) тем, что гидрофон, опускаемый с корабля, ведущего прием, находится в гораздо более спокойных условиях, чем гидрофон, подвешенный на подвижном радиоакустическом бую. Поэтому с его помощью можно улавливать и записывать очень слабые звуковые импульсы от удаленных взрывов. Благодаря этому в американских исследованиях изучались более глубокие слои, чем в большинстве случаев было возможно на борту «Челленджера».

Однако результаты, полученные по обоим этим методам, в некоторых отношениях дополняли друг друга. Если американским исследователям всегда удавалось успешно определять положение границы, называемой поверхностью Мохоровичича, то с помощью радиоакустических буев можно было получать более детальные сведения о слоях горных пород, залегающих над этой границей.

Это объясняется тем, что при работе по нашему методу волны от каждого взрыва регистрируются одновременно четырьмя гидрофонами, и поэтому для каждого взрыва можно вычислить скорость в пластах горных пород. По мере увеличения расстояния от взрыва можно определить скорость для слоев, залегающих под радиоакустическими буями на все большей глубине. Чтобы найти скорость волн в методе двух кораблей, необходимо использовать результаты по крайней мере по двум взрывам, и только тогда можно будет определить скорость, соответствующую слоям горных пород, залегающих под пунктами этих взрывов. Поэтому на больших расстояниях получаемое значение скорости соответствует различным точкам взрыва и, следовательно, различным частям ложа океана.

Предполагается, что слои горных пород совершенно однородны и горизонтальны, как показано на рис. 1; однако имеются серьезные доказательства того, что в большинстве случаев это не так. Участки, выбранные для сейсмических экспериментов методом преломленных волн, всегда были, насколько это возможно, плоскими, но нередко приходилось допускать существование где-нибудь вдоль линии взрывов небольшого поднятия морского дна. Во всяком случае, видимость плоского дна может быть

обманчивой, поскольку она может быть вызвана выравниванием первичных неровностей рыхлыми осадками или потоками вулканической лавы.

Осадочный слой на океанском ложе — одна из самых досадных помех при исследованиях сейсмическим методом преломленных волн. Дело в том, что скорость звука в осадках глинистого типа, покрывающих ложе океана, лишь ненамного выше, чем в морской воде. Поэтому волны, прошедшие через эти отложения, могут обогнать волны, распространяющиеся по воде, только на очень большом расстоянии от взрыва. Можно еще раз провести аналогию с метрополитеном. Если бы поезд метро двигался со скоростью извозчика, то за исключением очень больших расстояний всегда было бы выгоднее идти пешком по поверхности, чем тратить время на спуск под землю и почти ничего не выиграть от немногим более быстрого, чем скорость пешехода, движения поезда.

Практически при сейсмических работах на море звуковая волна, прошедшая через осадочный слой, никогда не выходит первой. Это связано с тем, что еще до того, как это могло бы произойти, гораздо более быстрые волны, проходящие в более глубоких слоях коренных горных пород, обгоняют и прямую волну, распространяющуюся по воде, и преломленную, проходящую в осадочном слое.

Это не значит, что из сейсмических исследований вообще нельзя получить никакой информации о покрове рыхлых осадков на морском дне. Глубина моря известна довольно точно, так же как и время пробега волн через осадки до подстилающего слоя коренных пород. Чтобы этот временной интервал стал мерой мощности осадков, необходимо только знать скорость распространения в них упругих волн. Значение этой скорости заключено между двумя пределами. Верхний предел мы получаем из того факта, что волны, прошедшие по осадкам, не наблюдаются на поверхности. Значение нижнего предела получают по фактическим измерениям в лаборатории на образцах донных осадков, поднятых с морского дна.

Было бы крайне желательно провести более детальное изучение донных осадков, и позднее будет изложено несколько способов проведения таких исследований. Но данные метода преломленных волн по более глубоким слоям все же показывают, что слой осадков должен быть довольно тонким — порядка нескольких тысяч футов —

и поэтому ошибка в принимаемой для него скорости звука почти не будет влиять на общую структуру более глубоких слоев коренных пород.

Чтобы как можно полнее использовать все преимущества метода четырех радиоакустических буюв, в практику нашей экспедиции вошло производить несколько дополнительных взрывов — также вдоль линии расположения буюв, но с противоположной стороны от основного профиля. Таким путем можно было учитывать влияние наклона границ между слоями пород, поскольку ошибки в скорости, обусловленные существующим наклоном пластов, взаимно уничтожаются, если вести регистрацию волн от взрывов, производящихся с обеих сторон от буюв.

На обратное следование вдоль буюв и на несколько миль дальше них требуется несколько часов, так что это время можно было использовать для еды и более внимательного просмотра записей. В тех редких случаях, когда измерения шли хорошо и был ясный солнечный день, эта часть работ по методу преломленных волн была просто мирной, спокойной прогулкой, отдыхом в работе.

Однако после работы буй нужно поднять на корабль, и поэтому окончание измерений еще не означало окончания работ. Корабль медленно подходил к бую, и хорошо нацеленным крюком захватывали подъемный трос. После этого можно было вытаскивать буй из воды с помощью лебедки и затем поднимать на борт. Но сначала нужно было подтянуть гидрофон за кабель и только потом уже опускать буй на место, на палубу корабля.

Иногда, если не удалось вовремя захватить трос крюком, буй подтаскивался к корме, и однажды стальная штанга, служившая противовесом бую, попала между гребным винтом и рулем. Благодаря смелым действиям матросов, нырявших в воду, удалось все же освободить незадачливый буй без повреждений. Но среди команды еще больше укрепилось убеждение в том, что радиоакустические буй — это явно не тот груз, который надо было бы иметь на борту корабля Королевского флота.

Впрочем, эффективность применявшейся системы подъема буюв хорошо иллюстрируется тем фактом, что в течение более двух с половиной лет плавания ни один буй не был потерян, даже если еще до окончания разреза темнело или спускался туман. Несколько гидрофонов спутались, были срезаны тросом и отправлены к владыке

Нептуну, а по крайней мере один был съеден прожорливой акулой, но все это были пустяковые неудачи, которые вскоре забылись.

Зато какое огромное удовлетворение после долгого и полного разочарований дня взглянуть на груды сейсмических записей! Последние представляли собой ленты фотобумаги шириной шесть дюймов и длиной в несколько метров, расчерченные горизонтальными линиями, на которых то здесь, то там были видны всплески, показывающие, что к радиоакустическому бую подошли звуковые импульсы. Основные надежды исследователи всегда возлагают на те несколько сейсмограмм, которые в практике сейсмической разведки известны как «типичные записи».

Обычно какие-нибудь неисправности, — например, вышел из строя буй, или из-за слишком теплого проявителя на фотобумаге плохо получились марки времени, или же гальванометры давали двойной зайчик, — являются причиной того, что запись волн получается нечеткой. Правда, опытный глаз, несмотря на это, может достаточно ясно различить вступления звуковых волн. Однако когда приходит время сообщать о результатах исследований в научном журнале, то для опубликования обычно выбирают «типичную сейсмограмму»: считается, что это и есть наиболее характерная из имеющихся записей.

Приятно также смотреть на график вступлений звуковых волн, построенный в ходе работы, так как по нему можно было предварительно оценить глубины залегания различных слоев горных пород, слагающих дно океана.

Всякий раз это было открытием в полном смысле слова. Океаны настолько велики, что при каждом сейсмическом разрезе определяется структура дна в никогда прежде не изучавшемся месте. Это, разумеется, не означает, что прежде чем удастся составить представление о геологическом строении дна океана, нужно провести бесчисленное множество исследований. Последовательность и характер напластования постепенно становятся ясны уже по отдельным разрезам и, кроме того, возможна интерполяция сходных структур.

Прежде чем в результате окончательной интерпретации сейсмических данных может быть получено наиболее вероятное геологическое строение дна океана, проходят многие часы работы. В процессе ее приходится вводить небольшие поправки — например, за глубину взрыва

и глубину моря — и копать в запутанных частях сейсмограмм в надежде различить на них импульсы, которые могли бы подтвердить или отвергнуть предположения, сделанные по ясным первым вступлениям волн.

Приходится проделать огромную работу, прежде чем будет получено наилучшее решение о смысле записей звуковых волн, и во многих случаях первоначальная интерпретация по приближенному графику оказывалась неправильной. Действительно, одно из удивительных явлений в практике сейсмических работ состоит в том, что вид первоначальных результатов, получаемых на основе отсчетов, взятых приближенно прямо с мокрых фотолент, часто бывает лучше, чем после тщательного внесения поправок. Еще позднее приходят сомнения и вопросы, также не улучшающие положения, так как всегда очень жалко бывает отказаться от того приятного чувства (подобного светлому настроению на исходе хорошего дня), которое вызывает правильная прямая на годографе.

За два с половиной года нашего плавания было сделано 34 сейсмических разреза методом преломленных волн: 4 — в Атлантическом, 17 — в Тихом, 5 — в Индийском океане и 8 — в Средиземном море. Чаще всего в открытом море дул сильный ветер, но из-за ограниченного радиуса плавания «Челленджера» нам нельзя было просто стоять и ждать, пока море успокоится. Зато когда условия были подходящими, сейсмические работы удавалось совершать с огромной быстротой; например, все разрезы в Индийском океане были отработаны за семь дней.

Совсем другое дело было в Атлантике. Бурный океан встретил корабль сразу же за Плимутским волноломом, и наши планы были нарушены с самого начала. Довоенные морские сейсмические работы Кембриджского университета, которые были проведены методом преломленных волн и на опыте которых была разработана конструкция радиоакустических буев, выполнялись на юго-западных подходах к Ла-Маншу. Как с исторической, так и с геофизической точек зрения было бы желательно проверить и развить дальше эти первые опыты. Но вместо этого после нескольких месяцев, проведенных на берегу, две трети экипажа судна оказались, так сказать, hors de combat<sup>1</sup> из-за отвратительной килевой качки, вызванной

<sup>1</sup> Вне сражения (фр.).

встречной волной. Меня спасали только новейшие патентованные пилюли от морской болезни. По словам Булларда, эти пилюли, — вероятно, важнейший научный вклад двадцатого века в океанографию.

Такое расстройство планов из-за погоды дало полное представление о том, что нас ожидает. После еще нескольких таких же разочарований от предварительного планирования отказались; сейсмические измерения проводились, как только наступала хорошая ясная погода, независимо от того, где находился корабль.

Очень обидно, что приходилось действовать именно таким образом, так как прежде чем приступить к работам методом преломленных волн, желательно проводить эхолотный промер, чтобы узнать, насколько однородно и плоско дно океана. Карты океанов строятся в таком мелком масштабе, что по ним можно получить сведения о глубине не чаще чем приблизительно через 20 миль, а во многих случаях даже и для такой детальности данных не хватает. Поэтому никогда нельзя знать наверняка, какие можно обнаружить подводные возвышенности и горы, если произвести эхолотный промер именно в данном выбранном месте, и может понадобиться некоторое время на то, чтобы подыскать более или менее ровный участок дна протяженностью в 20—30 миль.

Лучше всего было бы выбирать место для проведения сейсмических работ на основании данных эхолотирования и из общих географических соображений. Но когда мы прибывали в выбранное место, оно почти всегда чем-нибудь не подходило. Поэтому местоположение станций, на которых были успешно выполнены эксперименты, обычно соответствует тем местам, где удачно сочетались тихая погода и отсутствие непредвиденных обстоятельств.

На пути из Гибралтара в Англию сейсмических измерений не производилось, хотя это сравнительно короткий путь и оставалось несколько свободных дней, так что можно было бы остановиться для проведения работ. Но первые несколько дней была плохая погода; затем наступило некоторое улучшение ее, как раз когда подошли к интересовавшей нас плоской глубоководной равнине к западу от Гибралтара. Однако сейсмические работы все равно не удалось провести, так как в самый критический момент заклинило вал гребного винта.

В другой раз на пути с Бермудских островов к Нью-фаундленду и обратно было много дней, которые можно было бы назвать прекрасной сейсмической погодой. На этот раз работам помешало сообщение о том, что в северном направлении движется ураган под названием Дорис. Штурман делал все возможное, чтобы уйти от него, и мы провели целую неделю, увертываясь от урагана и так и сяк, подобно гипнотическому состоянию двух вежливых людей, уступающих друг другу дорогу на тротуаре. Результатом была бы неминуемая катастрофа, если бы только метеорологи не «остановили ураган», бесцеремонно направив его отдыхать в область низкого давления.

Оказалось, что в некоторые более ранние метеосводки вкрались ошибки, и получилось так, что наш корабль мчался вперед полным ходом, без остановок для работы, как раз все время, пока стояла изумительно спокойная погода. Зато остановка произошла, когда ураган Эффи решил напасть на Бермудские острова именно в тот момент, когда к ним приближался наш корабль. На этот раз мы были почти непосредственно перед центром урагана и стали дрейфовать среди огромных, внушающих страх волн. Иногда из-за волн с капитанского мостика нельзя было видеть горизонт, и, следовательно, они должны были иметь высоту более 35 футов. Одних этих волн было уже вполне достаточно, чтобы сделать проход через рифы невозможным. Но чтобы еще усугубить положение, топливный танк оказался почти пустым. Однако мы уступили дорогу Эффи и, очевидно, за свою галантность были вознаграждены: ураган отодвинулся к северу и погода улучшилась настолько, что корабль смог войти по узкому проходу в гавань.

Ураганы на Бермудских островах настолько часты, что все дома снабжены постоянными ставнями. Когда возвещают о приближении урагана, то все окна заколачивают досками и люди готовятся к тому, чтобы не выходить из дома в течение нескольких дней, пока буря не утихнет. В доках для защиты кораблей применяют особо прочные канаты и цепи. Иногда корабли высыпают из порта, чтобы они встретили ураган в открытом море: единственное место, где нельзя находиться во время урагана, это вблизи рифов на мелководье.

Теперь, когда армия США проводит регулярные метеорологические полеты, служба оповещения ураганов стала



очень эффективной. В некоторых отношениях она, может быть, даже слишком эффективна. Ураган — это зверь, поведение которого почти невозможно предугадать. Поэтому, когда ураган замечен, нужно дать оповещения для очень большой территории, которой может угрожать опасность. Раньше единственной информацией об ураганах, идущих вдали от берега, были сообщения с кораблей, и поэтому многие из них, подобные нашему урагану Дорис, вполне могли бы остаться незамеченными. Пожалуй, это было бы наруку нашим сейсмическим работам.

На Манусе, на островах Адмиралтейства, мы случайно встретились с американскими военными метеорологами. Метеорологи несут столь же скромную и незаметную службу обеспечения безопасности непрерывно возрастающих в наши дни воздушных перевозок, как и гидрографы, способствующие безопасности мореплавания, и в этом отношении их работа имеет много общего. Наряду с обычными наблюдениями, необходимыми для построения карт воздушных потоков в высоких слоях атмосферы, очень много усилий направляется на то, чтобы вовремя заметить начало грозных ураганов. Возможность увидеть центр циклона с самолета позволяет установить вероятный путь урагана гораздо точнее, чем по отдельным сообщениям с кораблей. Кроме того, скорость самолета, конечно, дает возможность охватить значительно большую территорию.

Подобная же система предупреждения существует у восточного побережья Англии, поскольку катастрофические последствия наводнений, обусловленных совместным действием чрезвычайно высоких приливов и штормовых волн, можно предупредить своевременными специальными мерами — возведением дамб и эвакуацией населения. Таким образом наблюдения, которые проводятся прежде всего для научных целей, получают практическое применение и в конечном счете оказываются полезными для защиты побережий.

На Гавайях имеется тщательно разработанная система оповещения об извержениях вулканов. Аналогичная система сейсмографов размещена на островах Вест-Индии, где в прошлом катастрофические вулканические извержения произвели сильные разрушения. На Монтсеррате, например, происходили ужасные катастрофы, подобные извержениям Везувия. В двадцатых годах английским военным судам случайно удавалось держать вулканы под

контролем уже одним своим присутствием, и если люди могли видеть у берега крейсера, то они уже были спокойны. Но эти меры в современном практическом мире уступили место научному подходу к прогнозам землетрясений, а также специальным мерам по защите построек и эвакуации населения в случае необходимости.

Бермудские острова часто были базой сейсмических экспедиций М. Юинга, и в одну из ночей во время нашей трехмесячной работы в Атлантике «Челленджер» и «Атлантис» оказались вместе в одной гавани на Бермудах. Это позволило нам встретиться, несмотря на поздний вечер, чтобы сравнить полученные результаты и увидеть, как двумя различными методами выявляются одни и те же геологические структуры. С новыми приборами и с неопробованными по существу методами возможны все виды ошибок, и этот обмен данными сильно помог нам приобрести уверенность, что в своих экспериментах мы стояли на правильном пути.

Посмотрев на карту, можно понять, почему Бермудские острова служат превосходной базой для океанографических исследований. Они расположены далеко от материка, и, проплыв несколько часов в любом направлении, можно оказаться в условиях больших океанских глубин. Не удивительно, что эти маленькие пятнышки в обширном Атлантическом океане были впервые обнаружены в XVI в. совсем случайно, когда на пути из Испании на Кубу Хуан Бермудес потерпел кораблекрушение. Эти острова очень невысоки, и, чтобы попасть на них, нужно вести корабль с очень большой точностью.

По маршруту Ньюпорт — Бермудские острова, старейшей из трасс регулярных океанских сообщений, раз в два года проводятся соревнования яхтсменов. «Челленджер» в 1950 г. играл роль наблюдательного судна на линии финиша этих соревнований и салютом ракет и огней Вери встречал финиширующие яхты, проходившие мимо него с некоторыми интервалами на протяжении всей ночи. Первой прибыла «Болеро», которая прошла 630 миль за трое суток и три часа.

Заселение Бермудских островов началось вскоре после вынужденного пребывания на нем в 1609 г. сэра Джорджа Сомерса, также потерпевшего кораблекрушение. Экономика островов базировалась (в порядке значимости) на выращивании табака, спасении потерпевших крушение

судов, рубке кедра и разведении лука. Но различные причины (естественные и иные) привели к тому, что все эти отрасли экономики были исчерпаны. Сочетание низкого качества продукции и трудности ее перевозки способствовали упадку производства, и уже вскоре табак даже для местного потребления стали ввозить из Вирджинии.

Общее улучшение методов навигации, а также установка маяка на северном рифе острова почти свели на нет бизнес, основанный на спасении потерпевших крушение. Какой-то ужасный мор погубил все кедровые деревья, а нью-йоркский луковый рынок был захвачен неким предприимчивым техасцем, который приобрел немножко семян и вырастил потом в США настоящий бермудский лук.

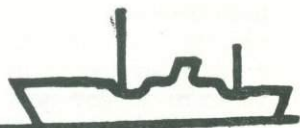
Однако маленькая колония не унывает, и, вероятно, обслуживание туристов, которых привлекают прекрасные олеандры и гибискусы, ярко-алые пуансетии и восхитительные навесы из бугенвиллий, а также чудесные песчаные пляжи, разноцветные рыбы и сказочные подводные коралловые сады, манящие современных любителей подводного плавания, многие годы будет поддерживать экономику островов на вполне удовлетворительном уровне.

Ласково сияющее солнце и жара в одном смысле оказали все же плохое действие на экспедицию. Нашего капитана — капитана 3-го ранга Британского военно-морского флота, кавалера ордена за боевое отличие Робина Билла сразила дизентерия. Возможно, это были последствия военного времени, когда он плывал на «Челленджере» в Индийском океане, составляя морские карты и карты побережья для вторжения на Малайю. Два раза побывав в госпитале, Робин был вынужден признать себя побежденным дизентерийной амобой, и был смещен капитаном 3-го ранга Британского военно-морского флота, кавалером креста за боевое отличие Г. С. Ричи.

Это было очень обидным финалом для капитана Билла. Он проделал всю самую трудную подготовительную работу, перенес все невзгоды шестимесячного ремонта в Чатаме, а теперь, когда корабль отправлялся, можно сказать, отдыхать в Тихий океан, он должен был его покинуть!

Жара обнаружила несколько слабых мест и в самом корабле. Пришлось обращаться в док, чтобы нам установили, например, дополнительную изоляцию для холодиль-

ного отделения. Это был один из последних заказов дока, так как морская база на Бермудских островах закрывалась. Современный военно-морской флот с равным успехом может действовать прямо из Англии, если принять во внимание увеличение радиуса действия и скорости кораблей и возможность заправки горючим прямо в море. Различные задержки срезали время, отведенное на экспериментальные работы, и привели к тому, что нам не удалось зайти в Сент-Кристофер для проведения там промера, так как иначе не удалось бы выдержать расписание, намеченное для тихоокеанской части нашего маршрута.



## IV.

## Мох

Представим себе Землю, распиленную через центр; тогда мы увидим глубины суши и моря.

Леонардо да Винчи, *Записные книжки*

Теперь пора отчитаться о результатах, полученных с помощью сейсмических исследований в различных частях земного шара. Это влечет за собой описание общепринятых терминов, которые используются при характеристике земной коры. Читателя не должны пугать такие названия, как «слой 6,7 км/сек» или то странное словечко, которое стоит в заголовке этой главы, так как это своего рода жаргон морских геологов. Может быть эти выражения не очень изящны, но они применяются и понятны всем, кто изучает эти проблемы во всех странах.

В настоящей главе рассматриваются результаты, касающиеся строения и мощности коры на всем земном шаре. Мы видели, что земная кора — это тонкая кожица, которая сморщена вокруг оболочки (мантии) и ядра Земли. Хотя она и тонка по сравнению с мантией, кора имеет для нас первостепенное значение, так как она сложена горными породами, с которыми мы уже познакомились на поверхности.

Распределение коры под океанами и континентами — фактор, который может быть использован для проверки различных теорий образования Земли. Например, оно может помочь в выяснении вопроса — являются ли океаны

неизменными чертами рельефа Земли? Некоторые геологи считают, что на том месте, где сейчас океан, завтра может быть суша. Другие же в поддержку идеи о неизменности Тихого океана указывают на существование таких границ, как андезитовая линия.

Результаты сейсмических исследований могут помочь в объяснении самых новейших взглядов на эти противоречивые вопросы, и эксперименты, выполненные «Челленджером», будут использованы для иллюстрации различных точек зрения. Получилось очень удачно, что «Челленджер» мог сравнить строение Атлантического, Тихого и Индийского океанов. Кроме того, длительное плавание по Тихому океану дало возможность провести сейсмические измерения в областях, относящихся к различным геологическим и морфологическим структурам.

Тихий океан — величайший из океанов Земли, и в нем развиты интереснейшие образования — коралловые атоллы и множество островов. Если вы хотите выбрать место для морских геологических исследований, то Тихий океан будет самым подходящим объектом. Именно Тихий океан позволил нашей экспедиции разработать классификацию различных типов океанических структур, применимую и для других океанов. Тихий океан прямо-таки снабжает нас «типичными примерами».

При плавании по Тихому океану необходимо усвоить и некоторые другие сведения, и поэтому, прежде чем перейти к знакомству с историей земной коры, проследим несколько подробнее за движением «Челленджера». Новый капитан оказался одним из тех немногих людей, изучавших естественную историю, которые призваны украсить эту науку даже в наш век узкой специализации. Во времена тихоокеанских открытий XVII—XVIII вв. он безусловно был бы в своей стихии. Впрочем, трудно было бы найти более подходящего капитана и для современной экспедиции. И капитан 3-го ранга Ричи как нельзя лучше оправдал себя на этом посту, проявляя повсюду глубокий интерес и любовь к людям и природе, от уединенных островов Королевы Шарлотты у берегов Британской Колумбии до цветущих островов Фунафути и Нукуфетау в тропиках.

Объединенные усилия современной цивилизации, кино и телевидения еще не успели свести все население земного шара к единому и вместе с тем уныло однообразному

уровню. В Тихом океане в особенности жизнь людей в маленьких сообществах и большие расстояния, отделяющие их друг от друга, способствуют сохранению в некотором роде отсталого, но в то же время счастливого духа здорового индивидуализма. Стив Ричи всячески поддерживал этот грубоватый индивидуализм, в особенности когда дело касалось его оригинального одеяния: он мог появиться на мостике в ярко-красной клетчатой канадской куртке лесорубов или же на баке раздавать каву<sup>1</sup>, одетый в живописную травяную юбку обитателей южных островов. Он весь излучал энтузиазм. И обширное и пустынное открытое море, вместо того чтобы казаться всем скучным и однообразным, становилось ареной тысячи захватывающих явлений — от таинственных звукорассеивающих слоев до зеленого луча на закате. Этот его энтузиазм был до того заразителен, что даже самого невозмутимого механика из машинного отделения можно было теперь застать наблюдающим за птицами или жуками.

Во всяком случае, хотя все тихоокеанские острова уже и открыты, это ни в коем случае еще не означает, что пришел конец изучению истории обитателей этих островов. Тур Хейердал показал весьма практическим способом, что переселение могло происходить со стороны цивилизации инков в Южной Америке. Точно такие же плоты, как «Кон-Тики», вполне могли быть построены и спущены на воду много веков назад, чтобы соединить маленькие группы людей, разделенные теперь тысячами километров океана. Поразительные статуи острова Пасхи окончательно утвердили Хейердала в этом мнении. Но, конечно, существует много признаков того, что основная часть переселения шла все же из Юго-Восточной Азии.

Знаменитый маориец сэр Питер Бак был директором музея Бишопа в Гонолулу, когда «Челленджер» заходил в Пирл-Харбор, и он объяснил нам, почему большинство исследователей отдают предпочтение гипотезе о миграции населения через Тихий океан в восточном направлении. Было собрано огромное множество фактов, которые помогли понять связи народов сотен островов, и все они указывают на то, что переселение шло с запада на восток.

---

<sup>1</sup> К а в а — напиток, приготовленный фиджийцами из корней перечного дерева; он обладает возбуждающим действием и целебными свойствами. — *Прим. ред.*

Представить себе способ, которым люди могли пересекать огромные морские расстояния, не составляет никаких трудностей, так как большие военные каноэ (образцы которых можно увидеть в Оклендском музее), как известно, во время военных походов покрывали большие расстояния между островами.

Навигационная техника жителей Океании также не представляет собой никакой тайны. Покойный Гарольд Гетти, который был штурманом при первом перелете Вилли Поста через Тихий океан, провел много лет в своем очаровательном домике на Фиджи, изучая приметы, созданные природой в помощь внимательному путешественнику на морских дорогах океана. В самом деле, ведь птицы находят дорогу домой — к тем местам, где они выют гнезда и выводят птенцов, по-видимому, с помощью каких-то достаточно надежных физических признаков. Так почему бы и человеку не следовать тем же приметам? Гетти удалось настолько блестяще объединить древний фольклор и обычные навигационные принципы, что во время войны его официально попросили написать книгу, которая помогла бы потерпевшим аварию морякам и летчикам находить дорогу к суше.

Так что в области естественной истории всегда можно узнать что-то новое, даже если это будут и не такие открытия, как открытия Дарвина на Галапагосских островах. Каждый человек получает пользу от знакомства с другими цивилизациями, поскольку он может видеть, как другие народы преодолевали свои жизненные трудности. Таким путем экспедиции помогают образовать ядро интернационально мыслящих людей, среди которых, по характеру их профессии, моряки, нефтяники и океанографы образуют особенно крепкую группу людей, способных понимать и относиться с уважением к убеждениям других людей, несмотря на то, что они могут отличаться от их собственных убеждений.

В связи с ростом народонаселения земного шара и быстрым увеличением оперативности сообщений между различными пунктами стало необходимым проявлять значительно больше терпимости и сочувствия к убеждениям и привычкам других народов, чтобы сохранить цивилизацию от гибели.

Поиски знаний ради знаний были для нас прекрасной рекомендацией, и обеспечили «Челленджеру» радужный



прием во всех уголках земного шара. Наши новые друзья и знакомства совершенно безошибочно продемонстрировали, что во всех нациях и во всех обществах есть люди хорошие и плохие, приятные и неприятные и что в общем соотношение тех и других повсюду примерно такое же, как и в Англии.

«Челленджер» вырвался из Панамского канала, подобно пробке из бутылки, так как необходимо было набрать полную скорость, чтобы преодолеть сильное встречное течение. Тихий океан оказался достойным своего названия — после борьбы с волнами в Атлантическом океане мы увидели спокойную и ясную солнечную погоду. Некоторые наиболее простодушные ученые думали, что теперь наступает год превосходных сейсмических экспериментов, и уже собирались взять на борт побольше глубинных зарядов, чтобы недостаток взрывчатки не ограничил возможностей работы.

Однако Тихий океан может быть очень бурным — в такой же точно степени, как и любой другой океан, — особенно на севере, где как раз и должен был проходить наш маршрут. И хотя результаты проведенных здесь сейсмических исследований должны были лечь в основу построения общей геологической картины океанического дна в масштабах всего земного шара, число станций, на которых удалось провести успешные сейсмические исследования, оказалось значительно меньше, чем ожидалось первоначально.

Большую часть времени, затраченного нами на путешествие из Ванкувера в Гонолулу и из Гонолулу в Адак на Алеутских островах, море было не только чрезвычайно бурным для проведения сейсмических работ, но и решительно неудобным даже просто для нормальной жизни. Чтобы в офицерской кают-компании не соскальзывали со стола тарелки, устанавливались специальные клетки, а сами столы приходилось привязывать к переборке. Канадский крейсер «Онтарио», который следовал за «Челленджером» из Эскимальта, перенес такую жестокую борьбу с волнами, что одна из его спасательных шлюпок была смыта за борт. Временами кок не мог приготовить ничего, кроме тушеного мяса, которое для безопасности ели из оловянной посуды.

Хотя такая бурная погода действовала изнуряюще, это было вместе с тем хорошей закалкой; главной бедой была

невозможность проводить какую-либо научную работу. В такую ужасную погоду приятнее всего было войти в гавань, и бурное плавание имело уже то преимущество, что позволяло потом с чистой совестью наслаждаться отдыхом на берегу.

Сокорро — небольшой островок, лежащий в нескольких сотнях миль от мексиканского побережья, и в течение нескольких часов наш корабль стоял между Сокорро и соседним с ним островом Сан-Бенедикто, чтобы взять пробы воды. Море было зеркально-гладким, и спокойствие этой мирной картины, с голубым небом и островами, подымающимися в зеленоватой дымке на заднем плане, лишь слегка нарушалось пыхтением паровой лебедки, вытягивавшей наверх батометры с водой.

Редко представляется возможность проводить эксперименты в таких хороших условиях, и это еще больше подчеркивает те трудности, которые постоянно приходится преодолевать во всех океанографических работах. Сравнительно легко проводить сложные эксперименты, когда корабль стоит спокойно. Однако при работе с качающейся палубы все ответственные части приборов должны быть хорошо защищены от брызг воды и от качки. Любая остановка, вызванная повреждением механизмов, легко может явиться причиной целого ряда нежелательных последствий, которые испортят наблюдения.

С моря остров Сокорро выглядел очень привлекательно. Он необитаем, если не считать тысяч овец, которые бродят повсюду на 60 кв. милях его пересеченной поверхности. Овцы — это следы посещения острова предыдущей экспедицией. В XVIII—XIX вв., когда на кораблях еще не имелось холодильников, на борт часто брали живой скот, чтобы дополнить запасы солонины свежей мясной пищей. Считалось добрым делом оставлять некоторое количество европейских животных на изолированных островках в океане: отчасти несомненно для того чтобы поощрить колонизацию, довольно популярную в то время среди англичан, а также (что еще важнее) в качестве заботы о потерпевших крушение моряках.

С точки зрения естественной истории эта процедура имеет и достоинства и недостатки. Интересно проследить воздействие чужеродных видов на гармоничное население, которое сформировалось в результате столетий спокойного развития. Например, прибытие людей на Галапагосские

острова привело к превращению доверчивых и необыкновенно дружелюбных птиц в пугливые и застенчивые существа, подобно тем, какие можно видеть в Англии. Овцы прижились и стали размножаться на Сокорро благодаря подходящему климату, обильной пище и отсутствию хищных животных. Со временем естественные причины, разумеется, сыграют свою роль, и прожорливые животные будут поедать растительность на острове быстрее, чем она сможет быть восстановлена. А если уж этот процесс начался, его ничто не остановит, и дело может дойти до превращения острова в почти пустыню. Этот обратный процесс можно в настоящее время наблюдать в некоторых частях Среднего Востока. Человек с его стадами коз и верблюдов уничтожает растительность: деревья — на древесный уголь, более мелкие растения — на корм скоту. И постепенно бесплодные равнины расширяются, подбираясь к предгорьям и выше, к горным пастбищам.

Даже такая невинная колонизация, как ввоз воробьев на Гавайи, принесла ущерб местной фауне, так как в результате скрещивания воробьев с местными маленькими птичками, которых видел Муррей в XIX в., эти первоначально ярко-красные птички превратились в тускло-коричневых. По мнению океанографов, такой вред чаще всего бывает непоправимым.

Во многих случаях новые обитатели приживались еще до того, как начали проводиться тщательные исследования и были описаны в своем неизменном виде местные фауна и флора. И поэтому к тому времени, когда становится возможным научный сбор данных, свидетельства о миграции жизни от одного континента к другому и к отдельным изолированным островам сами по себе уже запутанны и неопределенны. Только в таких случаях, как гибель древнего острова при извержении Кракатау и последующий рост нового острова, можно получить действительно реальные доказательства того, каким образом происходило преодоление водных расстояний. Но здесь время, прошедшее считая от новой отправной точки, очень мало, и вряд ли могло успеть произойти что-либо интересное. Однако в случае с Кракатау и нескольких лет хватило, чтобы наблюдать прибытие пауков и необычных овощных культур. И всего этого уже достаточно, чтобы делать предположения о том, какой тип колонизации

может здесь иметь место, при условии что будет «достаточно времени» для того, чтобы случайное действие океанических течений и ветров успело дать свои результаты.

С другой стороны, история Земли неизгладимо записана в геологической летописи и никакие усилия человека в прошлом не могли изменить ее. Сотни миллионов лет назад, когда происходило первоначальное отложение слоев разных пород, могли существовать другие физические условия, например скорость вращения Земли и интенсивность выделения радиоактивного тепла в глубинных породах, возможно, были не такими, как сейчас, но за последний период порядка нескольких столетий безусловно никаких изменений произойти не могло. Поэтому оставшиеся до наших дней записи геологической летописи и сейчас столь же ясны, как и раньше, и они смогут подождать, пока океанографам удастся усовершенствовать свои приборы и проникнуть в смысл геологических событий.

Как мы видели, Тихий океан, по-видимому, — уникальное явление среди всех океанов земного шара. Некоторые даже предполагали, что он представляет собой шрам, оставленный Луной, когда она оторвалась от Земли и унесла с собой часть континентальной коры, одно время покрывавшей всю земную поверхность. С другой стороны, возможно, что Тихий океан — наиболее древняя из покрытых водой территорий на Земле, поскольку другие океаны могли образоваться как вторичные впадины при расползании континентов. Нам повезло, что большую часть времени «Челленджер» провел именно в Тихом океане и что сейсмические станции удавалось располагать в таких местах, где под океаническим дном залегали различные типы геологических структур.

По мере того как месяц за месяцем накапливались результаты сейсмических исследований, становилось очевидным, что геологическое строение дна океанов земного шара весьма сходно. Само ложе океана обычно покрыто глиноподобными осадками, которые продолжают вглубь на несколько тысяч футов. О значении этих отложений в связи с историей Земли будет говориться в следующей главе. Нижняя часть осадочной толщи, как показывают сейсмические измерения, представлена породами средней плотности; они также будут подробно рассматриваться

позднее под несколько расплывчатым, но общепринятым названием «второго слоя».

Под осадками и «вторым слоем» залегают действительно плотные породы первородного океанического дна. Пожалуй, самым поразительным результатом всех сейсмических наблюдений является доказательство повсеместного присутствия этого слоя, в котором скорость упругих волн  $6,7$  км/сек. Слой с этой же самой скоростью найден как в Тихом, так и в Атлантическом и Индийском океанах, и результаты свыше ста измерений, произведенных по всему земному шару, хорошо согласуются с указанной цифрой. Как бы ни отличались места, в которых был обнаружен этот слой, нет почти никаких сомнений в том, что он сложен сходным материалом и является одной из важнейших составных частей земной коры.

Если провести аналогичные наблюдения в материковых областях земного шара, то можно обнаружить, что при переходе от осадочной толщи к плотным породам фундамента также имеется переходный слой. Однако глубина залегания фундамента равна не нескольким тысячам футов, как это найдено в океанах, а изменяется от нескольких тысяч футов до нуля в тех местах, где породы фундамента выходят на поверхность в виде обнажений. Кроме того, скорость упругих волн в породах континентального фундамента варьирует в гораздо более широких пределах, чем в соответствующих океанических породах.

Величина скорости  $6,7$  км/сек для пород фундамента под дном океанов сама по себе уже способствует дальнейшему выяснению геологического строения земной коры. Хотя в гл. III отмечалось, что скорость упругих волн в горных породах не может однозначно определить породу, в данном случае она существенно ограничивает все возможные предположения либо плотной породой типа известняка, либо основной кристаллической породой типа габбро.

Скорость  $6,7$  км/сек определенно превышает значения, найденные для любых кислых или осадочных пород, за исключением очень плотного известняка. В то же время маловероятно, чтобы мощный слой плотного известняка имел планетарное распространение. Такой непрерывный слой не обнаружен даже на континентах, где мощные толщи известняка ограничены осадочными структурными

бассейнами, образованными породами кристаллического фундамента.

Кроме этих геологических доводов, имеются веские физические причины полагать, что слой со скоростью  $6,7$  км/сек скорее всего сложен основной породой. Во всех океанических экспериментах обнаружено, что в породах слоя со скоростью  $6,7$  км/сек упругие волны распространяются очень хорошо: небольших зарядов в несколько десятков килограммов уже достаточно, чтобы на расстояниях до  $40-50$  миль получить ясные звуковые импульсы. Глубинные слои известняка на суше часто являются потенциально нефтеносными, и, чтобы определить глубину залегания таких слоев, проводилось очень много сейсмических измерений. Как обнаружили при этом, упругие волны сравнительно быстро затухают в известняках с увеличением расстояния от пунктов взрыва до приемного прибора, и, чтобы произвести запись на расстояниях  $10-20$  миль, требуется уже несколько тонн взрывчатки.

Такая заметная разница в способности кристаллических пород и известняка пропускать упругие волны не только хорошо подтверждена фактическими наблюдениями в поле. Этого также следует ожидать, исходя из результатов лабораторных измерений затухания звуковых волн в названных двух типах пород. К тому же известняк часто бывает разбит трещинами и пересечен глинистыми прослойками, что делает его очень плохой средой для распространения упругих волн по сравнению с твердыми кристаллическими породами.

Информация, полученная с помощью сейсмических экспериментов на море, не исчерпывается сведениями о том, что океаническое дно сложено основными изверженными породами. Слой со скоростью  $6,7$  км/сек подстилается другим слоем, который можно обнаружить сейсмическим методом преломленных волн. Упругие волны распространяются в этом слое со скоростью  $8,1$  км/сек. Расчеты, основанные на полном времени пробега волн, показывают, что он залегает на глубине  $10-12$  км от поверхности воды. Поскольку средняя глубина океанов равна  $4-5$  км, это означает, что слой  $8,1$  км/сек находится на глубине около  $6$  км под поверхностью дна океана.

Этот слой можно проследить от глубоких частей океанов до мелководья. Обнаружено, что глубина его залегания увеличивается по мере приближения к континентам и под

самими континентами достигает 30—40 км, т. е. более чем в три раза превышает глубину залегания его под океаном.

На рис. 3 показано, как происходит сочленение океанических и континентальных структур. Слой 6,7 км/сек,

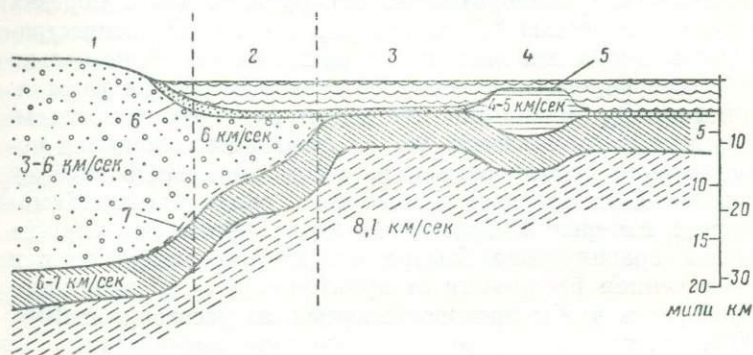


Рис. 3. Разрез через земную кору, иллюстрирующий различие геологического строения под континентами и под океанами.

1 — континент, 2 — переходная зона (Филиппинская котловина); 3 — океан (Тихий), 4 — подводная гора с плоской вершиной, 5 — изверженный вулканический материал, 6 — глинистые осадки и известняки, 7 — неопределенная граница.

который является универсальным элементом «океанической структуры», показан как непрерывный слой, соединяющий океан и континент, хотя его присутствие под материками установлено не так уверенно, как под океаном. В то же время относительно непрерывности слоя 8,1 км/сек нет никаких сомнений<sup>1</sup>. Огромный интерес вызвали уже результаты самых ранних глубоководных сейсмических исследований, показавшие, что этот слой залегает в океане на сравнительно небольшой глубине: 10—12 км от водной поверхности.

<sup>1</sup> В последнее время установлена значительная неоднородность верхней мантии. Эта неоднородность отмечена по наблюдениям за искусственными спутниками Земли, а также при морских сейсмических исследованиях. Неоднородность мантии отмечается изменениями скоростей продольных сейсмических волн ниже раздела Мохоровичича от нормальной скорости, равной 8,1 км/сек, до 7,7 и 9,1 км/сек. С неоднородностью мантии связано, по-видимому, развитие различных структур земной коры.— Прим. ред.

О существовании слоя  $8,1 \text{ км/сек}$ , безусловно, предполагали, и одной из главных задач сейсмических работ на море как раз и было найти Мохо (Мохо — сокращенное название границы Мохоровичича, как принято называть поверхность раздела между земной корой и мантией). Мантия представляет собой мощную толщу пород, протягивающуюся почти на половину земного радиуса к центру Земли и окружающую жидкое ядро.

Волны от землетрясений обычно распространяются по мантии, и уже в начале нашего века все сейсмологи знали величину  $8,1 \text{ км/сек}$  как скорость, с которой сейсмические волны распространяются в мантии вокруг всего земного шара. В 1909 г. А. Мохоровичич изучал записи землетрясения, которое произошло в долине Калпа в Кroatии, и обнаружил, что кроме хорошо известных волн мантии существуют волны, распространяющиеся со скоростью меньше  $8,1 \text{ км/сек}$ . Мохоровичич совершенно правильно объяснил эти результаты тем, что данные волны распространяются в породах земной коры. С помощью тех же рассуждений, что применяются при обработке данных метода преломленных волн, он подсчитал, что в Южной Европе слой  $8,1 \text{ км/сек}$  залегает на глубине приблизительно 50 км. Кровля этого слоя — очень важная особенность внутреннего строения Земли, и для удобства (хотя некоторые могут в этом усомниться) обозначается именем ее открывателя.

После того как было показано, что волны от землетрясения можно использовать для того, чтобы различать породы коры и мантии, производилось много измерений толщины земной коры. Было найдено, что первое значение глубины поверхности Мохоровичича, определенное им самим, несколько выше средней толщины коры для континентов. О глубине Мохо под океанами удавалось лишь строить предположения, так как невозможно было проводить сейсмические наблюдения с помощью группируемых на близких расстояниях сейсмографов на территориях, где единственными площадками для установки приборов могли служить острова, расстояния между которыми были достаточно велики.

Естественнее всего было предположить, что земная кора непрерывна и одинакова по всему земному шару. Тот факт, что на протяжении истории Земли континенты, очевидно, неоднократно затоплялись водой, привел к всеоб-



Щему убеждению о непрерывной смене суши и моря. Романтические рассказы о пропавшей Атлантиде, несомненно, подогревали эти идеи, но они были неверными.

В настоящее время уже никто не сомневается, что глубина поверхности Мохоровичича под океанами раза в три меньше, чем под континентами. Таким образом, земная кора под океанами оказывается очень тонкой и утолщается по мере приближения к суше. Следовательно, хотя материки и могут двигаться вверх и вниз и временно затопляться мелководными морями, — в это время и происходит образование осадочных горных пород, — они коренным образом отличаются от океанов. Ложе глубоких океанов никогда не было сушей, а всегда оставалось покрытым слоем воды толщиной в несколько километров.

Задолго до того как сейсмические измерения на море указали на исключительно малую толщину земной коры под океанами, о различиях между строением Тихого океана и окружающей его суши можно было судить по геологическим данным. Тщательное изучение материала, выброшенного при извержении вулканов в Тихом океане и вокруг него, показало, что из недр Земли были исторгнуты два резко различающихся типа пород — основные породы в океанах и кислые на суше. Многие из тихоокеанских островов сложены вулканическими породами, и даже те, которые, как кажется на первый взгляд, состоят из осадочного материала, имеют вулканические корни. Поэтому на карте можно отметить, является ли данный остров по характеру слагающих его пород основным или кислым.

В результате исследований было выяснено, что существует весьма закономерная картина, и можно провести «андезитовую линию», отделяющую область распространения основных пород на большей части Тихого океана от окаймляющей его полосы кислых пород, граничащей с континентами. Андезитовая линия показана на карте, приведенной на внутренней стороне обложки книги. Дальше мы увидим, что такие места, как Филиппинская котловина и область к северо-востоку от Новой Зеландии, находящиеся на обращенной к материкам стороне от этой линии, представляют особый интерес.

Андезитовая линия получила свое название от кислых пород, найденных в Андах. Последние представляют собой высокогорную цепь, проходящую по западному побережью

Южной Америки и по существу разделяющую океан и материк.

На внутренней стороне обложки обозначены также сейсмические станции экспедиции «Челленджера». Некоторые из них расположены в сторону океана и некоторые — в сторону суши от андезитовой линии. На основе анализа полученных результатов нам стало вскоре очевидно, что геологические структуры океана разделяются на две различных группы. А когда мы изучили положение отдельных станций в каждой из групп, то обнаружили, что эти две группы как раз и соответствуют старому геологическому делению, основанному на концепции андезитовой линии.

На океанической стороне от этой линии наблюдался типичный слой  $6,7$  км/сек, перекрываемый сравнительно тонким слоем ланосов с малой скоростью. На материковой стороне от нее первый главный слой, который удалось обнаружить, характеризовался значительно меньшей скоростью — от  $5,8$  до  $6,0$  км/сек. Глубина слоя  $8,1$  км/сек в океанах оказалась опять-таки меньше, чем на обращенной к суше стороне от андезитовой линии.

Простое геологическое строение глубоких областей океана нарушается вблизи островов и других крупных форм рельефа, поднимающихся над ложем океана, но этого и следовало ожидать. Все эти формы рельефа в Тихом океане имеют вулканическое происхождение, и вокруг них, естественно, располагается большое количество пород с относительно малой скоростью распространения упругих волн. На самом острове Гавайи, например, имеется много молодых лавовых потоков, и на некоторых из образцов пород, отобранных из этих потоков, проводились лабораторные измерения. Эти измерения дали значения  $4,3$ — $4,5$  км/сек. При глубоководных сейсмических исследованиях, проводившихся вблизи тихоокеанских островов, наблюдались скорости такого же порядка. Кроме того, в этих случаях слой  $6,7$  км/сек залегает глубже, чем на плоских участках океана, удаленных от островов и подводных гор.

Однако за исключением этих островных структур, возвышающихся над ложем океана, геологическое строение дна Тихого океана чрезвычайно просто, вплоть до андезитовой линии. Зато с другой стороны от этой линии геологическое строение становится гораздо более сложным, а как только мы переходим к самим материковым масси-

вам, наблюдается резкое увеличение глубины поверхности Мохоровичича, как это показано на рис. 3.

В последнее время был проведен ряд детальных экспериментов с целью определения структуры слоев, слагающих континенты. Было время, когда об океанах в этом отношении знали больше, чем о континентах: хотя первые сейсмические работы по изучению волн от землетрясений и дали приближенное представление о геологическом строении глубоких частей континента, но получаемые тогда результаты были недостаточно точными. Когда же тщательные морские сейсмические исследования продемонстрировали огромное отличие в строении земной коры под океанами от того, которое можно было ожидать по изучению континентов, наступило время всесторонней проверки старых данных, основанных на изучении землетрясений.

Два обстоятельства делают сейсмологические данные неточными. Во-первых, мы редко знаем точное положение очага землетрясения. Иногда по сильным разрушениям городов и сел или по разломам земной поверхности можно определить центр возмущения. Но часто мы не имеем подобных четких проявлений, или же они происходят на расстоянии многих километров от населенных пунктов и их трудно заметить.

Во-вторых, при землетрясении неизвестно точное время возникновения толчка. Надежда на то, что землетрясение возникнет вблизи сейсмической обсерватории, чрезвычайно слаба, а поэтому время его возникновения нужно вычислять, насколько это возможно, по наблюдениям, сделанным с помощью сейсмографов на расстоянии сотен километров от центра толчка. Совместное действие ошибок от неточного определения места и времени землетрясения эквивалентно приблизительно двум секундам пробега сейсмических волн до регистрирующей станции. А поскольку эти волны распространяются со скоростью 6—8 км/сек, это может дать ошибки в определении глубины порядка десяти километров.

Чтобы улучшить получаемую информацию о геологическом строении пород, образующих континентальную кору, нужно, по всей видимости, провести на суше сейсмические эксперименты, подобные тем, которые выполняются в океанах.

Однако на суше такие эксперименты более сложны. Во-первых, поверхность Мохо (т. е. слой 8,1 км/сек, отме-

чающий подошву коры) под континентами залегает более чем в три раза глубже, чем под океанами. Это означает, что для того, чтобы обнаружить Мохо сейсмическим методом преломленных волн, необходимо регистрировать вступления волн от взрывов на расстояниях порядка по крайней мере 150 км вместо 40—50 км, достаточных в океанических экспериментах. Интенсивность упругих волн уменьшается по мере их удаления от пункта взрыва. На суше такое затухание волн обычно гораздо сильнее, чем в океанах, так как горные породы континентальной коры не так однородны, как твердый плотный слой 6,7 км/сек, слагающий первородное океаническое дно. Кроме того, существенная часть 10-километровой толщи, покрывающей Мохо в районе океанов, состоит из воды. А вода пропускает упругие волны с гораздо меньшим их ослаблением, чем любая порода.

Есть еще одна трудность в проведении сейсмических экспериментов на суше. Известно, что взрывы, произведенные в воде, дают гораздо более сильные сейсмические импульсы, чем заряды такой же величины, взорванные под землей. Во всяком случае, гораздо легче сбросить глубинный заряд с борта корабля, чем бурить скважину и набивать ее взрывчаткой. Сочетание меньшей эффективности взрыва с необходимостью регистрации на значительно больших расстояниях означает, что на суше нужно производить взрыв от десятков до сотен тонн, в то время как на море достаточно полусотни килограммов.

Теперь уже легко понять, что с помощью сейсмических экспериментов не так-то просто определить глубину Мохо на суше. Иногда работы методом преломленных волн выполняются на суше нефтяными компаниями, но расстояние в этом случае ограничивается обычно примерно 20 км. В Иране, например, для приема преломленных волн на таком расстоянии требовалось несколько тонн сильного взрывчатого вещества. Отчасти это объясняется тем, что взрыв производился в мелкой скважине, вырытой ручным способом и, следовательно, недостаточно эффективной, а отчасти тем, что преломленные волны плохо распространялись в известняках, которые в этих экспериментах как раз и служили преломляющим слоем.

Чтобы увеличить расстояние, на котором можно обнаружить сейсмические волны при разведочных работах, хотя бы в десять раз, почти необходимо иметь правитель-

ственную поддержку<sup>1</sup>. И действительно, один из первых экспериментов с крупным взрывом на суше был выполнен военными. В 1947 г. большое количество взрывчатых веществ было взорвано Британским флотом в складах и укреплениях на острове Гельголанд. Заряд содержал почти 4000 тонн взрывчатки и сейсмические волны регистрировались даже в Пюи-де-Дом, т. е. более чем в 1000 км от места взрыва. Слой 8,1 км/сек легко удалось выявить на расстояниях более 120 км, и, как оказалось, в области северо-западной Европы он залегает на глубине порядка 30 км. Хотя наблюдения велись во многих различных местах, в отношении скорости распространения сейсмических волн в слоях земной коры осталась некоторая неопределенность. Что касается глубины, то точность ее определения улучшилась по сравнению с анализом волн от землетрясений примерно до 2 км.

Обычно взрывы в контролируемых условиях бывают не так велики, как на Гельголанде, но в результате полезного сотрудничества с владельцами карьеров в США удалось регулярно получать достаточно сильные взрывы. Распространенным методом работ в карьере является подрывание длинного участка поверхности породы путем одновременного взрыва многих зарядов. В этом случае получается экономия взрывчатки, так как разрушительное действие каждого заряда усиливается действием соседних зарядов.

Заряды величиной порядка 10—20 тонн взрывают с довольно правильными интервалами, и сейсмологи имеют возможность неделями записывать колебания на различных расстояниях от пункта взрыва. Передача по радио сигналов момента взрыва от взрывной машинки, находящейся в карьере, к автомобилю с сеймостанцией, где производится запись показаний сейсмографов, не вызывает больших трудностей. С помощью взрывов в карьерах на различных участках было найдено, что в значительной части североамериканского континента Мохо залегает на глубине около 40 км ниже уровня моря.

---

<sup>1</sup> Очень большой вклад в развитие глубинного сейсмического зондирования Земли сделан советскими геофизиками (см. Р. М. Деменецкая, Основные черты строения коры Земли по геофизическим данным. Гостоптехиздат, Л., 1961).—*Прим. ред.*

Один из наиболее тщательно разработанных планов проведения сейсмических экспериментов в больших масштабах был связан с использованием крупного инженерно-строительного проекта в Канаде. Более тысячи тонн бризантного взрывчатого вещества было заложено в специально сооруженные туннели под скалой Рипл-Рок, которая многие годы представляла серьезную опасность для судоходства в проливе, отделяющем остров Ванкувер от материка.

Момент взрыва должен был передаваться по радио к ряду передвижных сейсмических станций, установленных в Скалистых горах вдоль полотна Канадско-Тихоокеанской железной дороги. Кроме главного взрыва, производилось два дополнительных под водой к северу и югу от острова Ванкувер. Эти подводные взрывы имели величину лишь одну — две тонны, но были более эффективны, чем те, которые использовались для подрыва скалы Рипл-Рок, и регистрировались многими сейсмографами, а также специальным сейсмографом, помещенным около самой Рипл-Рок.

Наблюдений волн от одного только главного взрыва было достаточно, для того чтобы определить глубину слоя  $8,1 \text{ км/сек}$ , залегающего под границей Мохо, точно так же, как и в случае морских сейсмических экспериментов. Однако при работах по методу преломленных волн по существу всегда определяется сумма глубин под точкой взрыва и под регистрирующим прибором. Это станет понятно, если взглянуть на рис. 1. Если слой  $8,1 \text{ км/сек}$  залегает горизонтально, его точную глубину можно получить, разделив эту сумму пополам. Но если глубина Мохо изменяется, — и этого следует ожидать под крупными горными хребтами, — тогда, чтобы узнать, какая часть общей, суммарной глубины приходится на толщу под пунктом взрыва и какая — под приемниками, необходима дополнительная информация.

Напомним, что при работах на море такая дополнительная информация получается путем регистрации нескольких взрывов при обратном прохождении профиля. В канадских экспериментах взрывы, произведенные в море, отстояли от сейсмографов и от Рипл-Рок приблизительно на равные расстояния, так что они давали сведения для оценки разницы в толщине пород в этих двух точках. Эти данные вместе с суммой мощностей, определенной по

главному взрыву, дают возможность устранить всякую неопределенность и вычислить конкретные глубины.

Следует сделать лишь одну оговорку о применении этого метода. Вспомогательные морские взрывы нужно было производить на достаточном удалении, чтобы быть уверенным в том, что горизонтальная часть пути волн, регистрируемых сейсмографом у Рипл-Рок, лежала в слое 8,1 км/сек, а не в покрывающих его слоях коры. Чтобы определить минимальное расстояние, необходимое для обеспечения этого условия, проводились предварительные эксперименты.

Целая серия исследований была проведена для изучения корней другой крупной горной цепи. В 1958 г. французская армия произвела в Альпах серию больших взрывов, которые регистрировались отрядами наблюдателей из пяти различных европейских стран. Для организации и проведения крупных взрывов требуются большие усилия и огромные затраты. Поэтому на исследуемой площади было собрано столько ведущих регистрацию отрядов, сколько возможно, чтобы данные по каждому взрыву можно было использовать в полную меру.

Различные партии вели наблюдения вдоль трех главных линий. Эти линии шли от пункта взрыва в небольшом озере Негр вблизи франко-итальянской границы, примерно в 30 милях прямо на север от Ниццы, через Францию и Италию в Швейцарию. Было произведено восемь взрывов бризантной взрывчатки от 100 кг до 20 тонн. Хорошие записи от самого сильного взрыва получились на расстоянии 185 миль, в Гадмене, недалеко от перевала Зустен в швейцарском Оберланде.

Хорошую слышимость на таком огромном расстоянии для сравнительно небольшого заряда нельзя приписать чрезвычайно спокойным фоновым условиям, существующим в горах, так как громоздкость регистрирующей аппаратуры заставляла работать довольно близко от дороги. Более того, взрывы производились почти в середине дня, когда по дороге шло оживленное движение. Ближайший транспорт, конечно, останавливали на время эксперимента, но все равно оставался шум, связанный с человеческой деятельностью в радиусе одной-двух миль. Хорошее качество записей, несомненно, частично было обязано тому, что взрывы производились под водой, а не в горных породах. Это хорошо согласуется с наблюдениями на

море. Правда, озеро было недостаточно глубоким, чтобы помешать выбросу огромного столба воды в воздух, и результаты получились бы, безусловно, еще лучше, если бы озеро было глубже и энергия взрыва не расходовалась зря на выбрасывание воды. Но даже и не очень глубокое озеро использовать гораздо лучше, чем копать или бурить скважины в породах для помещения больших зарядов.

Другой причиной того, что сейсмические волны ясно наблюдались на большом расстоянии, было, очевидно, хорошее прохождение волн в плотных кристаллических породах, из которых сложены Альпы. Точки наблюдения располагались по возможности там, где центральное ядро твердых коренных пород Альп выходит на поверхность, а не там, где в результате эрозии, денудации и переотложения коренные горные породы покрыты гетерогенным материалом.

Кроме соображений о лучших условиях прохождения волны, всегда желательно располагать сейсмограф на поверхности коренных пород еще и потому, что если скорость волн в толще пород между сейсмографом и залегающим на глубине слоем  $8,1 \text{ км/сек}$  сильно изменяется, то на результаты расчетов при определении глубины Мохо могут оказать влияние неучитываемые ошибки.

В альпийских экспериментах было произведено несколько взрывов в озере. Некоторые наблюдательные отряды проводили измерения вблизи пункта взрыва с приборами, специально предназначенными для обнаружения отраженных волн. Большинство же направило свои усилия на получение непрерывного ряда записей преломленных волн. По мере увеличения силы взрывов эти последние отряды передвигались на все большие расстояния.

Аналогичные эксперименты были проведены в СССР в Уральских горах. Здесь также использовалась хорошая передача сейсмических волн от подводных взрывов. Экспедиция в Анды обнаружила, что ее работы облегчаются чрезвычайно слабым фоном шумов и что благодаря этому сейсмические волны, которые в обычном случае были бы неизбежно осложнены этими мешающими колебаниями, легко удавалось выделить.

Наиболее спокойный фон, наблюдавшийся в Англии, соответствует смещению грунта приблизительно в одну стомиллионную дюйма. Чтобы достичь такого спокойного



уровня, нужно находиться более чем в пяти милях от любого места человеческой деятельности. Это не так-то легко осуществить в густо населенных европейских странах. Но даже и в местах, удаленных от человека, самый низкий уровень помех достигается, как правило, только ночью, когда спокойна атмосфера.

В Андах этот уровень оказался равным одной десятой нормального самого спокойного уровня, т. е. одной миллиардной дюйма. Хотя в Альпах в дневное время фон шумов был гораздо сильнее, приборы в Андах должны были быть весьма чувствительными, так как полезные звуковые импульсы, вступающие в виде преломленных волн, смещали почву лишь на одну миллионную дюйма.

Сейсмографы — или геофоны, как их обычно называют, когда они применяются для полевых работ, обычно связанных с нефтяной разведкой, — содержат индуктивную катушку, которая перемещается относительно магнита. Катушка и магнит соединяются посредством пружин. Жесткость последних определяется частотным диапазоном, в котором прибору предстоит работать, а также массой подвижного элемента, которым может быть или катушка, или магнит.

Электрическая схема сейсмографов аналогична схеме радиорепродуктора. Даже очень слабые электрические сигналы, вызываемые сейсмическими волнами, принимаемыми на больших расстояниях, можно усилить настолько, чтобы записать их на полосе движущейся фотобумаги.

Одно из современных усовершенствований состоит в записи сигналов геофона на магнитную ленту. Преимущество записи на магнитной ленте заключается в том, что запись может быть впоследствии воспроизведена в лаборатории и с помощью специальных фильтров можно устранить влияние нежелательных помех и выделить более четко полезные волны, точно так же, как в радиоприемнике можно улучшить звучание голоса певца, поющего басом, путем настройки регулятора тембра.

Самыми сильными искусственными землетрясениями, зарегистрированными сейсмологами, являются, конечно, взрывы атомных и водородных бомб. Атомные бомбы, как установлено, эквивалентны примерно 10—20 тыс. тонн бризантного взрывчатого вещества, а водородные бомбы — около 1 млн. тонн. Поэтому можно ожидать, что от взрыва этих бомб будут распространяться сейсмические вол-

ны, которые можно распознать на общем фоне помех на расстояниях не только сотен, но и тысяч миль.

Очень жаль, что американцы сообщали о предстоящих ядерных взрывах только своим (по-видимому, в целях соблюдения военной тайны) сейсмологам. Но все-таки некоторая польза от этих взрывов, несомненно, была, и полученные результаты когда-нибудь будут доступны всем. Однако ничто уже не вернет сейсмологам других стран утраченной ими возможности регистрировать взрывы на больших расстояниях, если бы время и место испытаний были объявлены заранее.

Имеются сведения о том, что взрыв водородных бомб может быть обнаружен почти на противоположной стороне земного шара. Такие длинные пути пробега сейсмических волн интересны тем, что связаны с проникновением в недра Земли даже глубже границы Мохо, которой главным образом посвящена настоящая глава. В частности они могут быть полезны при изучении жидкого ядра Земли. Последнее представляет собой внутреннюю сферу радиуса примерно 3100 км, которая в свою очередь окружена мантией и тонкой кожицей земной коры.

Измерения сейсмических волн от землетрясений показали, что ядро находится в жидком состоянии, но остаются еще сомнения относительно возможности существования твердой части внутри этого жидкого ядра. Чтобы разрешить этот вопрос и лучше узнать свойства мантии и жидкого внешнего ядра, необходимы более точные наблюдения удаленных сейсмических волн, чем те, которые возможны при землетрясениях.

Во-первых, при вычислении времен пробега мы делаем ошибку из-за неточности определения времени и положения очага землетрясения. Это и явилось главной причиной того, что для уточнения информации о поверхности Мохо стали использовать искусственные взрывы. Кроме того, как мы видели в гл. II, общая картина строения земных недр определяется совместным анализом эффектов, производимых слоями с различными скоростями.

Тут уже необходима специально разработанная программа экспериментов, причем эпицентры и точки наблюдений должны располагаться на критических расстояниях, чтобы мы сумели сделать правильный выбор из различных возможностей, предсказываемых теорией, и именно здесь действительно полезную роль могут сыграть водородные

бомбы. Есть еще одно, более важное преимущество планируемых экспериментальных сейсмических наблюдений: регистрирующие станции можно заранее приводить в состояние готовности и принимать специальные меры, чтобы получать исключительно точные записи.

Испытания четырех бомб на атолле Бикини породили сейсмические волны, которые регистрировались даже в Греции и Австралии, и они рассматривались как землетрясения, так как никаких объявлений о взрывах не было сделано. Проводя обратные вычисления обычным способом, определили приближенное время начала каждого из этих четырех взрывов: нашли, что каждая из четырех бомб была взорвана в моменты начала круглой минуты с отклонением лишь в несколько секунд. Буллен сделал забавное предположение, что все четыре бомбы наверняка были взорваны в моменты начала минут, так как это производилось армией, а военные любят в таких делах аккуратность.

С этим допущением было найдено точное время моментов взрыва. Место взрывов было известно по опубликованным материалам, и таким образом была получена новая группа ценных данных. Эти данные, очевидно, когда-нибудь будут подтверждены официально. Но и их уже достаточно, чтобы показать, насколько могут быть полезны управляемые взрывы.

Было предложено включить некоторые специальные атомные взрывы в программу Международного геофизического года. Но исследователи ионосферы боялись, что это внесет дополнительные помехи в область их наблюдений. Некоторые интересные результаты были получены при английских экспериментах в Австралии и при взрыве небольшой атомной бомбы в горах Невады. Однако все это позволило получить новые данные лишь о земной коре. Чтобы получить информацию о внутреннем строении ядра, необходимо произвести взрыв водородной бомбы, и притом глубоко под землей или под водой.

Нет никакой опасности, что взрывы водородных бомб для сейсмических целей могут оказать какое-нибудь катастрофическое, например, раскалывающее действие на Землю. Природа производит гораздо более сильные взрывы, чем когда-либо пытался человек.

Огромное землетрясение при извержении Кракатау, например, было эквивалентно взрыву приблизительно

50 млн. тонн бризантной взрывчатки. Взрыв произошел потому, что извержение вулкана, которое обычно действует как предохранительный клапан, выпускающий из недр Земли избыточное давление расплавленной лавы, было как бы запечатано быстрым охлаждающим влиянием моря.

Давление внутри возрастало до тех пор, пока, образно говоря, котел не взорвался. На морском дне образовался кратер более трех миль в поперечнике, а приливная волна, высота которой оценивалась в сто футов, обрушилась на ближайшие берега Явы и Суматры.

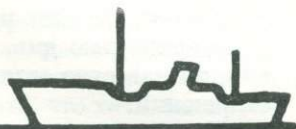
Как размеры кратера, так и приливная волна позволяют оценить величину взрыва в эквивалентной величине заряда взрывчатки, так как и то и другое, как показали наблюдения, связано функциональной зависимостью с линейными размерами заряда. Хотя взрыв Кракатау повлиял на цвет закатного неба во всем мире из-за пыли, выброшенной высоко в атмосферу, и вызвал образование приливных волн, которые были отмечены по всему земному шару (когда эта волна обрушилась на берег Цейлона, ею была потоплена одна женщина), никаких признаков разрушения самой Земли все же не было. Можно возражать против использования водородных бомб для сейсмических целей по другим причинам, но в этом именно смысле никакой опасности нет.

Даже если сейсмические эксперименты никогда не проводятся с целью проникнуть в глубины земного ядра, они дают достаточно данных для выяснения строения внешних слоев Земли. Они являются как бы мостиком, соединяющим информацию, которую нам дают землетрясения и которую можно получить по геологическому изучению земной поверхности.

Земля имеет жидкое ядро, окруженное мантией твердых горных пород мощностью приблизительно 2900 км. С внешней стороны мантии находится кора, которая характеризуется сейсмической скоростью 6,7 км/сек. В районе континентов толщина коры в три раза больше нормальной. Нормальная толщина наблюдается в океанах, занимающих свыше двух третей земной поверхности. Раздел Мохоровичича, который является границей между породами коры и мантией, «продавлен» под континентами в соответствии с добавочной толщиной пород, слагающих континенты.

Континенты представляют собой массы более легких пород, плавающих на материале мантии. В прошедшие геологические эпохи континенты, несомненно, испытывали вертикальные движения. Об этом свидетельствует присутствие на континентах многих типов осадочных пород, которые не могли отложиться ни в каких иных условиях, кроме условий мелководного моря.

По-видимому, океаны в общем никогда не подымались вверх настолько, чтобы стать сушей, и их геологическое строение отлично от строения континентов и гораздо менее сложно. Дальнейшие свидетельства постоянства океанов можно найти, изучая осадки, покрывающие морское дно.



## V. Измерение больших глубин

И я увидел новое небо и новую землю... и не было больше моря.

*Откровения, XXI, 1*

Словно могучий повелитель, возвышается Эверест над величественными пиками, образующими самый высокий горный хребет на Земле. Но в Тихом океане есть такая большая глубина, куда мог бы погрузиться весь Эверест и над ним осталось бы еще более полумили воды. Дно океана вовсе не представляет собой обширную и ровную поверхность, как может показаться на первый взгляд, если посмотреть на однообразные синие пространства, обозначающие моря в атласе и на глобусе. Под водой скрыто множество интересных форм, как знакомых нам, так и специфических, свойственных лишь подводному миру. Как карта рельефа суши является необходимым помощником при изучении геологии материков, так и знание подводного рельефа существенно важно при изучении геологического строения дна океана.

Прежде чем продолжать описание осадков и других горных пород, покрывающих первородное дно океана, посмотрим, что может нам дать карта рельефа океанского дна. Мы увидим позднее, что сейсмические измерения дают сравнительно мало сведений о донных осадках. Сейсмические волны позволяют получить профиль подошвы осадочного слоя, одновременно являющейся кровлей слоя

6,7 км/сек. Осадки располагаются между слоем 6,7 км/сек и поверхностью дна, так что если мы знаем глубину океана, то известна, следовательно, верхняя граница донных отложений.

Поверхность океана является удобной и ровной базисной линией, и поэтому для получения профиля океанического дна вполне достаточно измерять глубины под кораблем. Местоположение корабля определяется обычными навигационными методами: по Солнцу и звездам и по известной скорости движения в направлении, указываемом компасом. Абсолютное положение каждой точки, в которой измеряется глубина в открытом океане, не может быть установлено с точностью более нескольких миль, но относительные положения измеренных глубин в пределах ограниченной области обычно определяются без больших ошибок. Поэтому формы подводного рельефа обнаруживаются и в том случае, если их абсолютное местоположение определено не совсем точно. Измерения глубин с помощью эхолота, который может работать во время движения корабля, поступают непрерывно, а не так, как при сейсмических экспериментах. Достоинство эхолота еще и в том, что он может работать даже в очень плохую погоду, которая мешает проведению многих других океанографических исследований. Скучные дни ожидания хорошей погоды скрашиваются, если есть возможность хоть следить за тем, как меняется глубина океана. В пасмурную погоду, когда жалобно воеет ветер и море, насколько видит глаз, покрыто белыми барашками, наблюдатель, сидящий у эхолота, может видеть, как из-под пера эхолота-самописца медленно обозначаются на ленте пологие подводные возвышенности или крутые склоны гор. И в такие минуты он благодарит природу за то, что она не решилась сделать дно океана мертвым и ровным.

Насколько мы знаем, дно Тихого океана с каждым годом становится все более неровным. Это вовсе не говорит о каком-то непостоянстве природы, а связано просто с исключительно быстрым развитием работ по измерению больших глубин. Теперь уже каждая океанографическая экспедиция ведет непрерывные измерения глубин во время переходов между станциями, на которых проводятся какие-либо длительные наблюдения. И при этом курс корабля прокладывается по возможности с таким расчетом, чтобы пройти через области океана, которые еще не

изучены и не нанесены на карту. Сделать это не так уж трудно, поскольку всего лишь около десяти процентов площади Тихого океана изучено достаточно подробно, и только там можно уверенно утверждать, что хотя бы крупные формы подводного рельефа не пропущены предшествующими исследователями. Как показал опыт «Челленджера», до сих пор можно во время каждого плавания открывать крупную подводную гору.

Недавно была сделана попытка оценить общее количество островов и атоллов, как находящихся выше уровня океана (их, конечно, легко сосчитать), так и тех, которые по тем или иным причинам скрыты под водой и могут быть обнаружены только эхолотом. В Тихом океане, по видимому, существует от пяти до десяти тысяч подобных гор, что соответствует примерно одной такой форме на квадрат поверхности со стороной в сто миль. До настоящего времени открыто только восемьсот подводных гор, но их общее количество можно подсчитать, если допустить, что концентрация островов и подобных им подводных структур на 90% неисследованной площади океана такая же, как и на 10% уже картированной площади. Подтверждает такие расчеты и результат, полученный при сравнении общего протяжения всех плаваний, во время которых измерялись глубины со средним количеством наблюдавшихся подводных форм на тысячу миль. Это же можно получить и третьим способом, если экстраполировать на весь Тихий океан результаты исследований в хорошо изученных областях. Возможно, все эти цифры несколько завышены, поскольку острова часто образуют линию, подобно цепи Гавайских островов, а это может привести к ошибочной оценке концентрации подводных гор в других частях океана.

Есть, в сущности, только один вполне надежный путь обнаружить все подводные формы рельефа дна в Тихом океане — составить подробную карту дна, что и является первоочередной задачей океанографов. Это, разумеется, довольно медленное дело, так как по-настоящему достоверные результаты поступают только от исследовательских экспедиций, а также гидрографических и специальных судов, прокладывающих кабели. Пассажирские и торговые суда, плавающие в океане, обычно снабжены эхолотами, позволяющими измерять глубины не более нескольких сот метров, и этого вполне достаточно, чтобы



обеспечить безопасность плавания, избежать подводных скал, песчаных отмелей и затонувших кораблей. Именно поэтому деятельность гидрографических ведомств, занимающихся составлением карт, сосредоточивается в основном в прибрежных мелководных областях. В связи с этим большой интерес представляют работы по прокладке кабелей по дну океана и научные исследования на обширных пространствах океана с глубиной в несколько тысяч метров. Работы Хесса в годы войны показали, как много могут сделать даже обычные корабли, не имеющие специального оборудования; отсюда ясно видно также, что исследования в океане являются интересной областью для энтузиаста-любителя. Точно так же, как птицеловы, собиратели диких растений и радиолюбители помогают развитию соответствующих наук, занимаясь своим любимым делом, так и мореплаватели-энтузиасты могут доставлять массу новых ценных сведений о дне океана. В этом отношении необходима помощь со стороны владельцев кораблей, которые должны понимать, что затраты на приобретение и установку глубоководных эхолотов вполне окупаются, поскольку развитие наших знаний об океане в свое время даст определенную экономическую выгоду. Это особенно верно для нефтяных компаний, которые интересуются не только океанами, по которым плавают их танкеры, но и геологией дна, имеющей непосредственное отношение к добыче нефти.

Меньше ста лет назад каждое измерение большой глубины в океане считалось сложным делом. Лейтенант Спрай описал, как это происходило на борту «Челленджера» во время его кругосветного плавания в XIX в.:

«Трос, употреблявшийся для измерения глубин, имел окружность в один дюйм... метки на тросе нанесены через каждые 25 саженей... Перед началом измерений к тросу подвешивались тяжелый груз, батометр и термометры, а затем трос вытравливали с промерного мостика. Сначала лебедке давали ход, стравливая около 500 саженей троса, а после этого ставили ее на свободный ход, так что трос стравливался своим весом. При прохождении каждых 100 саженей троса отмечалось точное время, которое записывали в специальный журнал.

Продолжительность этих промежутков постепенно увеличивалась, по мере того как все больше троса уходило в воду, поскольку вес груза и троса должен был преодо-

левать сопротивление троса в воде, увеличивавшееся с ростом вытравленного троса. Увеличение интервалов времени прохождения 100-саженных меток шло пропорционально, и было замечено, что когда интервал доходил до четырех минут, груз обычно достигал дна на глубине от 2000 до 3000 саженей».

Затем трос, разумеется, выбирался на борт. Вся процедура в целом занимала несколько часов. А теперь эхолот может произвести измерение глубины за те несколько секунд, которые требуются звуковой волне, чтобы пройти от корабля до дна океана и обратно. Скорость звука в воде равна примерно одной миле в секунду, и поэтому на измерение средней глубины океана затрачивается лишь около шести секунд. Дело не только в том, что измерять глубины эхолотом гораздо легче, чем тросом с подвешенным к нему грузом. Новая техника позволяет получить непрерывный профиль дна, а не несколько отдельных измерений. Причем нет необходимости ожидать возвращения посланной звуковой волны, чтобы только после этого посылать следующий звуковой сигнал. Звуковые импульсы посылаются передатчиком эхолота 1—2 раза в секунду, и поэтому в воде находятся одновременно несколько звуковых волн — одни направляются ко дну, а другие уже возвращаются к кораблю.

Главной частью эхолота является источник звуковых сигналов, укрепленный в днище корпуса корабля. В ранних моделях для этой цели использовался металлический молоток, который ударял по диафрагме, вызывая импульсы звуковых колебаний, распространявшихся в воде и возвращавшихся обратно после отражения от поверхности дна океана. Современные эхолоты передают импульсы звуковых колебаний высокой частоты, излучаемые с помощью вибратора, возбуждаемого электрическим способом. В момент посылки звукового сигнала перо самописца делает на движущейся бумажной ленте нулевую отметку. При возвращении звукового импульса, отраженного дном, к приемнику, он усиливается и подается на перо в виде электрического импульса, при этом перо снова делает отметку на ленте. Перо передвигается по ленте с постоянной скоростью, и, следовательно, расстояние между двумя отметками пропорционально времени, необходимому для того, чтобы звук, выйдя из передатчика, дошел до дна океана и вернулся к приемнику. На больших глубинах

звуковая волна до дна и обратно идет дольше, чем на малых, и расстояние между отметками на ленте больше. Если же корабль проплывает над подводной горой, то звуковой сигнал возвращается быстрее, и промежутки между отметками на ленте соответственно уменьшаются. По мере движения корабля на бумажной ленте прибора — эхограмме — вырисовывается профиль дна океана.

Эхолот на «Челленджере» действовал непрерывно на всем его пути не только потому, что корабль был специально приспособлен для океанографических исследований, но и потому, что он входил в состав регулярного флота Гидрографической службы Адмиралтейства. Эта служба, пожалуй, самая скромная часть традиционно скромной работы самого Адмиралтейства, и лишь немногие понимают, какую огромную работу выполняют гидрографические суда, число которых составляет лишь незначительную часть всех боевых сил флота. Морьяк-гидрограф прежде всего должен выполнять работы, которые требуются для Британского военного флота, но он должен также заботиться и о безопасности торговых судов. Кроме составления и издания адмиралтейских карт, используемых во всем мире, Гидрографическая служба публикует также лоции, адмиралтейские описания огней (световых навигационных сигналов) и радиосигналов и вычисляет ежегодные таблицы приливов. Эта информация обеспечивает кораблям безопасный вход в гавани и, поскольку все время строятся новые порты, эта работа постоянно расширяется. В некоторых местах, как, например, в эстуарии Темзы и на отмели Гудвин-Сендс, перемещение песчаных или илистых мелей реками или приливами требует обязательной ежегодной проверки фарватера. Нефтяные компании, которые ведут теперь поиски нефти в открытом море, не могут обойтись без карт, составленных гидрографами, в таких местах, как Персидский залив; без них нельзя ни вести разведку нефти, ни строить гавани и причалы для погрузки. Гидрографическая служба — один из лучших примеров экономического использования военного флота в мирное время, а для океанографических исследований ее помощь безусловно неопределима.

На небольших глубинах эхолот рисует очень точный профиль дна, но в глубоком океане неизбежна некоторая нечеткость получаемой картины. В какой-то мере звуко-

вые волны расходятся пучками, и в связи с этим, чтобы получить по возможности узкий, направленный пучок излучения, в современном оборудовании используются звуки такой высокой частоты, что почти не воспринимаются человеческим ухом. Однако даже с самой лучшей аппаратурой звуковые волны излучаются в виде пучка лучей и падают на поверхность дна океана в пределах окружности, имеющей почти милю в поперечнике. При этом отраженный сигнал, принимаемый на корабле, может быть получен от любой точки дна, попадающей в пределы конуса излучения. В большинстве случаев первым достигает приемника звуковой сигнал, отраженный поверхностью дна непосредственно под кораблем, поскольку он проходит самый короткий путь. Но если дно океана неровное, то возможно, что сначала будет принято эхо, отразившееся от возвышенностей, лежащих несколько в стороне от курса корабля. Это в частности бывает, если рельеф дна характеризуется крутыми склонами. Вообще из-за возможности приема сигналов, отраженных склонами, у эхолота есть тенденция сглаживать неровности дна, когда они вырисовываются пером самописца на эхограмме. Во многих случаях на эхограмме получается очень сложная картина перекрещивающихся линий отраженных сигналов, поскольку эхо отражается одновременно несколькими точками расчлененной поверхности дна. Это, разумеется, дает нам представление о существующих неровностях дна океана, но не позволяет точно установить их истинную форму. Подобно тому как мы не можем разглядеть расщелины и трещины на склонах горы, едва видимой на горизонте, совершенно так же и для эхолота скрыты мелкие детали подводного рельефа.

Чтобы получить верную картину подводного рельефа и установить, в какой мере подводный пейзаж отличается от того, что мы видим на суше, необходимо приблизиться ко дну океана. Для этого сейчас разрабатывается несколько способов. Одним из самых очевидных путей решения этой проблемы является фотографирование дна океана.

Много прекрасных и полезных снимков получено с помощью фотокамер, которые помещались в герметизированные контейнеры и опускались вместе с источниками света в темные глубины на несколько миль от поверхности океана. На этих снимках можно видеть следы ряби на

песке, свидетельствующие о том, что и на больших глубинах существует движение воды, можно заметить ходы роющих морских животных, чудесные листья растений, отдельные скалы и гальку. На многих снимках видно только ровное плоское дно океана и ничего больше. Вообще, если бы мы захотели исследовать значительные пространства дна, то сделать это с помощью фотокамеры было бы трудно, так как объектив ее захватывает очень небольшую площадь. И это одна из причин появления нового специального глубоководного океанографического аппарата — батискафа.

Батискаф — это небольшой корабль, напоминающий подводную лодку. Он позволяет наблюдателю опуститься на дно и медленно передвигаться по нему. При этом можно видеть все вокруг батискафа, а не только ограниченный участок, вырванный из окружающей среды случайным фотоснимком; кроме того, наблюдатель может передвигаться к интересующим его предметам, чтобы получше разглядеть их. Несомненно батискаф должен дать массу новых сведений и разрешит уточнить все неясные представления и догадки, основывающиеся на использовании методов, не дающих возможности непосредственного зрительного контроля. Например, одной из трудностей сбора образцов со дна океана является то обстоятельство, что никогда нельзя быть уверенным, насколько они типичны для той обстановки, которая выявляется эхолотом. А в батискафе наблюдатель может выбирать места для отбора образцов, наиболее характерных для различных структур дна, наблюдаемых им. Наблюдатель может видеть подводные холмы и горы, отмечая, есть ли на их склонах рытвины или валуны, как это бывает в аналогичных формах на суше, или же они действительно выровнены, как это можно предположить по их сглаженному профилю, вычерчиваемому эхолотом.

Быть может, мы получим более детальные сведения, если опустим передатчик и приемник эхолота ближе ко дну океана, чтобы эхолот мог обнаруживать подробности структур с такой же точностью, с какой он определяет сейчас очертания кораблей, потерпевших крушения на небольших глубинах. Можно, конечно, поместить эхолот в батискаф, но для многих целей гораздо проще и удобнее буксировать вибраторы эхолота, подвешенные под обычным кораблем.

На небольших глубинах хорошо показал себя эхолот, действующий в горизонтальной плоскости и отмечающий предметы в том направлении, куда направлены излучаемые им сигналы. Ширина пучка звуковых волн у такого эхолота в горизонтальной плоскости очень ограничена, но довольно значительна в вертикальной плоскости. При движении звукового луча в горизонтальной плоскости получается эффект, который может быть назван акустическим освещением; при этом просматривается довольно большое пространство дна. Отметки звуковых сигналов на ленте такого эхолота создают в совокупности картину той части дна, которая была «освещена» движущимся пучком волн, излучаемых вибратором прибора. По мере движения корабля мы получаем картину обширной области морского дна. Полученные таким эхолотом записи отраженных волн зависят от материала, слагающего дно, и от наклона поверхности дна. При неровном дне океана склоны, обращенные к эхолоту, будут давать сильное эхо, тогда как противоположные склоны окажутся в звуковой тени. На ленте прибора получится характерный рисунок черных и белых полос. Если среди рыхлых илов встречаются выступы твердых пород, они будут обрисованы очень резко, так как звуковые волны отражаются от них лучше, чем от илов. Такой прибор использовался пока еще только на небольших глубинах, но нет никаких причин, которые мешали бы опустить его в глубину на батискафе или на конце длинного троса.

Средняя глубина океанов около 14 тысяч футов (2300 саженей), но при ее вычислении учитывались все мелководные области вокруг океанических островов, а также все подводные поднятия и хребты, обнаруженные современными эхолотными исследованиями. Наряду с этим имеется много котловин с глубиной 2800—3000 саженей (17—18 тысяч футов) — вот они-то и могут считаться истинным дном океанов. Существуют и более глубокие впадины (их геологическое строение еще не выяснено), но вместе с подводными горными пиками и хребтами, поднимающимися на дне океана, о которых известно уже довольно много, все эти формы подводного рельефа представляют вторичные образования на фоне основных структур слоев земной коры под океанами.

Дно океанических котловин исключительно ровное. Когда корабль проходит над ними, наблюдатель у эхолота

в течение нескольких часов обычно не видит никаких изменений профиля дна, вычерчиваемого на эхограмме. Недавно были созданы новые прецизионные эхолоты. Полученные с их помощью записи профиля дна котловин в Атлантическом океане показали, что глубина впадин на протяжении нескольких миль остается постоянной в пределах до одной сажени. Чтобы показать рельеф поверхности дна таких котловин, лежащих на глубине до 3000 саженей, приходится проводить изобаты с интервалом всего лишь в одну сажень. При этом оказывается, что дно котловин полого наклонено от краев к центру.

Однако ровное дно этих котловин все же не является первичным дном океана, поскольку взятые с них образцы представлены рыхлыми осадками. Кроме того, ровная часть дна котловин обычно бывает ограничена узкой полосой неровного дна, причем место их соединения отмечается резким изменением наклона дна. (Эти резкие границы оказываются очень характерной особенностью подводного рельефа, и поэтому они были использованы в одном исключительно изящном эксперименте, о котором мы расскажем несколько позднее.) Судя по сейсмическим данным, толщина осадочного слоя в пределах таких ровных пространств подвержена значительным колебаниям, и в свете этого становится понятно, что эти равнины соответствуют поверхности мощного осадочного покрова, выравнивающего первичные неровности океанического ложа. Конечно, могут быть такие места, где и первичное дно было ровным, и тогда покров рыхлых осадков просто повторяет его форму, но чаще толща осадков на дне океанских котловин лежит на неровностях первичного рельефа, захороняя пики и долины коренных пород.

Тщательное измерение глубин по периферии таких плоских равнин и детальное исследование прилегающих частей океанических впадин доказывают, что, без сомнения, эти равнины образованы потоками осадочного материала, стекавшего вниз по склону от мелководных мест к большим глубинам. Если смежные равнины находятся на разных уровнях, то детальное исследование всегда позволяет обнаружить место стока, где подпруженные потоки суспензии переливались из верхней котловины вниз, заполняя дно нижней котловины. Когда измерение больших океанских глубин только начиналось, предполагали, что все эти котловины представляют собой участки пер-

вичного дна океана, и только развитие методов точного измерения глубин позволило установить ступенчатый характер этих странных плоских равнин на дне океана.

Уже создан новый прибор для измерения глубин, который покажет нам рельеф поверхности коренных пород, покрытых осадочным слоем. Мощные эхолоты, работающие на низких частотах, уже позволяют проникать на несколько сот футов в рыхлые отложения и выяснять степень заиления портов или рельеф коренных пород дна океана, покрытых мягкими илами. Такие эхолоты были использованы, чтобы помочь инженерам в проектировании новых волнорезов при углублении фарватера и для выяснения трудностей, которые могли бы встретиться при строительстве туннеля под Ла-Маншем. Мощные эхолоты для звукового зондирования рыхлых осадков на больших глубинах могли бы показать первоначальную форму дна океана, до того как она была сглажена покровом ила, постепенно приносившегося с мелководий в глубокие части океана. Такой прибор мог бы быть установлен на батискафе, или же его можно буксировать на глубине за кораблем на тросе. Он почти наверняка покажет, что дно океана, сложенное твердыми породами, имеет очень расчлененную поверхность с такими же неровностями, какие видны на поверхности континентов, с отдельными вулканами и рифтовыми долинами — следами деятельности процессов внутреннего развития Земли в течение сотен миллионов лет. Но есть одна вещь, которая отличает морфологию дна океана от морфологии суши и которую можно обнаружить тщательным измерением глубин и зондированием осадочной толщи. Процессы эрозии, обусловленные на материках действием атмосферных осадков, мороза и мощным выпахиванием медленнодвигающимися ледниками, не проявляются на дне океана, где формы, созданные внутренними силами Земли, не были изменены последующей медленной денудацией.

В Тихом океане есть несколько областей выровненного дна, которые отличаются от аккумулятивных равнин на дне котловин, заполненных осадками. При тщательном исследовании можно установить, что центром каждой из них, как правило, является остров или аналогичная подводная форма. Эти равнины были названы островными шлейфами, поскольку они, по-видимому, являются результатом вулканических извержений, разливших шлейфооб-



разные покровы лавы вокруг центрального источника. В некоторых местах лава, очевидно, изливалась из длинной трещины на дне океана, а не из вулканического конуса, но результат получался тот же, только нарушалась симметрия пологих склонов. Можно, конечно, допустить, что такие выровненные поверхности образованы пеплом, выбрасываемым в громадном количестве при извержении вулкана. Но вычисления показывают несостоятельность такого предположения, так как количество пепла не соответствует тому, которое необходимо для формирования большой площади островных шлейфов.

В Индийском океане «Челленджер», направляясь к северо-востоку, в Коломбо, шел над подводной равниной на протяжении 600 миль. В течение нескольких дней эхолот записывал однообразную прямую линию профиля дна, нарушенную одним-единственным небольшим всплеском, указывающим на изолированный пик, поднимавшийся на несколько сот футов над дном океана. На протяжении этих 600 миль глубина постепенно уменьшалась от 2600 до 2200 саженей, свидетельствуя о пологом уклоне 1 : 1500. Возможно, здесь мы имеем дело с огромным потоком лавы, разлившимся к югу от Индии. Плоскогорье Декан в Южной Индии покрыто громадными потоками лавы, и пока дальнейшие исследования не привели к другим выводам, мы вполне можем считать, что дно океана также покрывалось лавой. Ровный рельеф Индийского океана к югу от Цейлона отмечал Петтерсон, и когда экспедиция на «Альбатросе» пересекала эту область, был подмечен один признак, подтверждающий теорию лавового потока. Несколько раз при попытке взять образцы со дна океана грунтовая трубка возвращалась с поврежденным наконечником и согнутая, словно она ударялась о твердую скалу.

Вулканическая деятельность, безусловно, является мощной силой, изменяющей облик земной поверхности. В Тихом океане сотни островов и атоллов образованы продуктами извержений, которые начинались на дне океана и постепенно нагромождали твердый материал. На Гавайских островах большой пик Мауна Лоа возвышается на 14 тысяч футов над уровнем моря, а его подводный цоколь подымается над ложем океана еще на две мили. Если бы океан отступил, то вид Мауна Лоа мог бы соперничать с любой японской гравюрой, изображающей

великолепные симметричные вулканические пики. Изящно вогнутые склоны подводных вулканов поднимаются над ровным ложем океана, и ничто не нарушает их поверхности — ни реки, ни ледники. Вершины некоторых из них были бы увенчаны, словно короной, правильным кольцом коралловых рифов, и многие из них при этом имели бы одинаковую высоту, так как они представляют собой атоллы, поднимающиеся лишь на несколько футов над поверхностью воды. Часто встречались бы и менее высокие пики с плоскими вершинами, и все это выглядело бы так, словно какой-то забавляющийся великан подрезал вулканические пики, чтобы сделать себе из них столы и табуретки. Вперемежку с ними поднимались бы правильные конусы разных размеров и возрастов, иногда дымящиеся и свидетельствующие о том, что создавшие их силы природы еще продолжают свою работу. В течение многих лет эти великолепные вулканические образования Тихого океана, в особенности усеченные конусы, необычные для суши, вызывали дискуссию, но теперь осуществление комплекса сейсмических и эхолотных исследований помогло разгадать их тайну и объяснить их природу.

Рельеф дна океана представлен, однако, не только отдельными или объединенными в группы горными пиками, поднимающимися над плоским дном океана. Поверхность океанического ложа смята в гигантские складки теми же силами сжатия, которые вызывают образование горных хребтов на континентах. Иногда такие подводные складки настолько велики, что их можно считать горными хребтами. В Тихом океане вулканические острова часто располагаются правильными рядами и, как показывает карта, они развиваются на пологом поднятии высотой в несколько тысяч футов над нормальным уровнем ложа океана. По самой середине Атлантического океана, от Исландии на севере и почти до широты Кейптауна в южном полушарии, располагается одно из самых грандиозных образований рельефа Земли — Средне-Атлантический хребет, который проходит между Европой и Африкой, с одной стороны, и Северной и Южной Америками — с другой. Он выглядит так, словно кто-то попытался возвести стену между двумя большими массивами суши, но не завершил свою работу, поскольку до поверхности океана почти повсюду остался слой воды около 1500 саженей. И все же высота этого гигантского горного хребта над дном океана

почти на всем его протяжении достигает десяти тысяч футов. Во многих местах хребет увенчан вулканическими островами (например, Азорскими) или банками, как одинокие скалы Св. Павла вблизи экватора, но все это, очевидно, уже вторичные образования. Важной особенностью Средне-Атлантического хребта является его расположение вдоль медианной линии между массивами суши с обеих сторон Атлантического океана. Возможно, это обусловлено симметричным взаимодействием неизвестных нам до сих пор сил, которые изгибают земную кору, образуя горы. Вместе с тем это может быть и остаточным следствием раздвигания масс суши к востоку и западу.

Большие хребты на дне океанов образуются при горизонтальном смятии земной коры, но кроме того обнаружены столь же очевидные признаки ее растягивания. Примерно в средней части Средне-Атлантического хребта наблюдается долина с параллельными склонами, напоминающая разлом на дне океана. Подобные долины, называемые рифтовыми, известны в Африке, и Красное море, по сути дела, образовалось в виде рифта при отделении Аравии от Египта в результате растягивания земной коры. Детальные работы, выполняемые эхолотами, показывают, что такой тип разломов земной коры сравнительно часто встречается также в Тихом и Индийском океанах, и, вероятно, именно в океанах выяснится значение рифтовых долин в структурной истории Земли, поскольку их признаки не были нарушены там действием выветривания и эрозии.

Океаны соединяются с континентами, как можно видеть уже при беглом изучении карты, крутым переходом от больших глубин к мелководьям, повсеместно окаймляющим сушу. Эхограмма, полученная на корабле, плывущем по Ла-Маншу на юго-запад, будет показывать ровное и полого наклоненное дно до тех пор, пока глубина не достигнет ста саженей. В следующие десять—двадцать миль записи на эхограмме станут более интересными и ряд быстро сменяющихся поднятий и опусканий дна будет сопровождать общее увеличение глубины примерно на одну милю. Затем начинается более спокойный спуск ко дну глубоких котловин океана, т. е. примерно до глубины трех миль. Круто падающая часть морского дна известна под названием материкового склона, и с ним связаны многочисленные ранние исследования с помощью сейсмических мето-

дов и эхолотов. Вначале думали, что шельф является огромной террасой, созданной в результате накопления осадков, приносимых с суши реками и приливными течениями, а его край лежит на такой глубине, где размыв дна волнением становится уже невозможным. В какой-то степени это действительно так и весь обломочный материал, выносимый, например, реками в Ла-Манш, попадает в конце концов на значительные глубины, сваливаясь с шельфа, но все же шельф не имеет такого пологого уклона, какого следовало бы ожидать, если бы эта теория полностью соответствовала истине. Как видно по результатам сейсмических исследований, некоторые части материкового склона представлены выходами твердых коренных пород, лишь слегка выровненных покровом осадков, и, по всей вероятности, в этом случае изобата 100 саженей отмечает истинную границу океана и континента более удачно, чем современная береговая линия. Во всех случаях склон с крутизной около 1 : 15, спускающийся с глубины 100 саженей до 1000 саженей, является местом отложения осадков и благодаря этому у его подножья можно обнаружить огромные массы сползшего материала. Нефть, образуемая при разложении морских организмов, во многих местах, по-видимому, окисляется и таким образом теряется, не успевая накапливаться. И именно в областях интенсивного оползания донных осадков могут быть обнаружены скопления нефти, уцелевшие благодаря тому, что оказались захороненными под слоями, непроницаемыми для кислорода. Разумеется, такие потенциальные нефтяные отложения представляют сейчас лишь академический интерес, но они будут полезным объектом изучения в будущем.

Материковые склоны часто бывают прорезаны подводными долинами и каньонами с крутыми склонами. Когда эти долины и каньоны были обнаружены эхолотами, они вызвали много споров. Некоторые из таких долин, несомненно, были врезаны быстрыми подводными потоками воды, насыщенной илом. Эти потоки, называемые суспензионными, стекали вниз, как отчетливо выраженные реки, и промывали глубокие русла в рыхлых осадках материкового склона, а потом, скатившись на ровное ложе океана, теряли свою силу, откладывая переносимые ими осадки. Некоторые из подводных каньонов врезаны даже в твердые породы, и их поперечные профили напоминают

профили Большого Каньона реки Колорадо. Вполне возможно, что такие каньоны были образованы реками еще в тот ранний период геологической истории, когда шельф был поднят выше уровня океана, а роль суспензионных потоков в этом случае сводилась к тому, что они не допускали последующего заиления. Континенты могли подниматься или опускаться самыми различными способами: всем своим массивом в целом или при наклоне или прогибании материковых окраин, и, таким образом, любая часть современных континентальных шельфов в далеком прошлом с успехом могла быть сушей.

Гигантские желоба были обнаружены при изучении подводного рельефа в самых глубоких частях океанов. Еще в прошлом столетии экспедиция на «Челленджере» обнаружила в Тихом океане глубину 4500 саженей, что было примерно на полторы мили больше обычных глубин, равных примерно трем милям. Следовательно, в этом месте можно было ожидать открытия новой интересной формы подводного рельефа. Такой формой оказались глубоководные желоба, протягивающиеся на сотни миль по периферии Тихого океана и имеющие ширину около 50 миль при глубине до 6 миль от уровня моря. К этим желобам приурочены все самые большие глубины океанов, и, хотя здесь имеются свои «рекорды», как и у большинства вещей на Земле, все же весьма интересно с геологической точки зрения, что большинство желобов почти на всем своем протяжении имеют глубины порядка пяти с половиной миль. Если это является пределом возможной глубины, то тогда все желоба приближаются к нему. Существуют, правда, впадины с глубиной около четырех миль, например дугообразный желоб, протягивающийся с востока на запад к югу от Алеутских островов. Но там обнаружены, с одной стороны, признаки общего поднятия дна, а с другой стороны, возможно, что такие желоба частично заполнились осадками.

Самые глубокие желоба протягиваются в южном направлении к востоку от Японии и Марианских островов, а затем изгибаются, направляясь с востока на запад к островам Палау. Хорошо известен глубоководный желоб вдоль восточной окраины Филиппинских островов. Много раз пересекали его корабли во время войны. К северо-востоку от Новой Зеландии находятся желоба Кермадек и Тонга. Возможно, эти глубоководные желоба являются

современными океаническими аналогами глубоких материковых впадин, в которых некогда происходило интенсивное осадконакопление и примером которых является Персидский залив. Разница лишь в том, что по мере постепенного опускания такого участка материка с окружающих более высоких территорий сносилось огромное количество осадков, отлагавшихся на мелководье и образовавших толщи глинистых сланцев, известняков и песчаников толщиной в десятки тысяч футов. В океанах скорость седиментации не настолько большая, чтобы желоба заполнились осадками, и поэтому там образуется сравнительно тонкий покров осадков из осаждающихся остатков морских животных и пыли, выпадающей из атмосферы. Причина периодического прогибания частей земной коры все еще не вполне установлена. Оно может быть обусловлено силами сжатия или же связано с какими-то глубинными движениями в мантии Земли. Однако каков бы ни был механизм их образования, глубоководные океанические желоба открывают нам большие возможности для исследований, поскольку они не заполнены мощным покровом осадков или свитами пород другого происхождения, смятых в складки.

«Челленджер» пересек южную часть Марианского желоба, протягивающуюся с востока на запад, когда он шел из Японии в Новую Зеландию. Благодаря этому представилась возможность атаковать эту замечательную структуру океанического дна объединенными силами сейсмички и эхолотирования. И, как мы увидим дальше, трудно было выбрать более интересный желоб. Прежде чем отправиться на север к Алеутским островам — на Адак, «Челленджер» провел неделю в Пирл-Харборе. Причиной такого извилистого курса на пути через Тихий океан от Канады к Японии являлось не только желание посетить не исследованные еще части океана, но и наличие морских баз, где корабль мог бы получить горючее.

На американских базах нам оказывали исключительное гостеприимство. Стоянка в Сан-Диего оказалась слишком короткой, чтобы ожидать от нее каких-либо удовольствий. Но все же адмирал позаботился прислать автомобиль для тех, кто интересовался знаменитым океанографическим институтом Скриппса. Там мы с большой пользой провели утро, обсуждая вопросы сейсмических исследований в океане, так как летняя экспедиция института

уже завершила половину своей работы и прислала руководству предварительные результаты.

В Гонолулу рядом со всеми кораблями Тихоокеанского флота США «Челленджер» выглядел совсем крошечным, но тем не менее его по всем правилам приветствовал великолепный духовой оркестр военных моряков, выстроившихся вдоль набережной. Церемония встречи сопровождалась выступлением трех очаровательных девушек, танцевавших хула-хула в травяных юбочках. Вспоминается, как подобную же встречу устроили нам американские военные моряки в Японии; целый хор нарядно одетых гейш приветствовал нас. Такие интересные дополнения к традиционной церемонии встречи с духовым оркестром, разумеется, весьма приятны, и остается лишь надеяться, что и в других странах когда-нибудь последуют американскому примеру.

На Адаке повсюду лежал снег, и если здесь и были свои местные танцоры, то им, конечно, всю зиму было бы нечего делать на открытом воздухе. На этой далекой базе мы стояли всего одну неделю, и все же каждый вечер нас приглашали на приемы, непрерывно следовавшие один за другим. Небольшой компании местных моряков было, конечно, приятно видеть новые лица, тем более что корабли Британского флота были редкими гостями на этой американской базе.

«Челленджер» был также первым кораблем английского флота, посетившим канадскую военно-морскую базу в Эскимальте после долгого перерыва, вызванного корейской войной, из-за которой был отменен обычный ежегодный рейс крейсера с Бермудских островов. На эту базу мы заходили не раз между кратковременными выходами в океан и чудесно провели на ней Рождество и Новый год, благодаря необычайному гостеприимству жителей Виктории и Ванкувера. В один из праздничных дней наш корабль был буквально завален оленьими рогами, которые привозили в багажных фургонах, частных автомашинах и доставляли почтой. Оказалось, что это было ответом на появившуюся накануне в местной газете заметку о том, что хотя символическим гербом «Челленджера» служит копия известной картины «Челленджер», изображающей оленя, но тем не менее на корабле нет ни одной пары настоящих оленьих рогов, которыми можно было бы украсить форштевень. Желавший поду-

рачиться автор заметки, должно быть, хорошо знал канадских женщин, потому что рога всех форм и размеров — от самых маленьких и изящных до громадных разветвленных рогов и даже целых оленьих голов — были извлечены из подвалов, чердаков, гаражей и посланы на корабль. Четыре пары самых величественных рогов были укреплены на мостике, а оставшиеся двести пятьдесят были розданы желающим из команды корабля. Но на небольшом корабле было не так много места для хранения личного имущества, и поэтому многие сувениры гордых охотников потихоньку очутились за бортом. Разумеется, это не омрачило радости канадских домохозяек, которым удалось, наконец, избавиться от того, что им давно уже хотелось выбросить.

Когда корабль уходил с базы Эскимальт, было немного грустно расставаться с ней, и все же мы с удовольствием вспоминаем этот день и мотив прощальной песенки, который неся из репродуктора: «Good bye, Nice to have Known You» («До свиданья, очень приятно было узнать вас». — *Ред.*). Мы еще встретились потом с канадскими друзьями. Многим из них пришлось воевать в Корее, и мы увидели их, когда пришли в японский порт Куре, где находилась база снабжения для армий Британского содружества наций. Впервые мы увидели Японию из Внутреннего моря, и после бурной северной части Тихого океана оно оказалось удивительно спокойным. А крохотные поля, которые, словно сады, располагались на террасах склонов, действовали очень успокаивающе. Это первое посещение Японии было лишь кратковременной остановкой на пути в Новую Зеландию и Южные моря, но позднее мы провели в ней еще много месяцев.

Одной из причин того, что мы спешили в Новую Зеландию, была необходимость ремонта корабля. Прежде всего следовало исправить эхолот, который не смог записать отраженные сигналы на глубине 4000 саженей, когда корабль проходил Марианский желоб. На исследовательском корабле есть, конечно, много других способов для измерения глубин, а в данном случае было особенно важно определить положение оси желоба, чтобы разместить сейсмические радиобуи над его самой глубокой частью. Корабль останавливался каждые несколько минут, и, как при обычных сейсмических работах по методу отраженных волн, взрывали заряд примерно 550 г. Звуковые



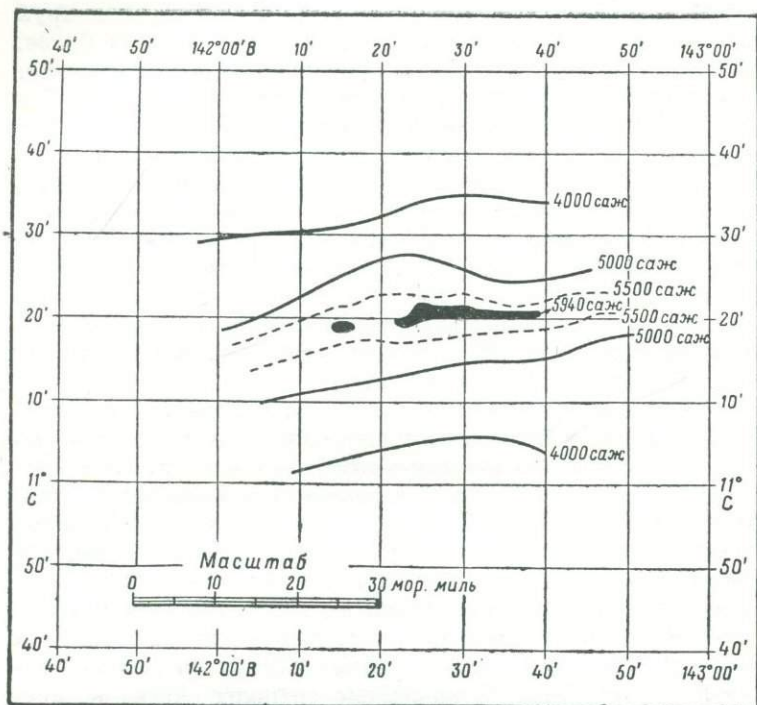
волны, отраженные от дна океана, принимались гидрофоном и отмечались на сейсмическом осциллографе с фоторегистрацией. Во многих случаях это было наиболее точным методом измерения времени пробега звуковых волн до дна и обратно, поскольку система отметок времени осциллографа часто проверяется сигналами стандартного времени, передаваемыми по радио. Кроме того, вступления звуковых волн можно было довольно точно определять по записям на фотоленте. Но у такого метода есть и свои недостатки: он дает только отдельные измерения глубины, в то время как с эхолотом получается непрерывный профиль дна океана.

При одном из измерений время пробега звуковых волн составило более 14,5 сек, а это соответствует глубине около 5900 саженей, т. е. почти на тысячу футов больше максимальной глубины, замеренной в Филиппинском желобе. Конечно, это взволновало всех на корабле. Целый день мы проводили эксперименты методом преломленных волн, но как только радиобуй были подняты на борт, корабль отправился снова к самой глубокой части желоба, чтобы сделать контрольный замер глубины с помощью обычного троса с грузом. Использувавшийся нами для этого механический лот немногим отличался от аналогичного устройства, применявшегося на «Челленджере» прошлого века, но теперь, разумеется, работа с ним не требовала таких усилий. (В течение дня было установлено по отчетам предшествующей экспедиции, что самые глубокие измерения старого «Челленджера» находились в этом желобе примерно в 50 милях восточнее того места, где были обнаружены теперь такие большие глубины — это очень интересное совпадение!) Тяжелый железный груз (в 140 фунтов) опускался с кормы на тонкой стальной струнной проволоке, которая сматывалась с барабана лебедки через блок-счетчик, обороты которого подсчитывались, что позволяло легко вычислить всю длину размотанной проволоки. Такой прибор иногда употребляется в качестве лага для измерения горизонтальных расстояний в океане (отмечается длина размотанной проволоки, по мере того как корабль идет прямым курсом). Он еще более удобен для определения глубин, но при этом важно, чтобы проволока сохраняла вертикальное положение в момент, когда груз опущен на дно океана. Чтобы добиться этого, проволока вытравливалась с кормы и дви-

гатель корабля временами давал задний ход, компенсируя небольшой дрейф корабля под действием легкого бриза, дувшего в корму, так, чтобы проволока шла вертикально.

В этом месте действительно оказалась большая глубина. Спуск груза на проволоке продолжался полтора часа — с десяти минут шестого до без двадцати семь. Было уже почти темно, когда груз достиг дна, и мы, волнуясь, сделали отсчет длины вытравленной проволоки, составивший 5944 сажени. Это, конечно, было рекордом. Когда об этой глубине сообщили в Адмиралтейство, в нее была внесена поправка в 45 саженей, которые вычли из полученного отсчета, учитывая возможное отклонение проволоки от вертикали. Но все равно глубина была лишь на сажень меньше 5900 саженей.

Несколько месяцев спустя, возвращаясь из Новой Зеландии уже с прекрасно налаженным эхолотом, мы выполнили детальную съемку этого желоба на участке протяжением около 20 миль. Оказалось, что в пределах этого 20-мильного участка существует полоса шириной около полумили с глубинами больше 5900 саженей (рис. 4). Отраженные сигналы на этих глубинах были недостаточно сильными и не отмечались на ленте прибора автоматически, но в наушниках их можно было услышать, и несколько наблюдателей сделали достаточно точные определения глубины. Отраженные сигналы слегка ослабевали на глубинах 5600—5800 саженей, где крутизна склона достигала 1:3, а местами, быть может, даже немного больше, но зато от дна желоба удалось получить сильное эхо. Этого следовало ожидать, так как плоское горизонтальное дно в самой глубокой части желоба посылало четкий отраженный сигнал прямо к кораблю, тогда как от склонов звук отражался в сторону. Наиболее крутые склоны имеют наклон по крайней мере порядка 1:6, а иногда 1:2 на протяжении 1—2 мили. Кроме того, по обеим сторонам желоба существуют плоские террасы или ступени шириной также 1—2 мили. Средний уклон от глубины 4000 саженей до дна впадины составляет примерно 1:7, что напоминает довольно крутой подъем по горной дороге. На глубинах от 3000 до 4000 саженей на подходах к желобу отмечается более пологий уклон — около 1:18. Таким образом, самая глубокая часть желоба представляет собой гигантскую долину шириной около 60 миль с отдельными крутыми уступами на склонах,



Р и с. 4. Батиметрическая карта самой глубокой впадины океана.

общий средний уклон которых, если бы не было океана, вполне допускал бы движение транспорта.

В 1957 г. советский океанографический корабль «Витязь», используя эхолот английского типа, подтвердил огромную глубину Марианского желоба, получив в пределах допустимой ошибки эксперимента те же значения, что и «Челленджер». В 1960 г. батискаф «Триест» достиг дна этого желоба в котловине, названной «впадиной Челленджера», и определил ее глубину в 6300 саженей путем измерения давления на дне<sup>1</sup>.

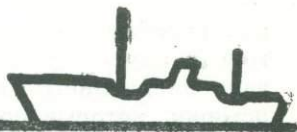
Мы несколько раз пытались взять образец грунта со дна желоба и наконец сделали это. Но образец был взят не в самом глубоком месте, а с глубины 5774 саженей, так

<sup>1</sup> Уточненная глубина спуска батискафа «Триест» в Марианском желобе — 10 919 м.— Прим. ред.

как корабль дрейфовал, пока прибор для взятия пробы грунта опускался на дно. Полученный образец исследовали специалисты из Британского музея естественной истории, которые обнаружили там новый вид диатомей. Диатомей — это простейшие морские организмы, скелет которых состоит из кремнезема, не растворяющегося в морской воде. Обычно скелеты, образованные из солей кальция, полностью растворяются к тому моменту, как опуститься в наиболее глубокие части океана, но кремнистые скелеты сохраняются и всегда могут дать геологу ценные сведения.

Максимальная глубина океана была измерена на широте  $11,3^\circ$  к северу от экватора, и поэтому через несколько дней, после того как мы проникли в тайны океанских глубин, для многочисленных новичков пришла пора отдать традиционную дань Владыке Нептуну. Команда корабля разыграла замечательное представление с величественным толстяком Нептуном и застенчивой белокурой и голубоглазой морской королевой. Капитана наградили орденом «морской звезды с водорослями», штурману вручили переломленную изобару, а научный руководитель экспедиции удостоился сомнительной чести получить орден «старого морского пса». И, как полагается, каждого новичка, впервые пересекавшего экватор, побрили, откололи и выкупали в соленой воде, словом, совершили все традиционные процедуры, подходящие случаю.

Этот южный рейс оказался весьма интересным во всех отношениях, а шестинедельный ремонт в Окленде не только дал нам возможность отдохнуть от моря, но и позволил специалистам из дока очистить мембраны вибраторов эхолота, на которых поселились многочисленные усонogie рачки. Без этого мы, конечно, не смогли бы получить потом столь детальные профили глубочайшего желоба Мирового океана.



## VI. Коралловые атоллы

Подойди и прочти (ты да читать умеющий) Балладу, высеченную на камне под старым терновником».

Томас Грей, *Элегия, написанная на сельском кладбище*

**М**ы уже познакомились с тем, как можно при помощи современных сейсмических методов и эхолота обнаружить разницу между геологической структурой океанов и материков. Перед тем как приступить к более детальному рассмотрению слоев осадочных и коренных пород, слагающих толщу океанского дна и выявленных с помощью сейсмических исследований, рассмотрим одну из замечательных форм подводного рельефа, о существовании которой знали уже исследователи прошлого столетия и которую в наши дни легко обнаруживают при помощи эхолота. Сейсмическое зондирование могло бы многое рассказать нам о таких вулканических островах, как Гавайские, возвышающиеся над поверхностью океана и, очевидно, надежно покоящиеся на широких поднятиях океанского ложа, а также и о плосковершинных подводных горах, столь типичных для Тихого океана, как показывают эхолотные исследования. Тихий океан, как известно, является областью широкого развития множества коралловых атоллов — этих романтических островов-ожерелий, окружающих внутренние лагуны бахромой стройных пальм.

Сейсмический метод исследований дал возможность достаточно уверенно объяснить, как образуются коралловые атоллы, и, таким образом, появилась возможность разрешить долго тянувшиеся споры между различными геологическими школами. Строение атоллов помогает также понять причину образования плосковершинных подводных гор и обнаруживает цикличную историю развития этих форм рельефа дна океана. Хотя, как мы увидим позднее, плосковершинные подводные горы и атоллы редко встречаются за пределами Тихого и Индийского океанов, они, однако, являются важным геологическим явлением, и понимание сформировавших их процессов поможет объяснить, почему их распространение ограничено определенными районами. Это, в свою очередь, может направить по верному руслу теорию развития Земли — так же, как удачная догадка на основе, казалось бы, мелкого факта приводит к раскрытию тайны в детективном романе.

При обсуждении вопроса об образовании островов Тихого океана нельзя обойти вопрос о вулканах. В конце этой главы мы покажем, как мощные вулканические извержения сами по себе уже изменяют общую картину лика Земли. Колоссальное количество вещества было выброшено некогда из глубин Земли, и значительная часть горных хребтов образована грандиозными потоками лавы. Сами по себе вулканы действуют подобно предохранительным клапанам, высвобождающим избыточное давление магмы, возникающие в «очагах плавления» в глубинах нашей планеты, достаточно горячих, чтобы расплавить определенное количество вещества мантии. Обильные излияния лавы происходят обычно в периоды, когда Земля геологически активна, а ее лик изменяется путем образования новых складчатых горных образований.

Во время пребывания «Челленджера» в Тихом океане представились широкие возможности для ознакомления с действующими вулканами Гавайских островов, с атоллами островов Гильберта и Эллис, а также с плосковершинными подводными горами океанского ложа (по эхограммам) и, наконец, с множеством таких островов, как Фиджи, Ротума и Манус. Специальная сейсмическая съемка была произведена в лагуне атолла Фунафути для определения характера слагающих его горных пород. Этот атолл был выбран потому, что он уже и раньше интересовал английских ученых. Еще в 1901 г. Королевское общество

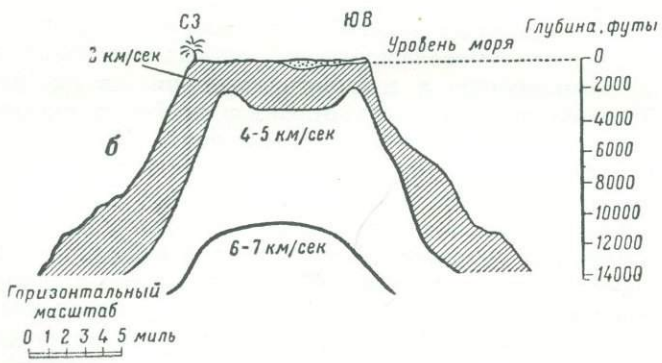
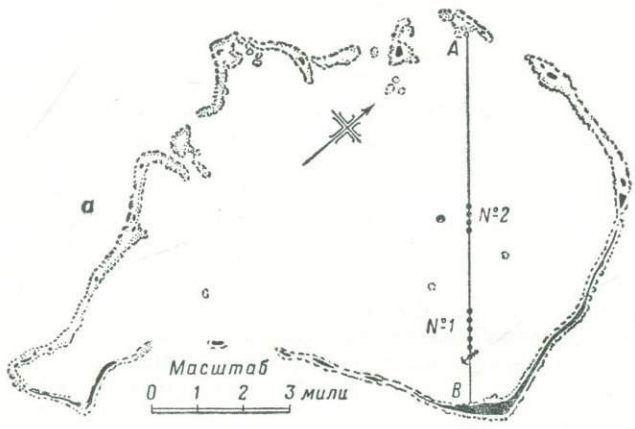


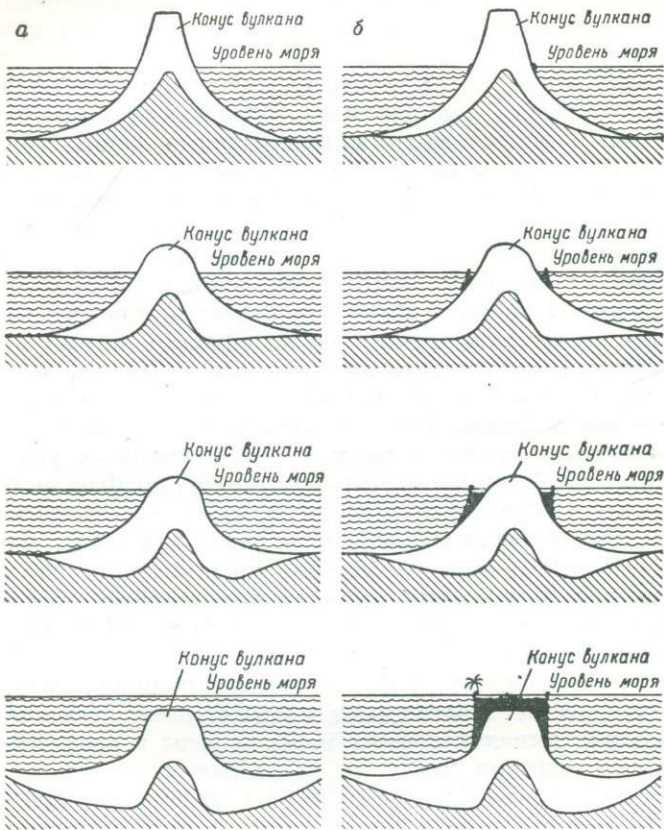
Рис. 5. а — план атолла Фунафути; б — разрез атолла Фунафути по линии АВ, показывающий его геологическое строение; вертикальный масштаб в 5 раз больше горизонтального.

финансировало бурение на нем скважины, чтобы разрешить противоречие, которое волнует геологов, начиная с конца XIX в.

Чтобы понять суть этого противоречия, необходимо познакомиться с тем, как идет образование коралловых островов. Чудесные цвета и причудливые формы кораллов — это по существу пышная одежда очень скромных и маленьких обитателей океана. Коралловый полип прекрасно извлекает из морской воды исходные материалы, необходимые для образования углекислого кальция, являющегося основным химическим компонентом мела и известняка, а также большого количества морских раковин. Но коралловые полипы растут только в теплой воде, и поэтому, если отметить на карте все места, где растут современные кораллы, то все эти отметки лягут примерно в пределах тропиков. Более тщательное изучение условий произрастания кораллов показывает, что температура воды коралловой зоны везде превышает  $70^{\circ}$  по Фаренгейту. Кроме того, коралловые полипы нуждаются в свете. Следовательно кораллы, образующие рифы и атоллы, могут развиваться только на глубине, не превышающей 200 футов, так как на больших глубинах животворные лучи солнечного света становятся слишком слабыми. Мощные коралловые толщи, образующие опасные для кораблей рифы, состоят из колоний коралловых полипов, которые сцементированы добавочными поступлениями углекислого кальция, выпадающего из морской воды и извлекаемого из нее мелкими морскими водорослями.

Коралловые полипы не любят ил отчасти потому, что мутная илистая вода хуже пропускает свет, но главным образом потому, что им необходимо прочное основание, на котором могут расти их дома — кораллы. Будучи существами морскими, коралловые полипы нуждаются в соленой воде, и поэтому их нельзя обнаружить в опресненной воде близ устьев рек. В тех же случаях, когда имеются все благоприятные условия для их роста, кораллы становятся мощными строителями, и тогда можно видеть массу замечательных коралловых построек — замечательных как по своим общим формам, так и по тончайшей филигранной отделке. Еще Дарвин наблюдал множество видов коралловых островов во время своего плаванья в Тихом океане на «Бигле». Некоторые острова, подобно острову Ротума, состоят из центральной скалистой части,





Р и с. 6. а — история плосковершинной подводной горы;  
 б — образование кораллового атолла.

окруженной каймой коралловых рифов. На острове Бора-Бора вулканический островок поднимается из лагуны, в свою очередь окруженной узким рифом, как будто кто-то поместил гору в середину лагуны кораллового атолла. Типичный атолл — это просто кольцо коралловых островков, окружающих лагуны. Островки эти всего на несколько футов возвышаются над уровнем моря. Сама лагуна может быть глубиной до нескольких сот футов, в зависимости от ее диаметра. Дарвин считал, что все эти три вида коралловых островов по существу соответствуют лишь различным стадиям одного и того же природного процесса. Он представлял его себе следующим образом. Вначале из глубин океана появлялся остров вулканического происхождения и вокруг него выросла коралловый риф. Затем остров начинал медленно опускаться со скоростью, которая давала возможность коралловым полипам наращивать рифы так, чтобы они слегка выступали из воды. При этом кораллы плохо разрастались близ берега из-за присутствия пресной воды и ила, который смывался дождями с вулканического острова. С другой стороны, рост внешнего края рифа был достаточно интенсивным, так что по мере того, как остров постепенно погружался и уменьшался в своих размерах, вокруг него появлялась полоса лагуны между берегом и растущим вверх внешним краем рифа. Постепенно весь вулканический остров исчезал под морскими волнами, а кораллы продолжали наращивать рифы с такой же скоростью, с которой погружался остров. Таким образом, в конечной стадии коралловые атоллы образуют своего рода надгробия над постепенно исчезающими островами. Логичность и простота дарвиновской теории образования коралловых островов являются очень привлекательными даже для тех, кто изучал острова и атоллы Тихого океана только по опубликованным картам. Однако эта теория не показалась убедительной для Мюррея и других ученых, которые провели тщательные исследования некоторых геологических формаций на островах Индонезии. В этих местах можно видеть коралловые образования поднятыми на значительную высоту над уровнем моря и покоящимися на глинистых толщах, являющихся, как показали лабораторные исследования, океанскими донными отложениями. Эти факты привели Мюррея к выводу, что образование коралловых островов происходит при совершенно иных

условиях. По его теории морские осадки постепенно накапливаются на поверхности вулканического конуса, который до этого уже был срезан до глубины 200 футов ниже уровня моря благодаря действию морских волн. Наконец, наступает такой момент, когда морские отложения поднимаются до глубины около ста футов, не достигая уровня моря, и образуют удобную площадку, на которой и начинают селиться кораллы. Кораллы тянутся к поверхности океана и, наконец, выйдя на поверхность, образуют атоллы в форме кольца.

Конечно, правы были и Дарвин и Мюррей, так как в действительности существуют оба процесса образования коралловых атоллов. Однако это не помешало развитию серьезных разногласий по вопросу о причине образования коралловых атоллов на протяжении нескольких десятилетий конца девятнадцатого века, вызывавших ожесточенные споры в геологическом мире, потому что в те самоуверенные времена чувство догматической угодливости пропитывало большинство научных дискуссий. Ведь всегда существует стремление преданных учеников расширить первоначальную теорию своего учителя так, что она начинает охватывать больший круг вопросов, чем те, для которых она была создана. Во многих случаях такой ученик даже не знает или не дает себе труда разобраться в тех первоначальных положениях, которые привели автора данной теории к его основным положениям. В рассматриваемом случае ошибка заключалась в том, что об атоллах говорили в целом, не подразделяя их на различные типы. А следовало бы различать те атоллы, которые образуются далеко в центре Тихого океана, и те, которые образуются на мелководьях древних материковых областей. При этом андезитовая линия, упоминавшаяся в гл. IV, образует естественную границу между этими двумя видами коралловых островов. Возможно, что прежние разногласия относительно образования атоллов имеют и свою положительную сторону, напоминая геофизикам и океанографам о том, как важно и сегодня воздерживаться от поспешных обобщений. Сейчас собрано уже много новых фактов, но изучение геологического строения морского дна все еще обходится слишком дорого и идет очень медленно, вследствие чего морские исследования приходится сводить к минимуму. При этом существует определенная опасность стать догматиком, если утверждать, что набор фактов,

собранных в определенном районе, показателей и для всех других районов океана. Противоречивые объяснения каких-либо фактов никогда не следует отвергать, если они собраны добросовестными наблюдателями, так как они могут быть полезными для объяснения какого-то вопроса с более широких позиций.

Дискуссия, разгоревшаяся в XIX в., оказалась полезной, побудив Королевское общество провести бурение скважины на атолле Фунафути. Предполагалось, что бурение скважины позволит покончить с этим вопросом. Если прав был Мюррей, то коралловая толща, образующая кольцевой остров, окружающий лагуну, должна иметь мощность менее двухсот футов и покоиться на глинистых осадках. С другой стороны, по теории Дарвина следовало ожидать значительно большую мощность коралловой толщи, поскольку погружение основания атолла должно было быть настолько значительным, чтобы исчез большой вулканический остров. И, конечно, если прав был Дарвин, коралловая толща должна была бы лежать на вулканических породах.

Бурение глубоких скважин в 1901 г., когда предпринимался этот эксперимент, было делом весьма трудоемким. Однако даже когда удалось достигнуть глубины более 1100 футов, керны, поднимаемые наверх, все еще состояли из кораллового известняка, а не из глины. Правда, скважина была заложена на краю атолла, чтобы соорудить буровую вышку на твердом основании, и поэтому сторонники гипотезы Мюррея считали, что вся пройденная в скважине 1100-футовая толща сложена обломками кораллов, сносившимися с кораллового рифа и откладывавшимися на его внешнем склоне. Отчет Королевского общества о результатах бурения был очень беспристрастным и не отдавал предпочтения ни одной из двух конкурирующих гипотез, так что вопрос остался открытым до тех пор, пока в игру не вступили сейсмические методы. Сейсмические исследования по методу преломленных волн обнаружили несколько тысяч футов породы с низкой скоростью сейсмических волн, которая могла бы быть отождествлена с коралловой толщей, простирающейся под всей лагуной Фунафути и Нукуфетау. Подобные исследования, проведенные в связи с испытаниями атомных бомб на атоллах Бикини, Эниветок и Кваджелейн, подтвердили эти результаты. Вопрос был решен окончательно.

но, когда буровая скважина, доведенная до глубины 4500 футов, вышла из коралловой толщи и вошла в вулканическую породу. Скважина и на этот раз была пробурена на краю атолла, но потребовалось бы колоссальное количество обломочного кораллового материала, чтобы сформировать установленную бурением коралловую толщу мощностью около мили, и представляется невероятным, чтобы весь этот материал был снесен с мелководной коралловой банки, как предполагает гипотеза Мюррея.

Как бы то ни было, а глубина большинства крупных атолловых лагун превышает 250 футов, т. е. максимальную глубину выживания кораллов. Поэтому если коралловые рифы и были построены на срезанной волнами подводной террасе, все равно требуется допустить последующее погружение, чтобы объяснить даже такую мощность коралловых рифов. Сейчас обычно предполагается, что типичные коралловые атоллы Тихого океана образовались именно так, как предполагал Дарвин, и что имело место погружение вулканических оснований на несколько тысяч футов. В связи с этим возникает вопрос, почему же так мелководны внутренние лагуны атоллов. Ответ на это таков: лагуна непрерывно заполняется обломочным материалом, поступающим за счет разрушения рифа волнением. Тщательное изучение глубины лагун атоллов различных размеров показало, что чем больше размеры лагуны, тем больше ее глубина. Это хорошо соответствует тому, что следовало бы ожидать, если лагуна медленно заполняется обломочным материалом по мере погружения атолла. В самом деле, воздействие волн, вымывающих часть обломочного материала из лагуны, не допустило бы ее окончательного заполнения. Чем больше становятся размеры лагуны, тем мощнее становятся и волны в ней, вызываемые ветром, и тем глубже ощущается вымывающее воздействие волн. Необходимо, конечно, существование проходов в рифах, окружающих лагуну, чтобы обломочный материал со дна лагуны мог выноситься в океан. Существуют атоллы с полностью замкнутым кольцом рифов, и лагуны в этом случае, как и следовало ожидать, оказываются мельче. Образование проходов в рифах само по себе также нуждается в объяснении. Они могут быть результатом разрывов в первичном барьерном коралловом рифе, заложившемся некогда на берегах первичного вулканического острова еще до его погружения. Можно ожи-

дать образования проходов и там, где с берегов вулканического острова стекали в море реки. С другой стороны, некоторые геологи предполагают, что значительное понижение уровня океана в периоды оледенений, когда огромные массы вод океана были скованы в покровных ледниках, должно было привести к тому, что атоллы возвышались подобно замкам на несколько сотен футов над уровнем океана. Нормальные процессы денудации должны были при этом разрушить стены замков, а затем, когда ледники стаяли и уровень океана вновь поднялся, проходы могли сохраниться, несмотря на рост новых стен, возведенных коралловыми полипами.

Главное в предложенном Дарвином объяснении образования атоллов это постепенное опускание первоначального острова в море. Но чисто внешние признаки образования атоллов с таким же успехом могли бы подтвердить возможность образования атоллов благодаря постепенному поднятию уровня океана. Такое поднятие уровня океана могло бы произойти, например, за счет вытеснения воды донными отложениями, которые постепенно, но непрерывно накапливаются на дне океана. Однако измерения, произведенные с помощью сейсмических методов, в настоящее время свидетельствуют, что это не так. Конечно, общая мощность всего слоя накопившихся на дне океана осадков достаточна для того, чтобы вызвать поднятие уровня океана на несколько тысяч футов, которое, как теперь уже известно, и произошло. Но только небольшая часть этих отложений накопилась за время образования атоллов. Глубокое бурение показывает, что вся надстройка, образованная кораллами, была создана начиная с мелового периода, т. е. сто миллионов лет назад, что в геологических масштабах является сравнительно недавним временем. Правда, некоторые ученые предполагают, что общее поднятие уровня океана вызвано увеличением объема воды за счет поступления ее в океан при извержении вулканов. Однако подсчеты показали, что этого количества воды совершенно недостаточно, чтобы, начиная с мелового периода, поднять уровень океана на несколько тысяч футов. Следует также указать и на то, что в некоторых местах, как, например, в районе северо-восточнее Новой Зеландии, острова явно поднялись из воды, несмотря на предполагаемое поднятие уровня океана на несколько тысяч футов.

Если исходить из предположения, что при образовании атоллов скорее всего опустились острова, а не вода поднялась вокруг них, то все же остаются еще две возможности. Первая заключается в том, что произошло региональное опускание большого района морского дна, которое могло увлечь за собой целую группу островов, и вторая, что каждый остров и по времени и по месту опускался самостоятельно. На материках наблюдаются крупные вертикальные движения суши, и, естественно, такие движения можно ожидать в зоне перехода между материками и океанами, например в изобилиующем островами районе северо-восточнее Новой Зеландии. Что же касается глубоководных мест океанов, то в этом случае нет необходимости предполагать более сложные явления, чем предполагавшиеся Дарвином локальные движения отдельных островов. Эту точку зрения подтверждают сейсмические исследования, проведенные методом преломленных волн. Если большое количество вулканического вещества вылилось наружу и образовало острова и если эти острова впоследствии опустились относительно морского дна, то должна быть депрессия, вызванная прогибом коренных пород дна океана, т. е. «слоя  $6,7 \text{ км/сек}$ », который был уже описан в гл. III. В двух местах, одно — в 18 милях юго-западнее Фунафути и другое — в 15 милях от оси цепочки Гавайских островов, было обнаружено, что «слой  $6,7 \text{ км/сек}$ » сверху покрыт 2—3-километровым слоем материала, который, судя по скорости сейсмических волн, сложен породами вулканического происхождения. Образец породы, полученный во время извержения Килауэа, за год до того как «Челленджер» посетил Гавайские острова, при исследовании в лаборатории показал характерную скорость  $4,5 \text{ км/сек}$ , которая очень хорошо согласуется с результатами, полученными для пород, залегающих в обоих случаях над коренными породами океанского дна, имеющими скорость  $6,7 \text{ км/сек}$ .

К этому можно добавить, что в настоящее время существует еще одно доказательство, прекрасно подтверждающее дарвиновскую теорию образования коралловых атоллов, доказательство, которое не было известно при жизни ученого. Плосковершинные подводные горы, которые, как показывают исследования с помощью эхолотов, широко распространены в Тихом океане, образуются, видимо, путем воздействия волн на берега вулка-

нических островов, путем постепенного их разрушения. И если все эти острова действительно опускаются, то, достигнув в один прекрасный день своими вершинами уровня моря, они в полной мере воспримут удары обрушивающихся на них морских волн. В этом случае сохранятся только те, которые создадут свои собственные волноломы, образованные коралловыми рифами. Денудация в течение многих веков вызовет образование плоских вершин у незащищенных коралловыми рифами островов, а если они будут продолжать опускаться, то вообще исчезнут без всякого следа, погрузившись постепенно на несколько тысяч футов под поверхность океана. Во время траления с плоских вершин подводных гор иногда удается получить обломки кораллов. Предположение, что эти подводные столовые горы могут быть опустившимися атоллами, полностью отвергается присутствием в том же трале пород вулканического происхождения. По-видимому, эти странные подводные горы являются атоллами более низкой стадии развития.

Возможно, что на каком-то критическом этапе только что появившаяся коралловая защита была уничтожена во время шторма, или опускание шло так быстро, что кораллы не успевали надстраивать очередной слой и компенсировать погружение. Во многих случаях вероятно также, что кораллы не могли разрастаться из-за того, что вода была слишком холодной. Больше того, можно считать, что именно сам атолл является исключением; то, что он остался, возвышаясь над уровнем моря, можно объяснить лишь исключительным усердием строящих рифы коралловых полипов. Вероятно девятнадцать из двадцати вулканических островов, которые, поднимаясь со дна океана, в течение некоторого времени возвышались над поверхностью воды, заканчивают свое существование в виде плосковершинных подводных гор, лишенных кораллового надгробия, которое указывало бы место их захоронения. Однако все они входят в одну семью атоллов, ибо сформированы из одного и того же материала вулканического происхождения, характеризующегося относительно низкой скоростью прохождения сейсмических волн, вес которого заставляет прогибаться слой  $6,7 \text{ км/сек}$  коренных пород дна океана, образуя во многих местах блюдцевидные впадины. Весь имеющийся в распоряжении ученых материал настойчиво указывает на простую схему эволюции



островов океана. Все начинается с извержения вулкана на океанском дне. Вещество, которое выбрасывается вулканом, затвердевает, образуя вулканический конус. Изверженный материал имеет плотность 2,4 и скорость прохождения сейсмических волн между 4 и 4,7 км/сек. После определенного периода деятельности вулкан умирает и его последующая история зависит от того, сумел ли он достигнуть такой высоты, чтобы его вершина возвышалась над уровнем воды. Если его вершина так и не достигла поверхности океана, то вулкан становится обычной подводной горой; при этом его высота от уровня океанского ложа будет меньше той, которой он первоначально достиг в процессе роста, потому что все вулканы, поднявшиеся со дна, неумолимо опускаются. В других случаях вулкан может стать таким огромным, что будет возвышаться над поверхностью воды и останется в будущем островом. Может быть это и невозможно, и те острова, которые мы сейчас видим в океане, все равно обречены и погрузятся в морскую пучину. Без сомнения, исчезновение северо-западного конца цепи Гавайских островов наводит на мысль, что такая же судьба уготована и существующей сейчас группе островов вблизи Оаху и Гавайи. Средним звеном между малыми и большими вулканическими островами можно считать плосковершинные подводные горы и атоллы.

Средняя глубина, на которой встречаются плосковершинные подводные горы, около 4200 футов, и, вероятно, можно считать, что толщина коралловой постройки атоллов примерно такая же. Погружение островов, необходимое для того, чтобы сформировать указанную толщину кораллов, произошло со времени мелового периода, т. е. за последние 100 миллионов лет, что соответствует средней скорости погружения в один сантиметр за тысячу лет. Кораллы же могут расти гораздо быстрее, поэтому приведенные цифры не вызывают никаких сомнений.

Конечно, коралловые полипы — прекрасные строители, но все-таки работу гораздо большего объема производят вулканы. Вулканические острова типа Гавайских находятся в стадии роста, согласно теории происхождения атоллов, предложенной Дарвином. Каждые несколько лет здесь изливаются новые порции лавы, которые понемногу увеличивают огромную пирамиду, поднимающуюся со дна океана. Природа не устроила никаких эффектных зрелищ

специально в честь прихода «Челленджера», однако некоторое представление о масштабах современных извержений можно было получить, просматривая замечательные кинофильмы, снятые геологами Вулканологической станции. В скалах образуются огромные трещины, и кипящие струи добела нагретой жидкой лавы бьют вверх, подобно сказочным фонтанам. Лава собирается в ручьи и стекает вниз по склону, вначале в виде огромных жидких рек, а позднее, несколько застыв, крошащейся темно-красной стеной, высотой до двенадцати футов неумолимо надвигается на деревья, дома и на все, что попадает ей на пути. Вообще говоря, вулканы Тихого океана во многих отношениях не такие уж злобные существа, поскольку их извержения редко происходят со взрывом. Они скорее стремятся выпустить лаву в виде жидкого потока, а не выбрасывать удушливый газ и пепел, которые погубили Помпею. Кроме того, они заранее предупреждают о предстоящем извержении — во всяком случае тех ученых Вулканологической станции, которые сумеют заметить и понять эти признаки. Примерно за месяц до извержения чувствительные сейсмографы показывают усиление едва ощутимых колебаний земли, которые непрерывно записываются на ленту. Активность вулкана непрерывно нарастает, пока не доходит до высшей точки, когда, наконец, в скале появляется трещина, через которую выбрасывается поток жидкой лавы и дается выход огромным давлениям, образовавшимся глубоко под землей. Путем наблюдения за нарастанием шумов с помощью целого ряда сейсмографов, расставленных по всему острову, вполне возможно установить в пределах 24 часов, когда наступит очередное извержение. Эта эффективная система раннего оповещения успешно используется для спасения человеческих жизней. Однако надежного средства для отклонения потоков лавы, движущихся на жилища, пока еще не найдено. Во время войны делались попытки отвести потоки лавы, сбрасывая на их пути бомбы. Но эти попытки закончились неудачей. И бомбы и постройка специальных стен на пути потоков лавы являлись лишь жалкими потугами по сравнению с теми могучими силами, которые может выставить природа.

Информация, полученная с помощью сейсмографов, подтверждается наблюдениями за рядом наклономеров, которые показывают весьма незначительные смещения

уровня земли. В то время, когда жидкая лава пробивает себе путь к поверхности Земли, она слегка вспучивает породы над собой, что очень ясно отражается на записях наклономеров. Следовательно, можно точно установить местонахождение подземного потока лавы и, основываясь на опыте прошлых извержений, предсказать направления, по которым лава потечет.

Какой-нибудь вулкан со слабой активностью, где извержения происходят в регулярные промежутки времени, может служить отличной лабораторией для подробного изучения этих грандиозных явлений природы. Дополнительно к измерениям физических параметров, которые помогают установить глубину вулканического очага, химические лаборатории дают возможность производить анализ всех тех веществ, которые выбрасываются во время извержения. Такая научно-исследовательская работа является большим шагом вперед по сравнению с теми чисто внешними наблюдениями, которые могли проводиться экспедицией на «Челленджере» в XIX в. при посещении Гавайских островов. Тогда, наблюдая кипящую лаву в огромном котлообразном провале на склоне вулкана Мауна Лоа, Спрай писал: «Там был полный хаос и смятение, так как лава подобно раскаленному металлу разламывалась с адским шумом, проходя по шероховатым отвесным скалам, и застывала, переливаясь через край в виде причудливых гирлянд». В 1951 г. это озеро лавы представляло собой пустой кратер. Вероятно наполнение и опорожнение этого кратера зависят от объема расплавленного вещества, которое собирается в подземных очагах. Путем наблюдений за движением лавы и за количествами расплавленных пород, выбрасываемых во время извержений, можно будет со временем получить довольно ясную картину расплавления вещества, происходящего внутри Земли. Тот факт, что извержения происходят за сравнительно короткий период времени, указывает на ограниченный объем карманов расплавленной лавы. Это подтверждается также изучением волн, вызываемых землетрясениями и показывающих, что на глубине 10—20 миль, где зарождается вулканическая деятельность, нет сплошного жидкого слоя. Вероятно должен существовать источник тепла, с помощью которого создаются подземные озера расплавленной лавы, но давление, которое нарастает в процессе расплавления породы, вскоре

выталкивает лаву на поверхность. При этом все тепло, так тщательно накапливавшееся перед этим, выходит на поверхность вместе с жидкими потоками лавы. Тогда вновь с самого начала начинается медленный процесс расплавления новой порции породы. Процесс этот идет уже на протяжении миллионов лет и, возможно, что как раз цепь Гавайских островов и поможет найти ключ к его познанию. Интересно, что на северо-западном конце этой цепи вулканы потухли, а сами острова в некоторых случаях уже исчезли под водой, следуя закону опускания, так наглядно демонстрируемому коралловыми атоллами.

Гавайские острова лежат на пологом поднятии океанского ложа, как будто они возникли из эмбрионального горного хребта. Возможно, что эти острова как раз и появились в результате образования подводного хребта на поверхности океанского дна (независимо от того, как он сформировался). При смятии коренных пород в процессе образования хребта, вероятно, произошло выделение тепла, т. е. прибавилось дополнительное количество тепла к тому теплу, которое все время выделяется благодаря непрерывному распаду небольших порций радиоактивных веществ в горных породах. Подсчеты показывают, что при деформациях коренных пород во время образования горного хребта выделяется такое количество энергии, которое вполне покрывает весь расход энергии на расплавление всего того вулканического материала, который изливается в пределах этого хребта. С таким же основанием можно предположить, что при образовании подводного хребта на дне океана тоже произойдет местное расплавление материала. Этот процесс еще более усиливается благодаря теплоизоляционному эффекту мощной толщии пород, образующих сам хребет. Таким образом, как только на дне океана начинает образовываться подводный хребет, процесс подогрева развивается с нарастающей силой. Энергия, выделяющаяся при деформации пород земной коры, частично проявляется в виде сейсмических волн, связанных с землетрясениями. По всей вероятности энергия, выделение которой при этом зарегистрировано, является лишь небольшой долей от всей выделившейся, так как остальная часть ее остается в виде тепла, идущего на расплавление пород, находящихся глубоко под земной корой. Если механизм образования водн при зем-

летрясениях подобен тому, который имеет место при подземных взрывах, то суммарная энергия сейсмических волн будет не больше  $1/200$  от всего количества выделенной энергии. Когда накапливается достаточное количество тепла, породы расплавляются, и жидкая лава выбрасывается на поверхность — происходит извержение вулкана. Поэтому там, где на ложе океана образуется подводный хребет, естественно ожидать и образования цепочки вулканических островов.

Зона плавления пород земной коры находится, вероятно, где-то вблизи раздела Мохоровичича, т. е. границы между слоем пород со скоростью сейсмических волн  $6,7$  км/сек и породами мантии, характеризующимися скоростью  $8,1$  км/сек. Можно предположить, что более тщательное исследование лавы, выбрасываемой вулканами, даст правильный ответ на вопрос, какие из этих пород являются основой для образования расплава<sup>1</sup>. Правда, выводы при этом будут не вполне однозначными по двум причинам. Во-первых, некоторое разделение материала может произойти уже в глубинном очаге, подобно тому, как шлак отделяется от стали в доменной печи. Во-вторых, большое количество нового материала прибавляется к лаве, когда она во время извержения проходит через различные слои горных пород на пути к поверхности.

Кое-какие сведения дают об этом сейсмические исследования. Было отмечено, что слой  $6,7$  км/сек около вулканических островов и атоллов имеет несколько большую скорость прохождения сейсмических волн, чем в местах, где вулканы отсутствуют. Возможно, что это как раз и происходит в результате смешения материала слоев  $8,1$  км/сек и  $6,7$  км/сек вблизи корней вулканов, где произошло расплавление пород. Это, в свою очередь, наводит на мысль, что очаг, откуда поступает расплавленная порода, находится где-то на стыке между этими двумя слоями. Сейсмические исследования прогибов слоя  $6,7$  км/сек

---

<sup>1</sup> Советским вулканологом Г. С. Горшковым установлено, что глубина вулканических очагов на Камчатке значительно превышает глубину раздела Мохоровичича, достигая  $60$  км. Глубина вулканических очагов около  $60$  км установлена также американскими исследователями для вулканов Гавайских островов. Таким образом, плавление магмы происходит в глубинах верхней мантии.— *Прим. ред.*

под островами-атоллами и подводными горами подкрепляют эту гипотезу. Конфигурация кровли и подошвы частей слоя 6,7 км/сек такова, что можно было бы предположить постепенное нагромождение застывшей лавы на поверхности ложа океана, а затем постепенное оседание этого нагромождения под собственным весом с прогибанием основания ниже раздела Мохо. Но каким же путем могут прогибаться прочные коренные породы и вызвать всеобщее опускание вулканов Тихого океана?

Прежде всего надо помнить о колоссальном давлении, воздействующем на ложе океана после того, как столб воды высотой в три мили заменяется вдвое более тяжелыми вулканическими породами. Произведенные расчеты давлений показывают, что силы, сосредоточивающиеся в основании вулкана, превосходят запас прочности даже самых прочных пород, поэтому происходит некоторое снижение давления, хотя бы в начале, благодаря появлению многочисленных мелких трещин в породах океанского ложа.

В свою очередь это тоже ведет к накоплению тепла и, в конце концов, породы могут начать медленно расплавываться подобно вару. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока основание вулканического конуса не осядет в более плотный материал мантии. Тогда наступит уравнивание сил и вулкан, по существу, будет плавать в более плотном материале мантии, совсем как льдина, плавающая в воде. Кроме того, существует еще и другой процесс, ускоряющий достижение такого равновесия. Ведь после того, как вулканическая лава излилась наружу, должно остаться некоторое пустое пространство, которое, возможно, частично заполнится благодаря горизонтальному сползанию пород с обеих сторон, но в какой-то мере должно вызвать и оседание материала сверху вниз. Таким образом, появляются основательные доводы в пользу теории Дарвина, подкрепляемые, в свою очередь, современными морскими сейсмическими исследованиями. Таким образом, в настоящее время атмосфера противоречий XIX в. уже исчезла. Однако если и удалось разделиться с одной серией проблем, то возник ряд новых вопросов.

Выше мы уже упоминали о региональных движениях ложа океана. Доказательством этого является образование

в Тихом океане подводных поднятий, подобных поднятию, лежащему в основании Гавайских островов. Такие движения, вероятно, связаны со сжатием земной коры. Масштабы этих движений, видимо, были недостаточно значительными, чтобы поднять структуры ложа океана до поверхности воды. Однако, судя по мощности осадочных толщ, наблюдаемых на поверхности суши, амплитуда вертикальных движений может достигать огромной величины 40 000 футов.

Предполагается также, что по окраинам материков обычный характер развития океанских вулканических структур будет резко нарушен. Как раз это и было обнаружено в случае поднявшихся со дна коралловых платформ Соломоновых островов, а отсутствие резких различий между этими двумя типами коралловых образований и является, на наш взгляд, основной причиной, почему так долго существовали различные взгляды на происхождение коралловых атоллов. Не исключена возможность, что вулканические структуры вблизи материковых массивов будут формироваться по типу тех, которые находятся в океане, но, как правило, в этом случае их индивидуальные движения будут перекрываться более значительными опусканиями или поднятиями массива суши в целом.

Коралловые рифы имеются как на Сейшеллах, группе гранитных островов в западной части Индийского океана, так и на вулканическом острове Бермуда в Атлантике. Однако сейсмические измерения в обоих местах показали, что толщина коралловых образований здесь достигает всего лишь нескольких сотен футов. Несмотря на то, что обе группы островов стоят изолированно и в области глубокого дна океана, они не подверглись оседанию дарвиновского типа, во всяком случае за период роста на них кораллового слоя.

Конечно, возможно, что климат, достаточно теплый для роста коралловых полипов, установился здесь сравнительно недавно, а может быть они образовались на основе, несколько отличной от той, которая характерна для Тихого океана. Позднее мы увидим, что это явное несоответствие геологических условий глубоководных областей различных океанов может быть связано с более широким вопросом — вопросом о перманентности или подвижности материковых массивов. Здесь достаточно ука-

зять лишь на наличие довольно четкой системы громадного количества разнообразных структур в одном только Тихом океане, который сам по себе уже составляет почти половину всей площади земного шара, покрытой океанами.

Техника сейсмических исследований с применением радиоакустических буев была несколько усовершенствована для работ в лагунах атоллов. Здесь необходимо было провести более тщательные измерения по сравнению с теми, которые делались в глубоководных местах. Там считалось возможным, чтобы буй свободно дрейфовал в процессе сейсмических наблюдений, так как допускалось, что на огромных просторах океана изменения геологического строения дна не могли меняться сколько-нибудь резко.

Однако в лагунах буи ставились на якорь с тем расчетом, чтобы было точно известно их местоположение по отношению к атоллу. Сама эта процедура была очень проста: буй спускался с корабля обычным путем и затем отбуксировывался с помощью мотоботов к заранее размеченным якорным стоянкам. Буи, как обычно, были связаны с кораблем по радио. Но если при исследованиях, проводимых в океане, корабль после спуска буя уходил, чтобы сбрасывать заряды, то в случае исследований на атолле запись сейсмических волн проводилась с корабля, стоящего на якоре. В этом было свое преимущество, потому что все время была особенно надежная и бесперебойная радиосвязь с буями. Подрыв зарядов производится с мотобота при помощи кабеля, соединенного с источником электроэнергии. Сами заряды были значительно меньше глубинных и менялись от нескольких унций до двадцати фунтов. В сравнительно мелких водах лагуны этих взрывов было вполне достаточно, чтобы оглушить и перебить множество рыбы. После каждого взрыва раздавались шумные восторженные возгласы, когда на поверхность всплывали серебристые рыбы. Тут же было освоено искусство быстро вытаскивать в лодку одной рукой двух- или трехфунтовых рыб. Поэтому каждый день к концу взрывных работ набиралось по несколько ведер замечательной рыбы.

Сейсмические исследования в лагуне кораллового атолла оказались довольно приятным занятием, благодаря простоте работы с радиоакустическими буями. Применение моторного бота для производства взрывов означало



возможность избежать использования корабля. Регистрирующая аппаратура устанавливалась при этом в маленьком домике на берегу. Все это в целом, конечно, весьма снижало затраты на проведение исследований. Хотя полученные данные были уже вполне достаточны, чтобы получить общее представление о строении атолла, все же желательно было бы получить еще более подробные сведения об его погруженном подводном вулканическом основании и об окружающей его депрессии. К этому можно добавить, что сейсмические исследования пригодятся в качестве предварительных данных для проведения в будущем бурения, которое позволило бы получить образцы горных пород глубоких слоев земной коры. Времени для того, чтобы продолжить сейсмические исследования за пределами лагуны, уже не оставалось, хотя технически это было возможно. Судно вполне могло выйти через один из проходов лагуны и производить взрывы зарядов во время движения по профилю на продолжении линии расположения радиоакустических буев. Такой профиль дал бы возможность установить контуры впадины, образованной в результате прогиба слоя коренных пород со скоростью сейсмических волн  $6,7$  км/сек. При этом можно было бы подтвердить также общую картину строения дна, полученную нами внутри атолла и при работах на станции, расположенной на расстоянии 16 миль от Фунафути.

Жители Фунафути — очень веселый народ. Каждый день они приглашали команду нашего корабля на какие-нибудь спортивные соревнования. Пока мы вели сейсмические работы, на берегу шла ожесточенная спортивная борьба. Проведенные три игры в футбол, одна в крикет, парусные гонки и короткий заезд на каноэ показали прекрасное мастерство жителей острова. Наш корабельный вельбот во время парусных гонок остался далеко позади, несмотря на то, что местные жители так нагрузили свои лодки своими семьями и друзьями, что там буквально негде было повернуться, чтобы управлять парусами.

Лодки на Фунафути были построены по одному и тому же типу, по-видимому скопированному с какого-то европейского суденышка, которое появилось на острове много лет назад. Возможно образцом была одна из тех лодок, которые были привезены сюда экспедицией 1904 г.

Лодки имели большую парусность, что весьма выгодно в условиях легких бризов лагуны<sup>1</sup>.

На чай, который был устроен на борту корабля, собралось почти все население острова, включая и детей, для которых были припасены конфеты и мороженое. После чая последовал просмотр кинокартины. Выбор фильма, подходящего для данного случая, вызвал много споров, так как лишь немногие жители острова имели хоть какое-то представление об английском языке. В конце концов остановились на ковбойском фильме и, как потом оказалось, попали в самую точку, но по совершенно неожиданной причине. Когда начался фильм, с носовой палубы, где устроилась публика, стали раздаваться необыкновенно громкие взрывы хохота, которые, как потом стало ясно, были вызваны отнюдь не комическими ситуациями, задуманными авторами фильма, а лошадьми, появившимися на экране. Дело в том, что жители Фунафути никогда в жизни не видели лошадей, и поэтому эти огромные четвероногие животные, вероятно, казались им такими же странными, как кенгуру или утконос первым путешественникам, посетившим Австралию.

На островах Южных морей имеется много интересного, помимо того, чем занимаются океанографические экспедиции. Это было доказано Томом и Дианой Хепворт во время их плаваний на своей яхте «Артур Роджерс», которая сейчас базируется на Голубином острове группы островов Самоа. Усталость от войны и сознание того, что жизнь весьма быстротечна, породили среди многих людей мечты об уходе от городского шума к новой, более есте-

---

<sup>1</sup> Автор явно недооценивает исключительные способности и вековой опыт жителей Океании в мореплавании и постройке мореходных судов. Их искусство строить и водить через просторы океана парусные каноэ весьма высоко, и вряд ли им пришлось учиться этому у западноевропейских моряков. Именно в Тихом океане была создана остроумнейшая конструкция катамарана — сдвоенного судна, и каноэ с вынесенным в сторону поплавком — аутригером. Оба эти типа судов обладают исключительно высокими мореходными качествами. Жители Океании отважно пускаются в плавание на значительные расстояния, не имея каких-либо навигационных приборов, но используя свой огромный опыт в ориентировке по звездам и различным природным приметам. Они — рожденные мореходы и кораблестроители, но в последние годы старинное мастерство их в известной мере деградирует под влиянием западной цивилизации. — *Прим. ред.*

ственной, хотя примитивной жизни на каком-нибудь удаленном острове, а у тех, кто любит море, — мечты о плаваниях на каком-нибудь корабле. Практические трудности и естественная осторожность останавливали большинство таких юных мечтателей, но только не Тома Хепворта, который успешно плавает по всему Тихому океану на «Артуре Роджерсе» вот уже десять лет. Когда «Челленджер» проходил Панамский канал, он встретился там с искусно отделанным, выкрашенным в белый цвет брик-схемским траулером Тома. Как оказалось, этот участок пути был для него самым трудным в путешествии в денежном отношении, ибо пришлось добывать деньги для оплаты за проход по каналу работой в качестве фотографа на берегу. Позднее участники экспедиции Скриппсовского института «Каприкорн» сообщили, что они видели «Артура Роджерса», покидавшего Таити уже после проведения исследований на Галапагосских островах. Конечно, Том всего лишь моряк, а не океанограф, но он один из тех редких любознательных владельцев судов, которые используют их для морских научных исследований.

Сейсмические измерения имеют давнюю связь с «Артуром Роджерсом», так как еще в 1939 г. он являлся одним из тех двух судов, которые были зафрахтованы Геофизическим отделением Кембриджского университета для проведения одной из первых экспедиций, занимавшихся изучением геологического строения дна западной части Ла-Манша. В те времена заряды взрывчатки опускались на дно и подрывались с корабля с помощью электрического тока. Корпус «Артура Роджерса» не раз испытал резкий удар взрывной волны, когда взрывы производились вблизи корабля. В Южных морях шкипер Хепворт продолжает поддерживать славные традиции исследователей старой школы, но его плавания стали более экзотичными. Так, например, одно время «Артур Роджерс» был туристическим судном, ходившим по островам Южных морей с секретаршами из Австралии, проводящими свой отпуск в поисках приключений. Позднее на корабль были наняты ныряльщики для сбора раковин Трохус. Хепворт занимался также и торговлей в самом старомодном духе, скупая копру на островах, лежащих в стороне от главных морских дорог и редко посещаемых кораблями даже в наши дни. Часть затраченных на покупку копры

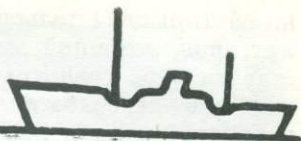
денег он тут же выручал продажей велосипедов, посуды и даже бус.

Кое-кому посчастливилось все же увидеть пальмы и коралловые рифы более легким путем, хотя и не надолго. Работа по сбору разведывательных данных при подготовке Соединенными Штатами десантных операций для захвата островов Тихого океана привела туда многих ученых, которые почувствовали всю прелесть этих уголков Земли. Теперь вероятно среди тех, кто посещает эти места, океанографов уже больше, чем миссионеров.

Путешествие «Челленджера» в Южных морях, продолжавшееся несколько месяцев, началось с Новой Зеландии, где мы провели счастливые шесть недель, устроив себе отдых с экскурсиями на овцеводческие фермы, на горячие источники Роторуа, и с прочими невинными удовольствиями, которые совершенно недоступны людям, битком набитым в маленькую железную скорлупу, движущуюся по морю. В Новой Зеландии местные ученые с энтузиазмом показывали нам свои музейные коллекции, помогая определению видов рыб и птиц, собранных нами в течение предыдущего года, и давая советы по поводу программы наших научных исследований на будущее.

В течение своего двухлетнего путешествия вокруг света «Челленджер» посетил двадцать два различных острова (если включить в число островов Англию, Японию и северный остров Новой Зеландии). Есть какое-то свое очарование в том, чтобы пристать к острову, а не просто зайти в какой-то материковый порт. Можно, конечно, возразить, что в этом рассуждении нет достаточной логики, ибо такие острова, как Цейлон и Ванкувер, сами по себе достаточно велики и по существу являются частью материка, возле которого они расположены. Однако и эти большие острова остаются все же островами, и ограниченность размеров их можно всегда ощутить, объехав их на машине, — при этом море всегда будет поблизости. Вместе с тем надо отметить, что обитатели небольших изолированных островов проявляют, видимо, в значительно меньшей степени неудовлетворенность жизнью, чем это свойственно в обществе, искусственной цивилизацией. Своеобразным наказанием за свободную и легкую жизнь островитян, без сомнения, является отсутствие той большой радости, которую приносят человеку достижения культуры. Но взамен этому жизнь на островах дает те про-

стые и невинные радости, которые делают островитян по-детски счастливыми, и тому, кто проведет свою жизнь на маленьком острове, несомненно, нет причины сожалеть об этом. Уровень жизни там, может быть, несравненно ниже, чем в западных странах. Но такое сопоставление является ошибочным, так как оно основывается на деньгах, которые необходимы лишь для покупки одежды, жилища, пищи и удовольствий. В тех же местах, где сама природа дарит пищу и где благодаря особенностям климата почти не требуется никакой одежды, бессмысленно оценивать богатство теми же критериями, которые приняты людьми в больших городах. И в самом деле, кому понадобится автомашина на коралловом атолле?



## VII. *Второй слой*

Смысл всех этих вещей становится ему яснее всего во время долгого плавания в океане.

Рейчел Карсон, *Море вокруг нас*

Сейсмические исследования методом преломленных волн в океане — это медленное и дорогое дело, поэтому результаты каждого взрыва, сделанного во время таких работ, тщательно изучаются. Некоторые из полученных записей не используются до тех пор, пока не закончена полная обработка всех результатов, длящаяся в течение нескольких месяцев после окончания экспедиции. Конечно, это ненормально, и было бы гораздо лучше, если бы при длительном плавании сразу же извлекать все возможные результаты из каждого эксперимента, прежде чем отправляться в другое место, где можно ожидать совсем иных данных. При тщательном изучении сейсмических записей «Челленджера» были обнаружены волны, которые трудно объяснить той простой геологической структурой, состоящей из слоя осадочных пород, слоя  $6,7$  км/сек и мантии, — структурой, которая устанавливается по обычной картине преломленных волн. Эти необычные волны свидетельствуют о разделении осадочного покрова на слой рыхлых отложений и на «второй слой», который и дал название этой главе.

Если мы допустим, что слой  $6,7$  км/сек распространен по всей Земле как первичный материал ее коры — а имен-

но об этом свидетельствуют сейсмические данные, — тогда материал, лежащий выше этого слоя, должен быть представлен либо гранитными породами (плюс громадное количество переработанных отложений, происходящих из первичной породы), либо осадками, которые отлагались на дне океана в виде рыхлого ила. В структуре дна глубокого океана место второго слоя — между илом и первичной корой. Сейсмические результаты всегда указывают на существование второго слоя, и мы должны рассмотреть в этой главе различные предположения о его природе, геологически обоснованные и подтверждаемые сейсмическими исследованиями.

Во время своего плавания в Тихом океане экспедиция на «Челленджере» получила много материалов для изучения слоя рыхлых осадков и второго слоя в самых различных геологических условиях — около островов и подводных гор, на ровных участках дна в центральных частях океана, вблизи материков и по обеим сторонам андезитовой линии. Полученные материалы сопоставимы с результатами, достигнутыми перед тем в Атлантическом океане, где второй слой был установлен достаточно определенно, так как он обладает значительной мощностью и с ним связаны четкие вступления преломленной волны. Однако некоторые особенности второго слоя с большей уверенностью можно установить только в Тихом океане, где они выражены наиболее отчетливо. Нет сомнения, что широкие научные исследования должны в данном случае дать более ценные результаты, чем детали структуры, изученные на каком-либо маленьком участке и имеющие лишь локальное значение.

«Челленджер» вернулся в Японию из Южных морей в ноябре. К несчастью, все плавание проходило в условиях почти неизменной зимней штормовой погоды, так как в 1951 г. нам пришлось испытать сразу три зимы подряд — сначала в Канаде, затем в Новой Зеландии и, наконец, в Японии. Это не было вызвано какими-либо ошибками задуманных планов, а явилось следствием непредвиденных и независевших от нас задержек в Англии, еще до того как экспедиция покинула гавань. Несмотря на то, что зимнее плавание проходит обычно в плохую погоду, препятствующую проведению сейсмических исследований, это все же не мешало нам любоваться различными достопримечательностями. Была уже весна, когда наш корабль



*«Челенджер»*





*Участники экспедиции (справа — автор) на одном из островов Южных морей*

впервые пришел в Куре, и клены покрылись свежей листвой на чудесном священном острове Миодзима, куда легко было добраться из порта на простой лодке. А на обратном пути — уже осенью — мы вновь любовались листвой этих замечательных кленов, теперь уже золотой и багряной.

Основной работой нашего корабля в течение всей этой зимы была съемка внутренней гавани Оминато, поскольку предвиделась возможность использования ее для стоянки флота в связи с войной в Корее. Зима в северной Японии не обещала нам ничего приятного, но на самом деле она прошла совсем неплохо. Это напомнило прошлую зиму на островах Королевы Шарлотты, где, казалось, также можно было ожидать самой отчаянной скуки и где мы тем не менее очень хорошо провели время благодаря исключительному гостеприимству жителей Оминато (небольшого рыбацкого поселка). В нем около 11 тысяч человек, чьи дома разбросаны по берегу у подножья такого типичного вулканического конуса, какие часто можно видеть на картинах японских художников. Сейчас этот вулкан спокоен и его кратер заполнен водами озера. Однако горячие источники и отложения серы свидетельствуют о скрытых силах, все еще таящихся в его недрах.

В тех частях мира, где существуют действующие вулканы, они вызывают у людей чувство постоянного страха. Но этот страх в какой-то степени компенсируется чрезвычайно высокой температурой пород чуть ли не сразу под поверхностью грунта, что обеспечивает почти неиссякаемый запас пара и горячей воды и, например, в Ладорелло (Италия) и в Роторуа (Новая Зеландия) оказалось экономически выгодным использовать эту природную силу для производства электрической энергии. Значительно раньше горячие источники уже использовались для устройства приятных и успокаивающих целебных ванн. Мы вполне оценили их достоинства после довольно строгих ограничений на корабле, имевшем лишь небольшой запас воды для умывания. Для того, чтобы попасть к минеральному источнику Дого, нужно совершить приятную трехчасовую прогулку на катере по Внутреннему Японскому морю. Там, кроме глубоких и роскошных общих ванн, находится специальная отдельная ванна для самого императора. Турецкие бани в Токио оформлены в стиле американской парилки, но превосходный массаж, включающий пляс-

ку на вашей спине прекрасных турчанок, безусловно является повинкой для тех, кто прибыл с Запада. В Оминато в общественных ваннах такой роскоши не было, но и в них можно было достичь такого состояния, когда горячая вода проникала чуть ли не до самых костей, выгоняя оттуда холод сильных зимних ветров. Зимой все улицы в Оминато покрыты плотным снегом и всюду можно видеть лыжи и сани. Лыжи используются не только как средство передвижения, но и со спортивными целями, и конечно одежда, которая совсем не похожа на костюмы, принятые на фешенебельных курортах Европы, выбирается по соображениям удобства, а не по законам мод.

В Оминато мы провели пять месяцев, и за это время корабль несколько раз уходил в Куре за горючим. Члены экспедиции, не входящие в состав команды, т. е. научные сотрудники, могли объездить весь остров Хонсю — сверху донизу, причем по суше, а не древним морским путем. Поезд проходит через Хиросаки, где можно увидеть, как изготавливаются кустарные изделия из лака типа Аомори: капли разных красок падают на ровную поверхность, затем им дают высохнуть, затем снова капает краска. После длительной шлифовки и полировки возникает характерный полосчатый рисунок. Южнее Аомори поезд идет через Акиту, которая знаменита своими нефтяными промыслами, рисом и — в отличие от других пустынных нефтеносных районов — красивыми девушками.

Хиросима расположена недалеко от морской базы Куре, и мы съездили туда, чтобы пригласить студентов университета посетить наш корабль. Мы увидели, как быстро восстановлен этот город после разрушений, вызванных атомной бомбой. В том месте, где был центр взрыва, сохранился небольшой участок развалин как своеобразный музей. Не нужно особых усилий, чтобы вообразить неимоверный ужас, царивший здесь в то грозное утро, когда солнечный свет померк и пала тьма. Однако люди уже переживали различные природные катастрофы, которые возможно были страшнее атомной бомбы, и теперь город Хиросима вновь живет суетливой и энергичной жизнью. Масса студентов переполнила наш корабль, приехав посмотреть на океанографические приборы. Было приятно видеть такой живой интерес к научным исследованиям, которые должны помочь в предупреждении земных катастроф, не поддающихся контролю человека.

Однажды вместо Кюре для снабжения горючим был выбран порт Иокосука, и мы смогли посетить Токио. Сквозь облака была видна вся гора Фудзи и мы, наконец, смогли похвастаться тем, что нам известны теперь те три вещи, которые должен знать каждый, кто приезжает в Японию,— гора Фудзи, гейши и сучи (сучи — это легкая закуска для коктейля, состоящая из рисовых шариков с хреном и тонких полосок рыбы или морских водорослей; гейши, надо полагать, в описании не нуждаются). В общем в Японии много интересного и было даже немного досадно возвращаться к нашим исследованиям. В зимнее время сейсмические эксперименты в море были очень тяжелыми. Радиоакустические буи устанавливались вблизи корабля и взрывчатка подрывалась с корабельного моторного бота.

Мы брали с собой громадные термосы с горячим супом, но все равно было ужасно холодно возиться с мокрыми кабелями. Поэтому, когда мы возвращались на берег, стаканчик горячей японской водки — sake — в местном ресторане был особенно приятным. Однажды мы зашли по этому поводу в небольшую таверну, как вдруг ее хозяйка с тревожным криком выбежала на улицу. Земля начала дрожать, и тогда мы поняли, что происходит. Появилось такое чувство, словно мы очутились на шаткой платформе большой и тяжелой машины. Амплитуда колебаний достигала нескольких дюймов, продолжались они секунд десять. Мы невольно подумали о разрушенных домах и зияющих трещинах на поверхности земли. Но деревянные постройки хорошо противостояли толчкам, и никаких разрушений не было. Очаг землетрясения находился на расстоянии многих тысяч миль, где-то под дном Тихого океана. Японцы великолепно знакомы с землетрясениями, и горький опыт многих поколений научил их строить такие дома, которые могут выдержать все, кроме самых сильных толчков вблизи от эпицентра землетрясения. «Челленджер» в это время стоял на якоре и его машины не работали. Ударная волна хорошо передается через воду, и поэтому на корабле ощущали такое сотрясение, которое появляется при пуске машин. Позднее — уже в течение дня — выяснились печальные последствия этого землетрясения. Подводный толчок вызвал волну, которая в сущности напоминала быстро бегущую рябь от камня, брошенного в воду. Эта волна перемеща-

лась со скоростью хорошего легкового автомобиля, но, конечно, медленнее, чем сейсмические волны, проходящие через Землю. Лишь через несколько часов после наземного толчка громадная приливная волна хлынула на побережье Хоккайдо, самого северного из больших островов Японии; она вызвала человеческие жертвы и причинила большие разрушения. Командование флота организовало большие спасательные операции. О таких бедствиях должна теперь своевременно сообщать специальная Тихоокеанская система предупреждений цунами, и, несомненно, исследования, начавшиеся с чисто научными целями, должны в конечном счете оказать помощь в этом деле и уменьшить число жертв. Однако и в таких случаях трудно избежать неожиданностей. Когда было дано предупреждение о том, что волна цунами должна хлынуть на побережье Калифорнии, работники спасательной службы никак не думали, что это вызовет совершенно иной результат. Толпы туристов устремились на пляж, желая посмотреть эту волну. К счастью, природа оказалась на этот раз милостивой и никаких неприятностей не произошло. Землетрясение вызвало лишь очень небольшую волну, быть может, потому, что его очаг находился глубоко в недрах Земли.

Слой рыхлых отложений в заливе Оминато лежит на твердой породе. На первый взгляд, это похоже на то, с чем мы встречаемся на дне самого Тихого океана, но имеется большая разница в скорости сейсмических волн, определенной в слое твердой породы. Она равна всего  $6,4$  км/сек, т. е. значительно ниже известной нам скорости  $6,7$  км/сек, обнаруженной повсюду в глубоком океане. По-видимому, Японские острова были созданы вулканическими извержениями, которые чередовались с поднятиями и опусканиями всей области дна в целом. То же самое характерно и для Меланезии, расположенной к северу от Новой Зеландии. Структура дна океана в этой области по своим свойствам занимает промежуточное положение между типичным дном настоящего океана и типичным материком. Развитие этой области шло в течение сотен миллионов лет с постепенным образованием островов и с наращиванием площади материка.

Мощность осадочного слоя в Оминато колеблется от трех до шести тысяч футов, что значительно превышает среднюю мощность порядка тысячи футов, установленную

для осадочного покрова на дне глубокого океана. Этого и следовало ожидать, поскольку близость суши обеспечивает непрерывное поступление обломочного материала, выносимого в море реками. В открытом океане материал поступает преимущественно сверху, а не приносится течениями со стороны. Большое количество осадочного материала непрерывно поступает в океан из космоса в виде метеоритной пыли. Иногда на Землю падают и большие метеориты, которые являются существенным дополнением к постоянному поступлению космического вещества на земную поверхность. Значительные количества материала поставляют вулканические извержения, выбрасывающие в воздух массу мелких твердых частиц, которые затем постепенно оседают из атмосферы под давлением гравитационного притяжения. Кроме того, остатки морских организмов (раковины и органические остатки мертвой фауны и флоры) также входят в поток обломочного материала, непрерывно выпадающего вниз на дно океана. Многие известковые раковины и скелеты растворяются в воде, так и не достигая дна океана, и поэтому глубоководная красная глина состоит преимущественно из кремнистых обломков. Однако на относительно меньших глубинах глобигериновый ил уже содержит большое количество известковых раковин. Тщательное изучение донных осадков может дать очень много для познания геологической истории. Иногда в осадках встречаются необычные для них гальки или даже валуны, и нужно иметь в виду, что эти «эрратические валуны» могли попасть в осадок благодаря ледовому разному, выпадая вниз после того как растаяли айсберги, унесшие их с далекой суши.

Имеется особый тип горизонтального движения осадочного материала, влияющий на распределение осадков на дне океана. Это нисходящий поток материала вниз по склону — от материковых шельфов к океанским глубинам, — который не только увеличивает мощность слоя ила, покрывающего дно океана вблизи подножья материкового склона, но и сглаживает местные неровности первичного рельефа коренных пород. Путем детального и всестороннего анализа образцов, взятых со дна океана, можно определить соотношение количеств обломочного материала, принесенного с материков и образовавшегося непосредственно в океане. Следует ожидать, что осадоч-

ные слои будут наиболее мощными около суши, со стороны которой непрерывно выносятся большие количества осадочного материала. Именно такую картину и обнаруживают сейсмические исследования. В Тихом океане, например, мощность осадков в нескольких сотнях миль к востоку от Японии составляет около 3000 футов, тогда как на более удаленных от суши станциях средняя мощность не превышает 1000 футов. Сопоставление полученных результатов измерения мощности осадочного покрова с глубинами показывает вместе с тем, что мощность осадочной толщи обычно бывает тем меньше, чем больше глубина, причем станции с относительно меньшими глубинами расположены ближе к суше, чем глубоководные. Следует иметь в виду, что при определении средних величин мощностей осадочного покрова необходимо проявлять крайнюю осторожность, поскольку в прошлом могли быть существенные изменения механизма переноса обломочного материала. Приемлемые числовые значения мощностей могут быть получены лишь с учетом влияния рельефа дна океана и особенностей процесса осадконакопления, о которых можно судить по образцам донных осадков. Количество сейсмических исследований в океанах до сих пор все еще слишком мало, и поэтому результаты каждой станции должны оцениваться с учетом всех доступных материалов и только после этого можно сопоставлять данные различных станций. Действуя таким путем, мы можем вычислить общее количество осадков, отложенных в океане, и вместе с тем определить относительные объемы материала, поступавшего с материков и из космического пространства.

При оценке результатов сейсмических исследований встречается и еще одна трудность. В гл. IV уже объяснялось, как преломленные сейсмические волны дают нам подробную информацию о структуре главного слоя твердых пород под дном океана — слоя 6,7 км/сек. Глубина залегания этого слоя под поверхностью дна определяется с достаточной уверенностью, но данные о мощности и структуре покрывающего его слоя очень скудны. Верхняя часть этого слоя несомненно представлена рыхлыми отложениями; их образцы были получены со дна океана тралами и грунтовыми трубками. Однако у нас нет никаких доказательств того, что рыхлые осадки продолжают вглубь вплоть до кровли слоя 6,7 км/сек. Больше

того, в отдельных местах, например вокруг островов, атоллов и подземных гор, сейсмические исследования отчетливо устанавливают существование промежуточного слоя породы между рыхлыми отложениями и слоем  $6,7 \text{ км/сек}$ . Это и есть тот второй слой, о котором мы уже говорили. Состав этого промежуточного слоя совершенно ясен в тех случаях, когда сейсмические исследования улавливают корни вулканических образований, уходящие в глубину слоя  $6,7 \text{ км/сек}$ . Сложнее получается в том случае, когда мы начинаем анализировать результаты сейсмических исследований на ровных участках дна океана, вдали от островов и подводных гор. Существование второго слоя обнаруживается и в таких местах. Еще до вступления основных волн из слоя  $6,7 \text{ км/сек}$  наблюдаются немногочисленные преломленные волны, свидетельствующие о наличии слоя мощностью около 3000 футов, в котором скорость сейсмических волн колеблется от 5 до  $6 \text{ км/сек}$ . В открытом океане эти преломленные волны выражены не столь определенно, как аналогичные волны вблизи островов, поскольку второй слой имеет здесь очень небольшую мощность и волны со скоростью  $6,7 \text{ км/сек}$  приходят раньше (почему — это уже объяснялось в гл. III). Однако само существование второго слоя в океане определенно подтверждается также и отраженными волнами, приходящими в некоторых случаях с поверхности контакта пород ниже дна океана, но все же не с такой большой глубины, чтобы их можно было связывать с поверхностью слоя  $6,7 \text{ км/сек}$ . Интенсивное отражение волн при этом обусловлено значительным контрастом в скорости их прохождения в рыхлых осадках и подстилающем их слое. Судя по интенсивности отражения, для второго слоя должна быть характерна скорость порядка  $5-6 \text{ км/сек}$ . Имеется и другой признак, правда довольно косвенный, который можно вывести из анализа сейсмических записей. Обычно и преломленные и отраженные волны, используемые в сейсмических экспериментах, являются волнами сжатия (продольными.— *Ред.*), распространяющимися как в жидкой, так и в твердой среде, что обусловлено наличием упругих свойств у обеих этих сред. Мы уже видели, рассматривая строение ядра Земли, что твердые тела могут, кроме того, передавать сейсмические волны иного типа, зависящие от жесткости среды и ее способности сопротивляться изгибающим силам. Жидкие тела не



обладают такими свойствами, они не могут вибрировать подобно стальной пружине и поэтому не передают волн второго типа, которые называются поперечными. Такие волны обычно не используются в сейсмических экспериментах: их скорость значительно меньше, чем у продольных волн, и они никогда не приходят к регистрирующим приборам в первых вступлениях. Но иногда они все же настолько интенсивны, что их присутствие можно установить даже на фоне других волн.

Чистые поперечные волны можно наблюдать на некоторых глубоководных сейсмограммах. Поскольку эти волны не проходят сквозь воду, следует предполагать, что они образуются в результате преобразования первичной продольной волны. Лабораторные опыты показали, что такое преобразование действительно может иметь место, но только при определенных обстоятельствах. Вряд ли это возможно, например, если волны из морской воды проникают в рыхлый ил. Необходимо более резкое изменение плотности и твердости породы. Присутствие поперечных волн в сейсмических записях свидетельствует следовательно о том, что где-то в слое осадков податливый рыхлый материал сменяется чем-то более жестким. Цифровые величины, полученные при измерениях, не противоречат той картине, которую дают нам преломленные и отраженные продольные волны. Существование второго слоя — особого слоя породы между рыхлыми осадками на дне океана и слоем  $6,7 \text{ км/сек}$  — устанавливается, таким образом, с достаточной очевидностью не только около островов и подводных гор (где, собственно, в его наличии можно не сомневаться), но и на ровных участках дна.

Второй слой вблизи островов несомненно состоит из изверженного вулканического материала, что вполне подтверждается данными, приведенными в гл. VI. Имеет ли второй слой в остальных частях океана также вулканическое происхождение? Кажется невозможным, на первый взгляд, чтобы изверженного вулканического материала хватило для образования сплошного покрова на всем пространстве дна океанов. Кроме того, если такое громадное извержение когда-либо и происходило, то оно должно было быть сотни миллионов лет назад, так как на твердом втором слое сейчас лежит покров медленно отлагавшихся рыхлых осадков. На суше мы знаем, правда, большие лавовые покровы. Они занимают, например, всю область

Деканского плоскогорья в Южной Индии, да и, кроме того, большинство главных горных систем сложено излившимися массами вулканической породы. Но площадь суши вдвое меньше площади океанов, и для образования повсеместного покрова вулканического материала на дне океана нужна такая деятельность вулканов, масштабы которой отличаются от всего того, что мы наблюдаем на материках. Разумеется, в этом нет ничего невозможного. Ведь мы уже видели, что структура пород ниже дна океана совсем иная, чем на материках, и характер вулканических извержений в этих двух случаях может быть также разным.

На дне Тихого океана второй слой вероятнее всего большей частью состоит из твердого слоя известняка. Он мог образоваться, скажем, в течение мелового периода — несколько сотен миллионов лет назад. В то время необычайно интенсивное развитие морских организмов сопровождалось отложением мощных толщ песчого мела и известняка во всех частях мира. Если обилие известковых морских животных было характерным для неглубоких морей, где отлагались мощные толщи континентальных пород, то естественно усиленная жизнедеятельность организмов могла происходить и в глубоких океанах. Дальше мы увидим, что меловой период был критическим в геологической истории Земли, и изменения климата, по-видимому, сопутствовали происходившим тогда другим катастрофическим переменам. Существование слоя известняка мощностью в несколько сотен футов, лежащего под слоем глинистых осадков мощностью от одной до двух тысяч футов, хорошо объясняло бы сейсмические записи, полученные в глубоководных областях Тихого океана. Правда, эти данные могут свидетельствовать о двух возможных вариантах структуры. Скорость волн во втором слое вблизи островов, где он имеет большую мощность, несколько отличается от скорости в этом же слое на ровных участках дна глубокого океана. Вокруг островов, где вулканическое происхождение второго слоя не вызывает сомнений, средняя скорость сейсмических волн в нем около 4,5 км/сек, а в удаленных от островов и глубоких частях океана — 5,5 км/сек и более. Имеющиеся немногочисленные наблюдения показывают, что средняя мощность второго слоя также неодинакова — свыше 6000 футов у островов и менее половины этой цифры в открытом океане.

Как показывают исследования образцов вулканических пород, собранных на Гавайских островах, вулканическим породам соответствует скорость  $4,5 \text{ км/сек}$ . Большое значение скорости во втором слое может соответствовать либо другому типу вулканической породы или же такой плотно сцементированной осадочной породе, как известняк. Если действительно существует повсеместный покров известняка в виде слоя мощностью в несколько сотен футов, свидетельствующий об особой фазе в геологической

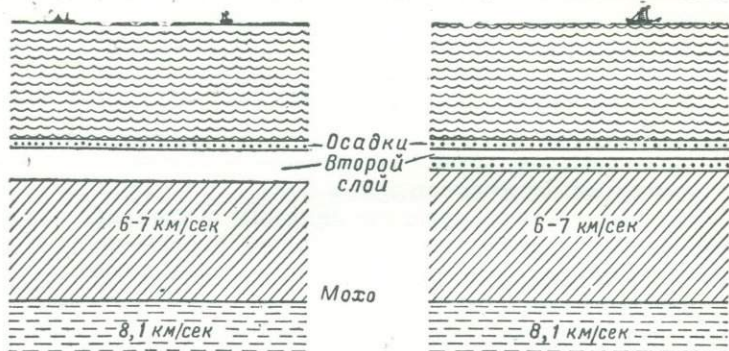


Рис. 7. Две интерпретации второго слоя — толстый слой осадков (слева) или «сэндвич» (справа).

и биологической истории океанов, то под ним может находиться еще один слой рыхлого глинообразного материала. При такой интерпретации второго слоя он должен играть роль лишь прослоя, напоминающего прослойку варенья в сэндвиче. Если это представление верно, то мы получим несколько иные значения мощности осадочного покрова, включающего второй слой и рыхлые донные отложения, подсчитав их по данным сейсмических измерений с учетом соответствующих значений скорости. Тогда вместо вертикального разреза дна океана, состоящего из 1000 футов глины, подстилаемых 3000 футов твердой вулканической породы или — что вероятнее — известняка, соответствующих второму слою, мы получим в результате другого варианта подсчетов сэндвич из нескольких сотен футов твердой породы второго слоя и разделяемых ею двух 1000-футовых слоев глины.

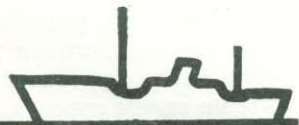
Представление о сэндвиче, состоящем из рыхлых осадков с твердым известняком в центральном слое, является

для Тихого океана вполне приемлемым. Такой сэндвич должен покрывать весь океан вдали от материков. Он усеян вулканическими выступами в форме островов, коралловых атоллов и подводных гор, окруженных выровненным чехлом вулканической лавы, который в свою очередь перекрыт тонким слоем рыхлых осадков. Их мощность, естественно, зависит от возраста вулканического извержения и продолжительности последующего осадконакопления. Тихий океан должен быть упомянут особо, потому что он гораздо шире других океанов и процессы осадконакопления в нем не слишком резко нарушаются приносом обломочного материала с материков. Кроме того, Тихий океан и часть Индийского, как мы увидим позднее, по ряду признаков возможно являются единственными первичными океанскими областями Земли, тогда как Атлантика и другие океаны могли быть образованы позднее, в результате вторичных процессов.

Сейсмические исследования, проводившиеся на «Челленджере» и в других экспедициях, были направлены на то, чтобы выяснить геологическое строение дна океана. Этот метод очень хорош для определения глубины залегания главного слоя твердых пород, но его возможности для выяснения природы пород, образовавшихся выше этого слоя, на первичном дне океана, весьма ограничены вследствие осложняющей исследования большой мощности слоя воды. На суше эта проблема решается проще, с помощью обычных сейсмических исследований методами отраженных и преломленных волн. Скорость волн в осадках и втором слое могла бы быть точно установлена посредством измерений на коротких расстояниях между пунктом взрыва и приемным пунктом. Однако при работах в океанах волны с близких расстояний заглушаются более сильными водными звуковыми волнами, распространяющимися непосредственно от взрыва. Существует путь для преодоления этой трудности, испытанный без особого успеха во время первых морских сейсмических исследований: вся приемная аппаратура и заряд взрывчатого вещества размещались непосредственно на дне океана (так делалось в довоенных экспериментах в Ла-Манше). Но на глубинах, превышающих несколько сотен футов, это нельзя сделать без помощи корабля, специально приспособленного для укладки на дно кабеля. Однако стремление к подробному изучению распространения преломленных волн в рыхлых

осадках было настолько сильным, что в конце концов была изобретена аппаратура, в которой соединялись вместе заряд взрывчатого вещества, приемники и самописец. С корабля он опускался на тросе до самого дна океана, а затем с помощью программного часового механизма с определенными интервалами производились взрывы.

Если такая аппаратура окажется пригодной к работе, то с ее помощью нам, возможно, удастся разрешить все загадки, связанные со вторым слоем и рыхлыми осадками. Нужно определить точные скорости сейсмических волн для второго слоя и добиться четкой регистрации преломленных волн, которые смогли бы дать возможность выделить тонкий второй слой от более мощного, так как сейсмические волны плохо передаются в слое с небольшой мощностью. Для дальнейшего развития исследований дна океана, по-видимому, нужны какие-то принципиально новые методы. При повторении стандартных измерений в других частях океана мы сможем, конечно, получить какой-то новый материал. В этом отношении именно измерения, сделанные непосредственно на дне океана, а не с поверхности воды, также помогут сделать еще один шаг вперед. Но и этого будет слишком мало. Настало время для какого-то нового экспериментального подхода, который мог бы сделать революцию в геологических исследованиях дна океана.



## VIII. Осадки на дне океана

Да, там была Тайна — ответила Фальшивая Черепаха, считая предметы своими лапами, — Тайна столь же древняя, как сама наука о море...

Льюис Кэрролл, *Алиса в стране чудес*

**П**ри взгляде на заголовок этой главы приходит любопытная мысль: правильно ли было начинать изучение глубин Земли с мантии, а затем двигаться вверх — через земную кору к осадкам, покрывающим дно океана? А между тем такой необычный порядок изучения диктуется сейсмическими измерениями, поскольку они дают нам новые факты, позволяющие понять структуру дна океана, именно в такой последовательности. Результаты сейсмических экспериментов и эхолотных исследований четко фиксируют кровлю и подошву слоя  $6,7$  км/сек и кровлю рыхлых осадков. Тем самым они дают нам определенные и достоверные границы, не зависящие от интерпретации данных, касающихся слоев, лежащих между этими границами. (Проницательный читатель должен заметить, что наиболее определенными границами являются времена прохождения волн, а не глубины слоев, ибо когда мы вводим в расчет предельные значения скорости звука в разных породах, то вводим еще одну переменную величину.) При любом истолковании фактов сейсмические эксперименты показывают глубину поверхности Мохо и глубину слоя  $6,7$  км/сек (от поверхности океана) в весьма близком приближении.

Иногда мы располагаем экспериментальными результатами, относящимися ко второму слою, которые можно использовать с удовлетворительной точностью. К сожалению, мы не знаем способов для того, чтобы установить, является ли второй слой тонкой прослойкой — подобно прослойке варенья в сэндвиче — или же он повсюду занимает весь промежуток между рыхлыми осадками и слоем  $6,7 \text{ км/сек}$ . А это вносит некоторые неясности в определение мощности осадков. Если мы будем считать, что второй слой имеет структуру, напоминающую прослойку сэндвича, то в этом случае примерно в середине 2000-футового слоя осадков окажется центральная прослойка твердого известняка мощностью порядка сотни футов. Но, с другой стороны, здесь может быть и всего лишь 1000 футов осадков, лежащих на вулканическом втором слое. Кроме того, если второй слой является твердым известняком, то общая мощность осадков до границы слоя  $6,7 \text{ км/сек}$  должна слагаться из 1000 футов рыхлых отложений и примерно 3000 футов известняка. В целом, это больше чем вдвое превышает количество осадочного материала, вычисленного для структуры, напоминающей сэндвич, поскольку фут сцементированного известняка эквивалентен более чем футу рыхлых осадков. Непосредственные наблюдения, которые могли бы выяснить все эти загадки, отсутствуют, и поэтому образование осадочных отложений на дне океана и их значение для океанографии пока еще не рассматривалось. В этих отложениях лучше всего могла сохраниться летопись геологической истории Земли, по крайней мере, с того момента, когда из атмосферы выделилась вода. По всей вероятности, новые приборы, разработанные физиками, помогут в недалеком будущем дополнить сейсмические данные, и тогда слой осадков станет той частью океана, о которой мы будем знать больше всего.

Непрерывное выпадение осадков на дно океана должно нести на себе определенные следы событий геологической истории Земли. Если бы можно было собрать полный последовательный ряд образцов из всего разреза осадочного покрова, то по изменению текстуры, окраски и химического состава глин и твердых пород мы смогли бы установить главные климатические изменения, периоды горообразования и сильной вулканической деятельности. Вторым слоем — это можно сказать даже без изучения непрерывного ряда образцов — является примером исключительно

резкого изменения обстановки во всем мире. Мы могли бы узнать, изучив его, очень многое. Известно, что пыль из верхних слоев атмосферы содержит радиоактивные элементы, которые будут продолжать распадаться и после того, как они были погребены в слое осадков на дне океана. В результате изучения этих элементов мы получаем точную шкалу времени, основанную на изотопном анализе. Хорошо известный изотоп углерода ( $C^{14}$ ) является в этом отношении одним из самых полезных среди таких индикаторов геологического времени, хотя скорость его распада такова, что он обеспечивает определение возраста событий, происходивших не более 50 тысяч лет назад, — иначе говоря, он показывает скорее историческое, а не геологическое время. Однако и такой промежуток времени достаточно длителен, чтобы изучить особенности условий накопления верхнего слоя осадков. Возраст образцов, собранных с поверхности дна океана, всегда составляет несколько тысяч лет, и для объяснения этого факта приходится предположить перемешивание осадков, по крайней мере, в пределах нескольких верхних дюймов. Если такое перемешивание всегда происходило на дне океана, то следует быть осторожным при определении возраста слоев по скорости осадконакопления и по радиоуглеродным измерениям. В научных исследованиях часто бывает именно так: весьма ясная на первый взгляд картина оказывается сложной и запутанной в деталях.

Старое представление о неторопливом «снегопаде» осадочного материала, который год за годом или сезон за сезоном ложится на дно океана, сохраняя в себе следы изменений окружающей обстановки, должно быть несколько пересмотрено. Слои «снега» (т. е. осадков) перемешиваются, попадая на дно, и вовсе не создают такую четкую картину, как, например, слои снега на Антарктическом ледяном щите, что легко можно обнаружить с помощью отбора последовательных проб или при бурении вертикального разреза. На дне океана — это вполне естественно — происходит постоянное перемешивание осадков, о котором можно догадываться уже по тому, что во взятых оттуда пробах мы часто находим голотурий, способных зарываться в рыхлые осадки на несколько футов. Даже в самом благоприятном случае их деятельность обязательно приводит к определенному вертикальному перемешиванию слоя осадков. Благодаря совершенствованию подводных фотоап-



паратов с электронными вспышками для фотографирования дна океана на больших глубинах было установлено, что там действительно идет интенсивная жизнедеятельность животных организмов. Следы голотурий и других животных очень часто встречаются на фотоснимках ровного дна глубокого океана, и они вовсе не являются единственным признаком нарушения спокойного залегания осадков. Дно океана во многих случаях изборозжено полосами ряби и значительными скоплениями песка, образующими шлейфы за небольшими камнями. Значит, на дне глубокого океана происходит движение воды, достаточное для перемещения и переотложения материала, оседающего сверху. Современные технические средства показывают нам, что там, в глубинах океана, не царит вечная безмолвная и спокойная ночь. Наоборот, океанографы теперь часто обнаруживают признаки, свидетельствующие о движении донных осадков, по крайней мере, в некоторых областях океана. Древние конкреции, поднятые трапами со дна, содержат зубы акул, вымерших еще в третичном периоде несколько сот миллионов лет назад. Эти зубы могли сохраниться от захоронения осадками только благодаря движениям придонного слоя воды.

Если движение воды на дне глубокого океана способно перемещать осадки, то оно должно быть достаточным и для того, чтобы в придонных слоях воды продолжалось растворение некоторых частей обломочного материала. Если оно происходит очень интенсивно по отношению к радиоактивным химическим веществам, поступившим из атмосферы, то будет нарушено равновесие, необходимое для вычислений возраста. В какой-то степени можно пожалеть, что на дне океана нет тихого и безмолвного ландшафта, напоминающего зимний снежный пейзаж. Это было бы гораздо более благоприятным для того, чтобы восстанавливать историю далекого прошлого, изучая длинные колонки донных осадков. Однако теперь уже ясно, благодаря изучению наиболее длинных колонок, взятых из рыхлых осадков на 50 футов, что осадконакопление в глубинах океана по своей сложности весьма напоминает седиментацию в мелких морях и ни в коей мере не соответствует представлениям о ненарушенном однообразном наслоении. Однако следует иметь в виду, что при сложной в общем картине осадконакопления на дне глубокого океана, несомненно, должны быть участки, где последовательность



*Подготовка к спуску сейсмоакустического буя*



*Из батитермографа вынимаются пластинки с записью*

геологических событий может быть прочитана в колонках осадков с достаточной уверенностью, если тщательно учитывать все нарушающие факторы. В некоторых смыслах придонное движение взвешенного материала, медленно осаждающегося на дно, оказывается для нас благоприятным. Благодаря этому не все формы донного рельефа покрываются осадками и, следовательно, первичный и не преобразованный эрозией тектонический рельеф местами сохраняется в своем первоизданном виде. Но по всей вероятности, все же существует процесс, посредством которого могут быть изменены даже твердые вулканические породы на дне океана. На образцах пород, поднятых драгами с подводных гор, часто встречается корочка черной двуокиси марганца. Некоторые обломки иногда имеют такую форму и облик, словно марганец проникал внутрь и раскалывал их так же, как вода на суше проникает в породу и, замерзая, сильно разрушает ее.

Темнота и покой в океанских глубинах нарушаются не только необычными рыбами и роющими голотуриями. Иногда мощный поток проносится вниз по склонам континентального шельфа, сметая и перемешивая на своем пути рыхлые осадки гораздо сильнее, чем все животные, вместе взятые, или медленные движения воды. Это — так называемые суспензионные потоки, нарушающие залегание осадков в океане сильнее, чем какой-либо другой процесс. Они образованы из взвешенных в воде частиц ила. Эта суспензия тяжелее воды и поэтому стремится стекать вниз. Если дно океана имеет уклон, подобный уклону материкового склона, то смесь воды и ила начинает течь вниз по склону подобно реке. Если склоны имеют значительную длину и крутизну, то стекающая илистая суспензия постепенно набирает скорость, пока, наконец, не помчится со скоростью курьерского поезда. Такой поток обладает большой размывающей силой; он, подобно снежной лавине, прибавляет к своей первоначальной массе вновь размываемые осадки и устремляется вниз до тех пор, пока не попадет на плоские равнины дна глубокого океана, где сохранившаяся скорость потока еще позволяет ему некоторое время двигаться вперед и врезать свое русло в накопившиеся там рыхлые отложения.

Может показаться странным, что поток смеси воды и ила способен двигаться в воде со скоростью экспресса. И, действительно, первые сообщения с суспензионных

потоках были скептически приняты многими геологами. Быть может легче понять это явление, если сравнить его со снежными лавинами в горах. В некоторых лавинах снежная масса сравнительно медленно скользит по подстилающей породе или по другому слою снега, примерно так же, как снег скользит по теплой крыше. Но иногда снег и воздух образуют взвихренную смесь, которая несется вниз по склонам гор со скоростью, измеряемой сотнями миль в час. Кроме того, в горах известны и так называемые кататические ветры, дующие вниз по горным склонам со скоростью около ста миль в час. Они возникают в том случае, когда холодный и, следовательно, более тяжелый слой воздуха турбулентно скользит под обычным теплым воздухом. Большие скорости оказываются вполне возможными, если допустить незначительное сопротивление движению. Известно, что падение тела по вертикали с высоты в сто двадцать футов достаточно для того, чтобы скорость достигла шестидесяти миль в час. Иногда смесь пепла и горячих газов, выбрасываемая вулканом, образует слой, который тяжелее окружающего воздуха. Такой слой уже не сползает плавно по склонам горы, а несется вниз с громадной скоростью, внезапно настигая многочисленные жертвы, как это было с раскаленным облаком вулкана Мон-Пеле. Математические вычисления показывают, что вода со взвешенными частицами ила при турбулентном движении должна течь плоскими потоками толщиной порядка десяти футов с поразительно малым трением. Теоретические представления поддерживаются лабораторными опытами, наглядно показывающими движение суспензионных потоков в воде, которая, на первый взгляд, должна была бы препятствовать их движению вперед. Никто еще не видел суспензионного потока в природных условиях, и если опыты и вычисления доказывают их возможность, то это еще не означает, что они действительно играют какую-либо роль в развитии глубоких океанов. Известны, однако, некоторые факты из морских наблюдений, которые можно легко объяснить, допустив существование суспензионных потоков.

Во многих колонках, взятых с поверхности ровного дна глубоководных областей Атлантического океана, вместо одних только обычных глин обнаружены чередующиеся прослойки песка и ила, в которых содержатся ископаемые, сходные с характерными для мелководных

отложений и безусловно являющиеся остатками животных мелководных морей. Вполне возможно, что некоторое перемещение осадочного материала с мелководий на глубины океана может происходить просто при оползании больших масс осадков по материковому склону, и несомненно оно и происходит на самом деле. Но таким оползанием трудно объяснить перенос песка и ископаемой мелководной фауны на большие расстояния — вплоть до почти плоских равнин глубоководных областей океана. Кроме того, это не объясняет также особенностей слоистости и сортировки песчаных зерен, наблюдаемых в колонках и хорошо соответствующих теории суспензионных потоков.

Прокладка кабелей в Атлантическом океане была в свое время одной из основных причин организации исследований дна океана, начавшихся в XIX в., но уже в самое недавнее время океанографы и специалисты по прокладке кабелей вновь обнаружили, что их одинаково волнуют удивительные факты, связанные с теорией суспензионных потоков. В течение долгих лет разрывы кабелей связывались с землетрясениями, но всегда казалось странным, почему кабели, поврежденные землетрясением, разрывались не одновременно. Время повреждения обычно отмечалось точно, поскольку кабели находились в действии, и полученные при этом записи давали хороший экспериментальный материал. Возможно, что землетрясение разрыхляло большую массу осадков, сползавшую затем на кабель, но такая огромная масса материала не могла переноситься на большое расстояние, если только не возникал суспензионный поток. Зато суспензионные потоки могли скатываться вниз по материковому склону, разрывая все кабели на своем пути. Если изучить все разрывы кабеля, имея в виду возможность их разрыва суспензионными потоками, то времена разрыва отдельных кабелей будут пропорциональны расстояниям между ними. Эта особенность хорошо объясняется тем, что суспензионные потоки движутся вниз по склону, перемещаясь со скоростью около 50 миль в час при уклоне 1 : 10 и с меньшей скоростью — около 12 миль в час — на более ровной части океанского дна. Следовательно, гипотеза о суспензионных потоках вполне обоснованно объясняет разрывы кабелей, и в свою очередь по времени и местоположению разрывов можно определить скорость движения суспензионных потоков.

Однако теория суспензионных потоков все еще до сих

пор встречается много противников. Вполне возможно, конечно, что наблюдаемая последовательность разрывов объясняется хотя и очень сложными, но все же обычными оползнями. Предлагалось и другое объяснение: разрывы могут вызываться волной разжиженного осадка, образующейся при землетрясении, подобно тому как влажный песок на берегу моря может стать рыхлым и текучим при легком постукивании ногой или лопатой. Однако нужно всегда помнить, что в этом обширном и сравнительно новом предмете океанографии следует избегать догматических суждений. Правильнее сказать поэтому, что на дне океана могут иметь место и оползни и суспензионные потоки, вызывающие разрывы кабелей, но при этом некоторые случаи разрывов могут быть связаны с каким-то еще неизвестным нам третьим процессом. Трудно, однако, объяснить имеющиеся факты без существования суспензионных потоков, и, в частности, каньоны с крутыми стенами, столь характерные на материковом склоне — это еще один возможный пример вероятной активности этих мощных подводных сил. Многие подводные каньоны, судя по данным эхолотов, по-видимому, напоминают такие хорошо известные формы рельефа суши, как Большой Каньон реки Колорадо или ущелье Чеддар. Их образование на суше связано с эрозионной деятельностью рек, и разве нельзя предположить, что стремительно движущиеся суспензионные потоки выполняют точно такую же работу под водой? По мнению некоторых географов нет необходимости объяснять происхождение всех подводных каньонов деятельностью суспензионных потоков, поскольку многие из них создавались обычным эрозионным путем на суше, а затем были погружены под уровень моря вместе со всей окраиной материка. Такое объяснение вполне справедливо для каньонов, находящихся вблизи современной поверхности суши, так как мы знаем, что мощные слои осадков, образующих сушу, отлагались на небольших глубинах и, следовательно, здесь должны были происходить очень большие вертикальные движения. Кроме того, как мы уже видели в гл. IV, сейсмические данные свидетельствуют о том, что породы, слагающие сушу, тянутся вплоть до края континентального шельфа, и поэтому в течение отдельных этапов геологической истории часть материкового склона вполне могла подниматься над уровнем океана. Однако дно океана, судя по сейсмическим измерениям, качествен-

но отличается от материков и оно никогда не становилось сушей, да и сами материки, несмотря на вертикальные движения, никогда не погружались больше глубин материковых отмелей и не затоплялись глубоким океаном, над дном которого всегда было несколько миль воды. Правда, некоторые подводные долины были обнаружены на плоских равнинах ложа океана, но они, по всей вероятности, были врезаны суспензионными потоками. Само существование таких плоских абиссальных равнин требует, как мы уже видели, постепенного перемещения осадков в понижения первичного рельефа, из одной котловины — ловушки осадков — в другую, лежащую на еще более низком уровне и т. д. В данном случае суспензионные потоки могут быть вполне приемлемым процессом, хорошо объясняющим придонное перемещение осадков.

Две хорошо выраженные абиссальные равнины в Бискайском заливе связаны между собой каналом, который очень похож на речную долину суши. Около места стока из верхней абиссальной равнины канал имеет крутой уклон, но по мере приближения к нижней равнине он выполаживается. Картина подводного рельефа, полученная эхолотом, не оставляет сомнений в существовании здесь потока между верхней и нижней равнинами.

Суспензионный поток, очевидно, должен быть связан с землетрясением, по крайней мере в тех случаях, когда речь идет о разрывах подводных кабелей. Вполне вероятно, что каждое внезапное нарушение спокойного залегания рыхлых осадков на подводном склоне может вызвать их движение, напоминающее лавину. Редкие и катастрофические события, вроде громадных волн цунами и ураганов, требуют — для того чтобы оставить ощутимые следы — геологических масштабов времени, поскольку отложения накапливаются очень медленно, и геологи отмечают такие события в пределах миллионов лет. Большие катастрофы в природе происходят раз в десятилетие, а землетрясения, которые достаточно сильны, для того чтобы вызвать движение суспензионных потоков, происходят гораздо чаще. За несколько тысячелетий дно океана испытало достаточно много смещений, которые вполне объясняют его нынешний облик. Следовало бы, наверно, использовать опыт прекрасных и поучительно замедленных киносъемок, показывающих развитие растения. Они делались так: каждый отдельный кадр фильма снимался через



несколько часов, а затем фильм демонстрировался с обычной скоростью, и перед глазами зрителей растение развертывало и вытягивало свои листья, а затем появлялся и цветок. Замедленные съемки на дне океана должны бы быть не менее интересными. У подножия материкового склона интенсивная деятельность экзогенных процессов напоминала бы, наверное, оживленный перекресток в часы пик. Тут и там с большой скоростью проносятся небольшие морские животные. С грохотом летят, словно поезда, суспензионные потоки, а огромные оползни мягко замедляют там свой ход, словно трамвай у остановки. Подводные оползни, стремительные суспензионные потоки, эрозионная работа глубоководных течений, растворение древних осадков — все это в течение длительного времени участвует в формировании дна глубокого океана. Общий же результат деятельности этих процессов, который можно видеть с помощью эхолота или при взятии донных образцов, а в будущем — прямо из иллюминатора батискафа, показывает, что строение осадочного чехла дна океана лишь немногим отличается от структуры мелководных отложений, хотя прежде думали, что между ними существует большая разница.

В некоторых местах на дне глубоких котловин океана также могут иметь место нарушения, вызванные суспензионными потоками. Это может быть на поднятиях, несущих острова, вокруг которых вниз по склонам должны стекать суспензионные потоки. На возвышенностях, где имеются признаки вулканической деятельности, также нельзя взять типичных колонок с нормальной стратификацией, и поэтому выбор места для взятия колонок глубоководных осадков оказывается довольно трудным делом. Это, конечно, не означает, что любая колонка не будет репрезентативной для понимания основных особенностей осадконакопления, а просто свидетельствует об изменении самой проблемы: вместо одинакового покрова осадков на дне всех океанов мы имеем в действительности нарушенную местами и перемешанную толщу осадков сложной структуры иногда с примесью материала, принесенного с мелководий. Но так же, как и на суше, геологи подчас находят полный разрез слоев горных пород, позволяющий объединить длительные и разобщенные периоды осадконакопления. А это дает возможность восстановить всю геологическую историю.

Если сравнить мощность осадков, обнаруженных сей-

смическими методами на дне океана, с оценками скорости осадконакопления, то можно определить возраст океана. Трудно, конечно, получить достоверную среднюю скорость накопления для глубоководных осадков. Изучение образцов современных донных осадков дает величину, с применением которой возраст океанов оказывается равным всего нескольким сотням миллионов лет, что составляет лишь одну десятую часть всей жизни Земли и, следовательно, противоречит нашим представлениям о постоянстве океанских впадин. Отложение осадков на дне океана должно быть связано с поступлением материала, смываемого с материков. Большинство обломочного материала оседает в прибрежных мелководьях, обеспечивая условия для накопления мощных осадочных толщ суши. Самые же тонкие частицы выносятся в глубоководные области океана, проходя при этом громадные расстояния, которые часто превосходят в несколько раз длину окружности Земли. Но, рано или поздно, они все же осаждаются на дно. Конечно, нет никаких оснований думать, что скорость осадконакопления в океане всегда была такой же, как ныне, и не менялась в течение геологической истории. Весьма вероятно, что в самом начале материка слагались твердыми горными породами, которые разрушались очень медленно, но теперь, когда эрозии подвергаются более податливые глины и известняки, скорость размыва, очевидно, превышает среднюю величину. Кроме того, следует учитывать материал, принесенный на дно океана суспензионными потоками. Возможна и обратная миграция материала к материку, связанная с растворением химических веществ в донных осадках, которое происходит при движении воды в глубинах океана. Во всяком случае, в этом вопросе имеется очень много неясного. Однако можно думать, что 1000-футовая толща осадков, выявленная сейсмическими исследованиями на дне Тихого океана (в тех местах, где влияние суспензионных потоков совершенно исключается), могла быть накоплена за весь период существования Земли или, точнее, за то время, которое прошло с тех пор, как впервые разделились вода и суша.

Согласно сейсмическим измерениям мощность осадков в Атлантическом океане немного больше, чем в Тихом. Это может быть связано с тем, что все дно Атлантики находится в сфере деятельности суспензионных потоков и, следовательно, оно получало материал, который должен

был бы в обычных условиях отлагаться в полосе мелководья, окаймляющей материка. Скорость осадконакопления в мелководных местах, где улавливаются материковые отложения, превышает от десяти до ста раз скорость накопления глубоководных осадков. Поэтому весьма удивительно, что мощность осадков в Атлантике лишь немногим больше, чем в Тихом океане. Не говоря о суспензионных потоках, мы должны помнить, что Атлантический океан гораздо уже и благодаря этому соотношение площадей суши, поставляющей обломочный материал, и океана, где они отлагаются, становится больше. Оно увеличивается еще резче благодаря массивным горным грядам Средне-Атлантического хребта, занимающего значительную часть центральной Атлантики. Осадки не удерживаются на крутых склонах этого подводного горного хребта и переносятся вниз оползнями или суспензионными потоками совершенно так же, как они сносятся с поверхности материкового склона. Мощность осадков под плоскими равнинами дна глубоких котловин Восточной и Западной Атлантики должна быть значительно больше, чем в Тихом океане, разумеется, в том случае, если эти океаны примерно одного возраста. Можно не сомневаться, что горы Средне-Атлантического хребта не несут на себе покрова рыхлых осадков, так как там были взяты драгой образцы твердых пород. Это подтверждается еще и тем, что на фотографиях поверхности Средне-Атлантического хребта отчетливо видны признаки ряби. По всей вероятности, там тоже существует очень правильная циркуляция между тонкими частицами осадка и входящими в него химическими компонентами. В морской воде обнаружено присутствие большинства химических элементов. Их концентрация такова, какую следовало бы ожидать, если вода находилась бы в равновесии с твердым исходным соединением, содержащим данный элемент. Необычные концентрации характерны лишь для некоторых элементов, особенно для никеля, ванадия и кобальта; они не представлены в морской воде в достаточных количествах. Очевидно, эти элементы извлекаются каким-то способом из морской воды и не возвращаются обратно в нее путем растворения осадков на дне океана. Почти несомненно, что никель, ванадий и кобальт извлекаются какими-то животными или растениями, но, как это ни странно, после смерти таких организмов эти элементы не возвращаются в осадок в раство-

римом состоянии. Такие «рассеянные» элементы, как их иногда называют, появляются в крови некоторых морских животных, где они химически связаны в форме устойчивых соединений — порфиринов. Они обнаружены в сырой нефти, и это не только подтверждает их устойчивость, но и является одним из доказательств морского происхождения нефти. Даже при сгорании нефти ванадий остается в саже и во время войны ее собирали в дымовых трубах, чтобы получить этот металл, необходимый для выплавки специальных сортов стали. Иногда ванадий оказывается вредным. Если газовая турбина работает на дешевом горючем, то ванадий, попадая на ее лопасти, портит их. Это мешает массовому применению газовых турбин для производства энергии.

Извлечение из морской воды живыми организмами некоторых химических элементов может оказывать значительное влияние на скорость восстановления численности рыб.

Процесс восстановления полезных веществ в глубоководных областях осадконакопления не действует должным образом для всех элементов, необходимых для развития жизни в океане, и поэтому не все нужные для питания организмов вещества возвращаются в населенные ими мелкие воды. Для изучения геологической истории Земли особенно важно то, что отдельные элементы сохранились связанными в осадках на дне океана. В какой-то мере они могут быть полезными признаками возраста осадка, хотя большое количество материала, достигшего дна в виде осадка, впоследствии перерабатывалось и вновь растворялось. Нефтяная промышленность создала интересное направление исследований, от которых можно ожидать полезных результатов. Речь идет о радиоактивной форме редкого элемента бериллия, период полураспада которого составляет около трех миллионов лет. Скорость разложения этого элемента позволяет использовать его в качестве «геологических часов», охватывающих промежутки времени почти до половины возраста мелового периода, т. е., говоря иначе, такие часы расскажут нам о возрасте пород за прошедшие сто миллионов лет. Для использования таких часов необходим первоначальный процесс отложения радиоактивных атомов. Через три миллиона лет половина атомов распадется, через следующие три миллиона лет половина оставшихся атомов также распадется, а после

третьего периода, равного также трем миллионам лет, останется лишь одна восьмая часть первоначального количества атомов радиоактивного бериллия. Предельное число лет, которое может быть измерено таким образом, определяется точностью анализа оставшихся радиоактивных атомов, так как их количество уменьшается вдвое через каждые три миллиона лет, и через 21 миллион лет сохранится только одна сотая первоначальной активности.

Существует радиоуглеродный метод датировки археологических образцов. Радиоактивный изотоп углерода  $C^{14}$  непрерывно поступает из верхних слоев атмосферы, и благодаря такому устойчивому притоку его в углекислом газе атмосферы создается постоянное количество этого изотопа. Если углекислый газ поглощается морской водой и в конечном счете превращается в раковину моллюска, то поступление  $C^{14}$  сразу же прекращается, а имеющиеся атомы радиоактивного углерода постепенно распадаются, образуя обычный углерод. Быть может, и радиоактивный бериллий также входит в поток мелких частиц из верхних слоев атмосферы и поэтому на поверхности океана он может быть представлен в постоянном количестве. Смесь радиоактивного и обычного бериллия затем осаждается, и в отложениях на дне океана радиоактивные атомы начинают свой медленный и равномерный распад. Если потом извлечь бериллий, например, из красной глубоководной глины со дна океана, то по количеству радиоактивных атомов можно будет определить ее возраст. Слои донных осадков перемешаны различными процессами, действующими на глубинах, которые, как мы уже видели, вовсе не так спокойны и неподвижны. Однако, несмотря на это, есть признаки того, что весь бериллий все равно уже не растворяется вновь и продолжает распадаться в течение длительного времени даже в самой морской воде. Имеются признаки того, что он мог также усваиваться в какой-то устойчивой форме морскими организмами, поскольку мы встречаем его как рассеянный элемент в сырой нефти.

Индикатор возраста в сырой нефти должен иметь большое значение для нефтедобывающей промышленности. Подземные резервуары нефти, образованные известняками или песчаниками, не всегда оказываются теми самыми породами, в которых образовалась нефть. Пористость этих двух типов пород позволяет им становиться подземными нефтехранилищами большой емкости, откуда нефть легко

извлекается через сравнительно небольшое количество буровых скважин. Обычно считают, что глины являются главной материнской породой, в которой происходит зарождение нефти, так как именно при их отложении существовали довольно стабильные условия, в которых шло разложение морских животных, образующих нефть. Возраст нефти, следовательно, должен соответствовать возрасту пород, в которых она образовалась, — так называемых материнских пород. При достоверном определении материнских пород данного нефтяного месторождения геолог может восстановить всю картину миграции нефти до ее конечного резервуара, а эта картина должна дать непосредственные указания на те места, где следует продолжать поиски, чтобы найти возможно больше мигрировавшей нефти. Определение возраста пород в нефтяных исследованиях может иметь и другие результаты. Во многих нефтеносных областях мира выходы нефти образуются при ее медленном просачивании к поверхности. Они проявляются по-разному: от газовых факелов, пылавших прежде на склонах гор, до той горной смолы, которую библейский Ной употреблял, чтобы просмолить свой ковчег. Определение времени образования такого выхода нефти может в значительной мере помочь восстановить геологическую историю материнской породы. Кроме того, мы можем установить нижнюю границу породы, в которой следует ожидать нефть, поскольку миграция из материнских пород в резервуары направлена только вверх благодаря тому, что нефть легче морской воды, являющейся другим жидким компонентом земных недр.

Прежде чем применять какие-либо рассеянные элементы, вроде бериллия, для изучения дна океана или для поисков нефти, нужно установить соотношение атомов радиоактивного и обычного бериллия, выпадающих на земную поверхность. Количество таких атомов очень мало и, следовательно, они накапливаются в течение длительного времени. Если осадки не подвергались нарушениям, они особенно интересны в этом смысле, но всегда трудно бывает утверждать, что осадки действительно ничем не нарушены. Быть может, лишь в некоторых защищенных от ветра местах пустынных областей сохраняется в неизменном виде пыль, выпадающая из космического пространства. Можно, разумеется, оценить относительное количество

атомов путем теоретических и практических исследований ядерных процессов, которые постоянно происходят в верхних слоях атмосферы. Появление спутников и ракет обеспечит дальнейший прогресс исследований и даст хороший ключ к этим потенциально возможным геологическим часам.

Исследования изотопов кислорода, не связанные с изучением радиоактивности, также могут иметь большое значение в океанографии. Оказывается, соотношение изотопов кислорода позволяет установить температуру морской воды в то время, когда отлагались осадки. Температура воды, несомненно, оказывает большое влияние на жизнь в океане и на количество материала, которое может поступить в раствор из донных отложений и переноситься водой. Температурные требования коралловых полипов, как уже было показано, ограничивают распространение атоллов в океанах. Следовательно, температура воды оказывается весьма интересной характеристикой при любом описании условий, существовавших миллионы лет назад во время образования осадочных пород.

Понятно, почему нефтяные компании помогают развитию наших знаний о процессах седиментации в океане, финансируя обширные программы морских геологических исследований со взятием многочисленных проб осадков со дна океана драгами и грунтовыми трубками, с применением нового типа эхолота, посылающего мощные звуковые волны, которые проникают через рыхлые осадки до подстилающих их твердых пород. Осадочные породы, образующие или содержащие нефть, отлагались преимущественно в мелких водах. Зачастую это происходило, по видимому, даже в устьях больших рек, которые размывали удаленные от океана части материка и выносили обломочный материал к побережью. Поэтому дельты таких больших рек, как Миссисипи и Нигер, представляют собой весьма интересные объекты для изучения процесса осадконакопления. В прошлом геолог делал свои выводы дедуктивно, изучая разрезы пород, обнаженные денудацией, или в буровых скважинах. Теперь же ему помогает океанография, восстанавливая характеристику обстановки, существовавшей в океане в разные отдаленные периоды геологической истории.

Работы в Мексиканском заливе имели самое непосредственное практическое значение, поскольку месторожде-

ния нефти находятся в его мелководной части. Они приурочены к сравнительно небольшим линзам песка, положение которых устанавливается довольно трудно. Если известно, что они являются остатками пляжа, вытянутого вдоль древней береговой линии, тогда становится ясным, где следует искать новые нефтяные поля. Однако песок мог отлагаться также и под прямым углом к берегу в виде отмелей древней реки, когда-то протекавшей через дельту. Возможно, что даже такие незначительные признаки, как распределение песчаных зерен, окажутся достаточными для создания достоверной картины режима, существовавшего при отложении песков, с которыми связаны нефтяные месторождения. Океанографические исследования современных дельт и соответствующих отложений должны учитывать все признаки, помогающие восстановить геологическую историю.

Суспензионные потоки также могут быть важными для нефтяной промышленности. Общая картина образования нефти свидетельствует об ее морском происхождении, но трудно все же понять, как маслянистые остатки мертвых животных сохранились на дне океана. Возможно, это бывало только в тех редких случаях, когда существовали застойные условия, сопровождаемые отсутствием кислорода, и тогда образовывалась нефть. Такие условия появляются при наличии огромного количества живых организмов и с последующей обильной концентрацией разложившегося вещества. Например, у западного побережья Африки известны места, где присутствие исключительно большого количества рыбы, по-видимому, обусловлено течением, выносящим со дна океана кверху питательные соли, в том числе и очень необходимые рыбам рассеянные элементы. Остатки организмов могли сохраниться и в том случае, когда содержащие их осадки покрывались оползнями или суспензионными потоками. При захоронении остатков организмов, образующих нефть, они продолжали разлагаться без доступа кислорода. Поскольку обычно считается, что суспензионные потоки стекают по материковым склонам на большие глубины, то они могли быть инструментом для захоронения потенциально нефтеносных отложений в те периоды, когда область их накопления была затоплена океаном.

В связи с этим любопытно заметить, что в океанографических исследованиях и при добыче нефти часто появ-



ляются почти одинаковые интересы и техника исследований. Это проявляется особенно ярко теперь, когда нефтяные компании обнаружили важные промышленные месторождения вдали от берега. Инструменты, которыми пользуются разведчики нефти, взяты прямо из снаряжения морского геолога. О сейсмическом методе мы уже говорили довольно подробно, так как он был основным методом работы экспедиции на «Челленджере». Измерения колебаний силы тяжести также одинаково широко применяются как в океанографии, так и при поисках нефти. Правда, для океанографических целей сила тяжести должна измеряться с точностью примерно до одной миллионной, тогда как для поиска возможных нефтеносных структур требуется точность в десять раз больше.

Гравиметрические измерения с такой точностью чрезвычайно трудно производить даже на суше, а в океане, где нет устойчивой площадки, такие измерения требуют исключительной изобретательности и высокого мастерства. Самые первые наблюдения были сделаны в каюте океанского лайнера путем сравнения атмосферного давления, показываемого ртутным барометром и вычисленного по точке кипения воды. В показания ртутного барометра должна вноситься поправка на силу тяжести, тогда как точка кипения воды зависит только от массы воздуха в атмосфере. Этот любопытный опыт должен был показать общее соответствие между силой тяжести над сушей и над океанами. Однако первые действительно точные измерения были сделаны на подводной лодке методом качания маятников. Лодка шла на глубине 50 футов, где можно было добиться сравнительно устойчивого положения для платформы маятников. Впрочем, и при этом на небольшую бортовую и килевую качку приходилось вносить соответствующие поправки. Очень интересна поправка, которую приходится вносить для учета скорости движения самой подводной лодки. Если изменить искомую величину и использовать очень точную новую аппаратуру, разрабатываемую сейчас, то можно определять по результатам измерения силы тяжести скорость движения подводной лодки.

Измерения силы тяжести уже теперь можно использовать для вычисления широты. Мы уже видели, что Земля не имеет идеальной сферической формы, и поэтому человек на ее поверхности окажется на полюсах ближе к

центру, чем на экваторе. Притяжение к Земле на полюсах будет больше и, следовательно, определенная величина силы тяжести соответствует определенной широте. Кроме этой поправки на форму, нужно учитывать также влияние центробежной силы Земли, вращающейся вокруг своей оси. На полюсах она равна нулю, на экваторе ее величина максимальна. Применение гравитационных измерений для определения широты усложняется прежде всего тем, что достаточно точные данные можно получить только на подводной лодке. На обычных кораблях нужно делать специальные гироскопически стабилизированные платформы. Но для подводных лодок такие измерения очень полезны, так как при подводном плавании нельзя определиться по звездам. Для точных определений широты таким методом нужна также подробная карта всех «аномалий» силы тяжести над океанами и, в частности, над глубоководными впадинами. В общем гравитационные измерения в океане представляют сейчас очень большой интерес для современного военного флота и вполне понятно, почему он оказывает океанографам помощь в создании самых совершенных приборов.

В результате гравиметрических наблюдений оказалось, что сила тяжести в океане почти такая же, как и на суше. На первый взгляд это удивительно — ведь притяжение в океане должно бы быть гораздо меньше, поскольку вода имеет меньшую плотность по сравнению с горными породами.

Однако полученные результаты очень хорошо согласуются с представлениями о структуре дна океана, выявленной сейсмическим методом. В самом деле, плотные породы мантии (8,1 км/сек), лежащие ниже Мохо, в океане гораздо ближе к поверхности, чем под материками. И если мы возьмем в океане колонку длиной 25 миль вглубь Земли, то она будет состоять преимущественно из плотной породы мантии и в значительно меньшей мере из воды и нескольких миль промежуточного материала (6,7 км/сек). Аналогичная колонка на материке будет иметь иное строение: в ней будет содержаться преимущественно материал 6,7 км/сек вместе с легкими кислыми породами. Однако обе колонки в целом имеют одинаковый вес, и поэтому притяжение в обоих случаях окажется одинаковым, тем более что внутренняя часть Земли, находящаяся под земной корой, является одной и той же, независимо

от того, находится ли она под океаном или под материком<sup>1</sup>.

Эта четкая компенсация между материками и океанами не всегда выдерживается достаточно точно. Если тяжелый вулканический остров замещает более легкую воду, возникает временный избыток массы и сила тяжести превышает нормальную. Остров, как мы уже видели, станет погружаться до тех пор, пока не будет достигнуто изостатическое равновесие. Измерения, сделанные в Скандинавии, дают необычно низкую величину силы тяжести. Это связано с тем, что громадные ледники во время ледниковой эпохи давили своей тяжестью на сушу, заставляя ее прогибаться. Когда лед растаял, то образовался недостаток массы и теперь суша поднимается со скоростью около половины дюйма в год. Поднятие прекратится лишь тогда, когда восстановится нормальный вес колонки пород. В глубоководных желобах, обнаруживаемых эхолотом, гравитационное притяжение меньше средней величины. Это указывает, по-видимому, что они были образованы при прогибании земной коры, но на этот раз, конечно, не под тяжестью льда, а скорее под действием боковых сил. Почти таким же путем появляются морщины на жирной и толстой физиономии: ведь иначе никак нельзя приспособить излишек материала, облекающего кости. По мере того как легкая порода на дне океана прогибается вниз, она замещает некоторую часть подстилающего тяжелого материала. В таких случаях чрезвычайно большие мощности легкой породы вызывают необычно низкую величину силы тяжести. Но так же, как кусок дерева, погружаемый в воду, стремится всплыть на поверхность, так и опускающаяся вглубь мантии порода пытается подняться вверх. Измерения силы тяжести показывают, как велико это стремление, и помогают нам понять причины движений земной коры.

При проведении гравиметрических измерений для морской разведки нефти сейчас используют гравиметр, состоящий в основном из очень чувствительных пружинных

---

<sup>1</sup> Мы уже отмечали, что верхняя мантия неоднородна. Различия в строении верхней мантии под материками и океанами достигают глубин порядка 100 км, а может быть, даже и больших. Ценные сведения о неоднородности верхней мантии получены при наблюдениях за движением искусственных спутников Земли.—  
*Прим. ред.*

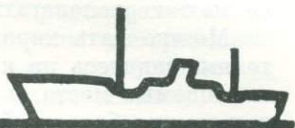
весов, помещаемый в водонепроницаемый кожух и опускаемый на дно. Это, конечно, гораздо дешевле, чем использовать подводную лодку, и позволяет успешно обнаруживать аномалии силы тяжести, указывающие на нефтеносные структуры. Самый первый патент на гравиметр предусматривал, кстати сказать, его применение только для океанографических целей. В 1876 г. Сименс изобрел такой аппарат для использования в океане, «надеясь, что он позволит капитану определять глубину воды без лота». Гордый изобретатель, несомненно, должен был основательно разочароваться, если бы применил свой прибор на практике, потому что, как мы уже видели, слабое притяжение морской воды компенсируется добавочной мощностью плотных пород мантии и, следовательно, гравитационные измерения не дают возможности определить глубину океана. Однако после этого прошло сравнительно немного времени и гравиметрические измерения уже позволяют капитанам подводных лодок определять широту места и, быть может, даже скорость движения. Эти методы, по-видимому, со временем будут приняты и на обычных надводных кораблях, и тогда окажется, что Сименс не так уж сильно ошибался!

Океанографы используют и другой геофизический метод разведки, связанный с аномалиями магнитного поля Земли. Рыхлые осадки обычно мало влияют на магнитное поле, и его изменения в большинстве случаев связаны с подстилающими осадки вулканическими породами. Магнитные измерения не только раскрывают структуру вулканических пород, скрытых под осадочным покровом, но и обнаруживают признаки напряжений в земной коре. В Тихом океане у побережья Калифорнии были прослежены протяженные зоны разломов и сбросов, сопровождающиеся разрывом слоев и горизонтальным смещением их на сотни миль. Магнитные измерения обнаруживают такое смещение по относительному сдвигу правильного рисунка магнитных силовых линий по каждую сторону от линии сброса.

Фотографирование дна океана в известном смысле весьма далеко от поисков нефти, но инструменты, необходимые для аппаратуры, используемой при подводных съемках, очень сходны с теми, которые применяются для изучения строения нефтяных залежей. В самом деле фотокамеры часто применялись уже для обнаружения

трещин в известняке, потому что такие трещины очень важны для накопления нефти и ее выхода в буровые скважины. По сути дела, кроме разведчиков нефти и океанографов, лишь немногие ученые производят измерения при давлении в десятки тысяч фунтов на квадратный дюйм и занимаются исследованиями процессов, действующих на глубине нескольких миль.

Океанография имеет общие интересы с нефтяной промышленностью и еще в одной области, касающейся изучения волн и течений в океане, а также разрушения побережий. Дело не только в том, что моряки, перевозящие нефть на танкерах, должны быть знакомы с такими вещами. Знание этих процессов необходимо для успешной разработки конструкций погрузочных причалов и удаленных от берега нефтепроводов. Теперь на мелководьях уже во многих местах пробурены многочисленные нефтяные скважины. При этом методы прогнозирования волн, разработанные во время войны для десантных операций, оказались очень полезными как при разработке конструкций буровых платформ, способных противостоять самой большой волне, которая может встретиться в данном месте, так и для оценки поведения этих конструкций на волне в тот критический момент, когда поддерживающие их опоры будут медленно опускаться на дно. Таким образом, мы видим, что изучение океана имеет большую практическую ценность для многих работ, связанных с нефтью, и дает некоторую общую основу для решения вопроса о ее происхождении.



## IX. *Естественная история*

Тогда будет открыт путь для того, чтобы подсчитать количество типов живых организмов, обнаруженных и описанных ранними натуралистами, чьими трудами постепенно воздвигалось массивное здание современной науки океанографии...

С. М. Йонг, *Морской берег*

**М**ногие ученые, плававшие в таких экспедициях, как на «Челленджере», были по существу любителями и не имели ранее опыта в делах подобного рода. Этому не следует удивляться, ведь экспедиции отправляются не так часто, и исследователи, участвующие в них, обычно тратят на это время, свободное от своих основных постоянных занятий. И, разумеется, каждый ученый возвращается с одним и тем же чувством: если бы можно было снова повторить экспедицию, то все следовало бы сделать по-иному и гораздо лучше. Это особенно заметно в тех наблюдениях, которые могут быть названы попутными. Во многих современных экспедициях главная работа состоит в геологическом изучении дна океана и эхолотных измерениях больших глубин и, если позволяет погода, эти задачи выполняются весьма интенсивно и с наибольшим вниманием. Но, помимо этого, есть еще много явлений, интересных в общем плане естественной истории и, к сожалению, связанные с ними наблюдения производятся не слишком часто. Лишь в том случае, когда встречается какой-либо поразительный факт или любопытное явление, например неизвестные ранее птицы, наблюдатель замечает их, жалея о том, что в начале путешествия он

еще не обращал внимания на сходные факты и поэтому не может располагать теперь полной серией наблюдений.

Можно дать хороший совет будущим естествоиспытателям: садитесь на корабль, который возьмет вас в редко посещаемые места, и с самого начала старайтесь замечать как можно больше фактов. На корабле это нетрудно, потому что в океане всегда есть регулярные вахты и нужно только с энтузиазмом организовать свою работу так, чтобы наблюдать возможно большее число природных явлений в мире животных, растений и минералов. Часто в течение многих дней плавания ничего не происходит, но иногда и негативный результат также имеет свою ценность. Прежде всего надо твердо помнить, что регулярные и полные наблюдения за сравнительно длительный промежуток времени всегда имеют исключительно важное значение.

Некоторые исследователи не стремятся изучать новые интересные явления, выходящие за пределы их работ, и не придают им особого значения. На самом же деле многочисленные явления еще ждут своих исследователей, и в этом мы убедились, когда «Челленджер» стоял в Новой Зеландии. Маршрут корабля и особенно предполагаемое посещение коралловых атоллов возбуждали зависть местных натуралистов, которые отдали бы очень многое за то, чтобы иметь в своем распоряжении исследовательский корабль хотя бы на несколько месяцев. При подробном знакомстве с их желаниями оказалось, что один хочет взять образцы со дна глубоководного желоба Кермадек, а другой интересуется эхолотными профилями дна. Ботаники собирались изучать морские водоросли и вообще растительность береговой зоны, а биологи буквально умирали от желания увидеть, какие виды моллюсков и насекомых обитают на атоллах. Один специалист изучал крыс, поскольку известно, что обыкновенная серая крыса, завезенная на острова кораблями, почти совершенно вытеснилась местной коричневой разновидностью. Атолл Фунафути был особенно интересным, так как его фауна и флора уже были тщательно описаны на грани девятнадцатого и двадцатого столетий, и можно было сравнить наблюдения, разделенные почти пятьюдесятью годами. Интересно было познакомиться и с людьми, живущими на островах, и их обычаями. Например, нас заинтересовал вопрос о причинах широкого употребления местными жи-

телями слегка перебродившего сока кокосовой пальмы, называемого «тодди». Образцы «тодди» были нами отправлены для анализов в Департамент здравоохранения на Фиджи. С точки зрения строгой морали употребление «тодди» — нежелательное явление, так как опьянение пальмовым соком угнетающе действует на психику человека, подобно действию алкогольных напитков в наших странах с умеренным климатом. Однако употребление пальмового сока трудно запретить, поскольку приходится беспокоиться не только о духовном состоянии людей, но и об их здоровье: в обычном питании островитян, включающем кокосовые орехи, рыбу, таро, реже свиней или цыплят, чрезвычайно недостает витамина С, а он, как оказалось, как раз и содержится в «тодди».

На пути из Новой Зеландии в Фиджи мы остановились на несколько часов около острова Рауль или Санди в группе островов Кермадек, чтобы сменить метеоролога на этой отдаленной метеостанции. Поскольку остров очень лесистый и гористый, метеоролога и некоторые припасы пришлось втаскивать на крутой береговой обрыв в корзине. На этой метеостанции живут около дюжины человек и без них остров был бы необитаем. В океане около островов летает масса птиц и среди них были отмечены самые различные виды. Мы застрелили представителей трех типов птиц для того, чтобы можно было потом их определить. Среди них был тонкоклювый буревестник, включенный в список, переданный позднее Британскому музею. Следовало бы сразу же изучить убитую птицу, чтобы решить чрезвычайно интересный для орнитологов вопрос: не был ли это местный вид, эндемичный для самих Кермадекских островов. К сожалению, мы не сделали этого и, конечно, лучше не повторять такие ошибки.

В двадцатом веке наши натурфилософы уже не могли бы сделать в кругосветных путешествиях много новых открытий. Однако наблюдения за птицами вызывали на «Челленджере» большой энтузиазм и благодаря этому нам удалось установить путем ежедневных наблюдений, что один из видов птиц, который орнитологи считали уже вымершим, на самом деле еще существует. Корабли обычно плавают по определенным постоянным путям и поэтому значительная часть океана посещается очень редко. Это придает особенный интерес наблюдениям, сделанным на таких кораблях, как «Челленджер», плавающих в мало



посещаемых областях. В Атлантическом океане птицы, гнездящиеся на Мадейре и Азорских островах, навещали наш корабль, а небольшие черно-белые буревестники, порхавшие словно бабочки, предвещали нам длительную непогоду, что было с их стороны явной неблагодарностью, — ведь винты нашего корабля выбрасывали на поверхность воды планктон, служивший им пищей! Одинокая чайка залетала на корабль, чтобы отдохнуть во время урагана, налетевшего с Бермудских островов, а когда мы стояли на якоре около банки Педро, какие-то несчастные птицы (мы не могли определить их вид) падали у нас на глазах от истощения в воду, так и не достигнув неожиданно появившегося убежища в виде нашего корабля.

Друг прежнего моряка — глупыш, которого называли так, потому что его очень легко поймать, внушавший страх своим копьевидным клювом корабельному коту; птица-фрегат, которая воинственно падала вниз камнем на других птиц, птица-боцман с острым и тонким хвостом, похожим на боцманскую свайку, — все они стали нашими хорошими знакомыми к концу плавания. Были, разумеется, и альбатросы. Мы не хотели повторить судьбу Старого Моряка<sup>1</sup> и придумали способ подрывать заряды взрывчатки при наших сейсмических работах так, чтобы не убивать при этом наших пернатых спутников, летевших за кораблем на протяжении всего плавания в северной части Тихого океана. Мы заинтересовались при этом некоторыми разновидностями альбатросов, которые грациозно кружились над нами. 17 мая, когда корабль находился в Тихом океане северо-восточнее Японии, один большой альбатрос долго летал вокруг нас. Вот запись в судовом журнале: «Все туловище белое, нижняя сторона крыльев коричневая с рассеянными белыми крапинками, а верхняя сторона — коричневая, кроме большого белого пятна в том месте, где крылья соединяются с туловищем. Клюв желто-розовый. Хвост короткий и на конце темно-коричневый. Голова желто-серого цвета». По орнитологическому справочнику было определено, что это короткохвостый альбатрос, или альбатрос Стеллера. Птица весьма любезно вернулась через полчаса, и мы смогли проверить определение и сделать несколько фотографий.

---

<sup>1</sup> Старый Моряк — герой поэмы английского поэта Кольриджа, навлекший на себя несчастья убийством альбатроса. — *Прим. ред.*

Каково же было наше удивление, когда новозеландские орнитологи сказали, что короткохвостый альбатрос считается уже вымершим. Еще в 1949 г. один американский орнитолог разыскивал эту птицу, с которой в довоенные годы была связана весьма печальная история. Альбатросов специально разводили на Бонинских островах вблизи Японии и убивали без всякого разбора ради их оперения. Услышав о введении закона, защищавшего птиц, взбешенные жители островов перебили всех оставшихся альбатросов. Нам было очень приятно установить, что у этой скверной истории оказался счастливый конец. Профессионалы, разумеется, высказывали сомнения, считая наши наблюдения любительскими, тем более что короткохвостого альбатроса легко спутать с альбатросом Лейзена. К счастью, в журнале, куда записывали всех птиц, прилетавших на «Челленджер», было много записей об альбатросе Лейзена, который часто бывал нашим гостем. Наши наблюдатели были хорошо знакомы с этой птицей, и короткохвостого альбатроса они отметили как совсем другой тип. К тому же, когда специалисты посмотрели на фотографии, им удалось убедиться в правильности определения. Совсем недавно стало известно, что альбатрос Стеллера наблюдался и другими исследователями. По всей вероятности, достаточное количество птиц избежало гибели и этот вид не вымер.

Регулярный сбор образцов планктона, входящий в обычную программу работ океанографических экспедиций, также заслуживает внимания. Он производится мелкоячеистыми сетями, которые тянутся за кормой корабля. Ежедневные записи дополняются пробами незнакомых видов, закупориваемых в банки. Планктон — это мельчайшие морские растения и животные. По своему общему весу они составляют самую большую часть органического вещества в океанах, и хотя такие животные, как киты, гораздо заметнее, все же мелкий планктон превосходит их своей массой. Жизнь планктона имеет очень важное значение, поскольку он составляет первичную продукцию океана и кладет начало той пищевой цепочке, которая кормит всех его обитателей. Здесь действует общий принцип «закона джунглей»: большой хищник пожирает маленького, а в конце концов все держится на планктоне. Поскольку планктон составляет в океане основную массу живого вещества, мы не можем не интересоваться им в

связи с вопросом об органическом происхождении нефти. Вполне возможно, что некоторые редкие рассеянные элементы, обнаруженные в сырой нефти, могли быть первоначально извлечены из морской воды и вводились в биологический цикл именно этими крохотными живыми организмами.

Планктон, по-видимому, можно считать косвенной причиной одного странного явления в океане, которое часто можно было наблюдать во время нашего кругосветного путешествия. Когда мы плыли вдоль западного побережья Америки, эхолот показал вдруг несколько небольших глубин в том месте, где на карте была глубина около 2000 саженей. Эхо было сильным, но оно показалось нам все же сомнительным, потому что столь же хорошее эхо приходило и с большей глубины. Остановив корабль, мы наблюдали, как отражение с малых глубин медленно поднималось к поверхности. Когда корабль двигался, глубины, конечно, могли меняться в зависимости от движения над неровной поверхностью дна, но если уж он стоял на одном месте, то такое резкое движение дна вряд ли можно было считать нормальным! Нам стало ясно, что эхо отражалось от слоя с высокой концентрацией планктонных организмов, а изменение глубины этого слоя зависит от интенсивности света. Звукорассеивающий слой (ЗРС), как его называют, в течение дня опускается на глубины более 100 саженей, а ночью поднимается почти к поверхности. Мы старались использовать каждую возможность для изучения этого явления, так как в то время его причина не была еще хорошо установлена. Некоторые исследователи полагали, что такие эхо возникают при резких перепадах температуры и солености воды. Когда этот слой находился на разных глубинах, были сделаны измерения температуры воды и, хотя наблюдался температурный скачок, слой устойчиво сохранялся на протяжении в глубину около 90 футов. Был проведен также отлов слоя планктонной сетью: в ней оказалось много маленьких планктонных организмов, похожих на креветок. За пределами слоя этих планктонных организмов было гораздо меньше. Лучше всего объяснить это явление так: в воде накапливается большая масса мелких растений и животных, чувствительных к свету; в течение суток они двигаются вверх и вниз, чтобы сохранять ту яркость света, которая необходима им для развития. Более крупные

животные, вроде морских креветок, питаются в этом слое, а иногда и крупные рыбы пожирают здесь креветок. Мы не смогли поймать какую-либо рыбу, и это вполне понятно, поскольку планктонная сеть с ее большим передним отверстием и очень мелкими ячейками мало пригодна для ловли быстро плавающих рыб. Когда мы занимались исследованием звукорассеивающего слоя около Ньюфаундленда, 40-футовый кашалот всплыл у борта корабля. Он был, по-видимому, самым крупным среди различных по величине животных, питавшихся в этом слое и составивших звенья пищевой цепочки.

Ежедневно, утром и вечером, мы опускали с борта батитермограф и тащили его несколько минут на тросе за кораблем, записывая температуры в пределах нескольких верхних сотен футов воды. Такие наблюдения очень важны для всех военных флотов, поскольку при нагревании поверхности океана солнечными лучами в воде образуются слои с разной температурой. Лучи высокочастотных звуковых колебаний, применяемых в приборах для обнаружения подводных лодок, плохо проходят через поверхность раздела между теплой и холодной водой. С другой стороны, звуковые сигналы могут быть переданы на чрезвычайно большие расстояния, если волны распространяются по «коридору» теплой воды, заключенному между двумя холодными слоями. Надо использовать каждую возможность для сбора новых материалов о подобных температурных эффектах, поскольку перспективы такой сверхдальней звуковой связи в океане чрезвычайно интересны.

С измерениями температуры воды тесно связаны определения солености. Они важны, так как содержание солей в морской воде, как и температура, определяет скорость прохождения звуковых волн. От этой скорости зависят работа эхолота и истинные значения показываемых им глубин, которые выражают, по сути дела, время прохождения звуковой волны от поверхности воды до дна с некоторой условной средней скоростью. Мы собрали батометрами много проб морской воды с различных глубин, в частности, около острова Сокорро, и в дальнейшем они были переданы для лабораторного изучения. Эти «стандартные серии» для взятия проб воды заняли большую часть работ по программе океанографических исследований Международного геофизического года. Они, прав-

да, кажутся довольно нудным делом для тех, кого больше волнуют открытия на дне океана, но тем не менее взятие проб воды регулярно производится со дней плавания «Челленджера» девятнадцатого столетия. Только специальные океанографические корабли приспособлены для всех этих измерений, и общие усилия ученых разных стран в течение Международного геофизического года позволили собрать много новых данных почти одновременно во всех океанах и составить новую более точную плотность воды Мирового океана, основанную на результатах измерений солёности и температуры. Ещё в прошлом веке океанографические исследования показали, что с помощью подобных измерений можно проследивать движения водных масс, поскольку их перемешивание происходит лишь в узкой зоне контакта различных слоев и требует длительного времени для своего завершения. Измерения солёности и температуры воды позволяют проследить циркуляцию воды в океанах, а, кроме того, движение различных течений можно определить по карте плотностей совершенно так же, как скорость ветра в атмосфере определяется по измерениям атмосферного давления с помощью барометра.

Мореплаватели всегда интересовались поверхностными течениями в океане, и, наверно, гораздо больше в дни парусных кораблей, чем теперь. Плавания по океану на плотах, свидетелями которых мы были недавно, вновь напомнили о том, что вода в океане находится в непрерывном движении. Гольфстрим давно уже известен по обеим сторонам Атлантического океана, потому что он оказывает значительное влияние на скорость кораблей, а также и на климат. Океанские течения приобретают теперь ещё более важное значение, чем когда-либо, и это связано с новыми научными открытиями. Например, открытие атомной энергии поставило вопрос, куда девать радиоактивные отходы. С незапамятных времен люди привыкли сбрасывать отбросы в море — непосредственно или косвенно через поля орошения и реки. Вот почему сразу же подумали о том, что в громадной водной массе океанов можно безопасно спрятать и радиоактивные отходы. При этом, разумеется, нужно достичь соответствующего разбавления, которое происходило бы ещё до появления какой-либо возможности возвращения таких вод к берегу. Были поставлены многочисленные эксперименты для оп-

ределения наилучшего положения сточных труб, по которым отбросы должны поступать в океан. Эти эксперименты, конечно, были тесно связаны с изучением течений.

Некоторая часть радиоактивного материала сбрасывалась другим способом. У побережья Калифорнии на дне океана уже находится много закупоренных контейнеров с отходами, которые для большей безопасности должны оставаться в ненарушенном состоянии в течение нескольких десятилетий. Их разрушительное воздействие может сказаться при этом, как предполагают, только у самого дна. Анализ тщательно собранных образцов воды и донных грунтов в таких местах показал, что утечка радиоактивных веществ не происходит. Но ведь людям свойственно ошибаться, и такая утечка когда-нибудь может все же появиться. Есть еще один — действительно безопасный — метод сбрасывания отходов: нужно найти такое место, где циркуляция воды была бы крайне незначительной и тогда даже в случае утечки радиоактивный материал не будет переноситься на значительные расстояния. Надеяться, что некоторые части глубокого океана действительно могут иметь такой застойный режим, но для того, чтобы доказать это, нужно изучать течения<sup>1</sup>. Следует учитывать и другие возможности разноса радиоактивных веществ. Так, например, рыба может избирательно поглощать некоторые радиоактивные вещества и переносить их туда, где они могут быть опасными.

Органическая жизнь в океане сильно зависит от химических веществ, переносимых водой. Сила тяжести всегда стремится осадить все твердые частицы вниз на дно океана. Необходима, следовательно, другая сила для того, чтобы приносить питательные вещества к поверхности воды, где их смогут использовать те растения и животные, которым для развития нужен свет и кислород. Непрерывная циркуляция воды поддерживается океанскими течениями, и глубокое понимание основных процессов, связанных с ними, становится все более важным, так как

---

<sup>1</sup> Здесь автор явно заблуждается, несмотря на то, что его оценка значения проблемы захоронения отходов атомного производства вполне серьезна. Советские ученые убедительно показали, что существующая в океане интенсивная глубинная циркуляция вод исключает возможность надежного и безопасного захоронения отходов атомного производства даже на самых больших глубинах Мирового океана. — *Прим. ред.*

количество голодающих людей на Земле увеличивается с каждым годом. Океан является неиссякаемым источником белков, это ясно даже теперь, при наших совершенно недостаточных знаниях о его природе. Кто знает, как улучшится масса морских живых организмов, если мы будем контролировать ее развитие и культивировать определенные виды? Увеличение урожаев на суше достигается определенными методами и, по всей вероятности, имеются необъятные возможности для хозяйства в океане на научной основе. Площадь океанов превышает площадь материков и поэтому морские организмы могут обеспечить обильное питание для будущего населения мира. Но так же, как для увеличения урожая зерна нужны удобрения, так и для питания рыб необходимы определенные вещества, в том числе и рассеянные элементы, встречающиеся в небольших количествах. Океанские течения, несомненно, играют тут очень важную роль, контролируя развитие жизни в океанах. Огромные массы рыбы появляются там, где вода поднимается от дна к поверхности и приносит с собой хорошее и обильное питание, образовавшееся при разложении организмов, упавших на дно. Это питание обогащено редкими элементами, растворенными из покрова донных осадков. Направленные вверх потоки воды возникают на стыке двух встречных течений, как это имеет место, например, вдоль западного побережья Африки. Здесь иногда жизнь в океане развивается настолько обильно, что многие тонны рыбы погибают из-за недостатка кислорода. Их тела несомненно переносятся водой, обеспечивая питание в других местах, а часть скопившихся остатков может идти и для образования нефти. Нефть может возникать в различных донных отложениях, но для этого нужны исключительные условия: концентрация органического вещества и недостаток кислорода, так чтобы нефть могла длительно сохраняться и поглощаться осадками.

Если вспомнить про угрей, то следует иметь в виду, что океанские течения переносят не только пищу для рыб, но и их самих. Угри мечут икру в соленой воде в районе Саргассова моря в Атлантике, и затем через несколько лет они направляются в Северную Америку и Европу, чтобы недолго пожить в пресной воде. Затем они снова возвращаются в океан для размножения. Для американских угрей это облегчается движением Гольфстрима, но

европейским угрям очень нелегко вернуться в Саргассово море. Предполагают даже, что европейские угри фактически вообще никогда не возвращаются для размножения в море и что их количество поддерживается за счет части угрей, обитающих в реках США. Оставляя в стороне возможную политическую подоплеку таких высказываний, надо признать очевидным значение океанских течений в жизненном цикле угрей.

Океанские течения по всей вероятности обусловлены сочетанием сил, порождаемых ветрами, Солнцем и вращением Земли. Для образования волн вполне достаточно трения ветра о поверхность океана, и там, где дуют постоянные ветры, значительная масса поверхностной воды приходит в движение. Солнце нагревает воду в тропиках и делает ее легче; тающий лед в полярных областях образует холодную воду, которая стремится опуститься вниз. При взаимодействии всех этих сил возникают не только поверхностные течения, очевидные для мореплавателей, но и движение воды глубоко в океане, часто вблизи самого дна. Холодная вода направляется от полюсов к экватору, образуя глубинные течения, и взамен этого теплая вода двигается к северу и югу от экватора. Эта простая схема циркуляции воды осложняется движениями с востока на запад, особенно значительными в тропиках. Ученые много спорили о времени, необходимом для полного круговорота молекулы воды в северном или южном полушарии. В любом подсчете, касающемся продуктивности органического вещества в океанах, очень важной величиной должна быть скорость циркуляции, с которой вода собирает питательные вещества на дне океана и доставляет пищевые вещества морским организмам у поверхности. Существует остроумный способ вычисления времени циркуляции путем измерения возраста углерода, содержащегося в карбонате кальция на дне океана, с помощью радиоактивного изотопа углерода  $C^{14}$ . Этот изотоп входит в состав углекислого газа атмосферы, и его концентрация поддерживается в определенном соотношении к количеству обычного углерода. Углекислый газ, поглощаемый морской водой, превращается затем развивающимися организмами в углекислый кальций и ведет себя подобно секундомеру. Зафиксированное живым организмом количество  $C^{14}$  будет распадаться без пополнения из атмосферы, и если мы измерим его оставшееся количество, то сможем вы-



числить возраст углекислого кальция. Таким способом устанавливается, что циркуляция происходит примерно за 2000 лет, но эта цифра в сто раз больше времени, вычисленного в результате наблюдений за течениями. Столь большое расхождение означает, что мы, по-видимому, не все еще знаем о циркуляции углекислого газа.

Поглощение углекислого газа морской водой интересует океанографа и по другой причине. Углекислый газ — так же как водяной пар и озон — является для Земли примерно тем же, что стеклянная крыша для оранжерей. Энергия от источника тепла с высокой температурой, вроде Солнца, может пройти через стекло, но сравнительно небольшое тепло, излучаемое почвой, выйти не может. Увеличение количества углекислого газа в атмосфере должно вызвать увеличение запаса тепла у поверхности Земли и она начнет нагреваться сверху. Длительное воздействие этого процесса должно дать интересные результаты, если только они не несут людям какой-нибудь неожиданной опасности. Постепенное потепление может в конце концов вызвать таяние ледяных щитов в Антарктике и Гренландии, а это вызовет в свою очередь подъем уровня океана на несколько сотен футов и затопление больших обильно населенных территорий. В настоящее время человек сжигает много угля и нефти; при этом образуется углекислый газ. Эти действия могут в конечном счете нарушить тепловой баланс, существующий на Земле. Он наверняка нарушался уже в прошлом, когда полярные ледники вторгались в обширные области умеренного климата. Однако следует иметь в виду, что в тепловой системе Земли имеются, конечно, автоматические регуляторы. Так, при увеличении запаса теплоты возрастает облачность за счет испарения, а облачность в какой-то мере лишает нас солнечного света. Правда, теплоемкость океана очень велика и нужно много времени для эффективного воздействия этого процесса. С другой стороны, сам океан может способствовать регулированию всей системы, поглощая избыток углекислого газа, который выделяется тепловыми электростанциями и двигателями внутреннего сгорания. Количество поглощаемого углекислого газа может быть определено в тех местах, где имеются сильные течения, так как оно зависит от скорости смешивания поверхностного поглощающего слоя воды со всей массой вод океана. Вряд ли стоит сомневать-

ся в том, что если мы будем знать все факты, то сможем подготовиться и предохранить мир от потопа. Чем лучше мы изучим причины, определяющие довольно тонкие закономерности теплового баланса, существующие в природе, тем больше пользы это принесет. Измерения течений сыграют большую роль не только здесь; они помогут понять особенности климата и погоды в различных частях земного шара.

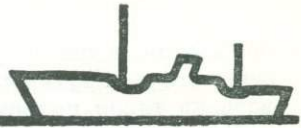
Океанские течения могут быть вычислены по распределению плотности (установленной по солености и температурам воды), но эти вычисления желательно дополнять непосредственными измерениями. Скорость поверхностных течений можно определить по записям в судовых журналах и с помощью простых опытов, в которых поплавки выбрасываются с корабля, стоящего на якоре, и определяется время прохождения ими заданного расстояния. Имеющиеся в настоящее время приборы позволяют установить скорость и направление течения под кораблем, но в глубоком океане корабли обычно не могут стать на якорь, поэтому измерения скорости течений в океане являются до сих пор трудной задачей, а сами течения считаются незначительными. Новейший и наиболее практичный метод измерения океанских течений использует поплавок, свободно двигающийся в воде на заранее заданной глубине. Его движение регистрируется акустическим способом, так как он несет на себе миниатюрное сигнализирующее приспособление. Место опускания поплавок отмечается специальным заякоренным буйком. Если малые скорости течения требуют измерения с особой точностью, то буюк может быть привязан к какой-либо приметной форме донного рельефа. Этот метод, предложенный д-ром Джоном Суоллоу после его возвращения из плавания на «Челленджере», уже подтвердил правильность многих теоретических предположений. Становится ясно, что в глубинах океана повсеместно существует движение воды со скоростью нескольких миль в сутки и, следовательно, происходит регулярная циркуляция донной воды. Установлено, что по крайней мере два хорошо известных поверхностных течения имеют связанный с ними глубинный поток, двигающийся в противоположном направлении. Так, под Гольфстримом, скорость которого у поверхности превышает в самых быстрых его частях сотню миль в сутки, имеется поток воды обратного

направления. В прошлом было трудно измерить поверхностные эффекты Гольфстрима, так как движущийся поток воды перемещался и сильно меандрировал, а положение корабля определялось по счислению с ошибкой в несколько миль. В 1950 г. больше полдюжины кораблей собралось для совместных исследований, чтобы получить возможно более точную картину этого грандиозного течения. «Челленджер» был слишком занят собственной работой и не мог участвовать в этом эксперименте, но он проходил достаточно близко, чтобы видеть «Сан Пабло», на котором брали пробы воды. Это было редчайшее зрелище в океане: встреча двух кораблей, занятых океанографическими исследованиями независимо друг от друга. Финал этой работы поразителен. Было хорошо известно, что теплый климат Британских островов обусловлен Гольфстримом, любезно приносящим тропическую воду из Мексиканского залива. Самые последние измерения установили, однако, что главная функция системы этого течения заключается в том, чтобы сохранять теплую воду в области Саргассового моря и не позволять ей проникать особенно далеко на север. Можно думать, что если бы направление вращения «Северо-Атлантического водоворота» было обратным, то климат Северной Европы мог бы стать еще теплее.

Во всех океанографических исследованиях трудно определить точное положение любой подводной формы, если она открыта там, где не видно суши. До появления современных радионавигационных средств (например, Декка или Лоран) положение определялось по Солнцу и звездам, и точность наблюдений, сделанных с плывущего корабля, позволяла делать вычисления с точностью не более одной-двух миль. Немного лучшие результаты можно было получить, если корабль несколько ночей стоял на якоре. Именно так мы поступали во время экспедиции «Челленджера» для определения положения банки Педро — отмели, расположенной примерно в 70 милях южнее Ямайки. В 1880 г. эту отмель исследовал лейтенант Карпендер, затративший 35 лет на составление карты Вест-Индии, а теперь появились сомнения в точности мест, показанных на этой старой карте. Наблюдения звезд делались на борту корабля секстантом, но, если гидрографы высаживаются на берег, они пользуются более точной астрольбией, в которой используется ртутный уро-

вень, а не видимый горизонт, используемый при работе с секстантом. Ртутный уровень нельзя, конечно, использовать на такой подвижной платформе, какой является корабль. Примером работы по точному определению положения суши, проводившейся нашей экспедицией, может служить определение места кораллового атолла Нукуфетау. В 1944 г. было отмечено, что его долгота должна быть показана на 5 миль восточнее, а недавно корабль сел на мель около северного рифа этого острова. Астролябия и приборы для отсчета времени были помещены нами на берегу острова и в течение двух последующих ночей отмечалось прохождение многих звезд. Положение пункта наблюдений было зафиксировано на стандартном латунном цилиндре, залитом в бетоне. Причина ошибки прежних наблюдений связана с трудностью определения точного времени в те годы, когда еще не было радиосвязи. И ошибка, оказавшаяся равной всего лишь 5 милям, делает честь старым съемкам, так как это соответствует ошибке во времени только на 20 секунд.

Острова, окружающие лагуну Нукуфетау, несколько больше, чем на Фунафути, и обильнее заросли пальмами. Люди там необычайно приветливы и обаятельны. Они устраивали по вечерам танцы, чтобы развлечь наших исследователей, которым приходилось всю ночь оставаться на ногах возле приборов. Жизнь воспринимается необычайно просто, и под влиянием этого наш сотрудник Тома, обслуживавший приборы для определения места острова, говорил: «Что же, если мы захотим спать, то можем проспать весь завтрашний день». Преступления на островах очень редки, а нарушение супружеской верности наказывается хорошей встрепкой, которую оскорбленный муж может задать своему обидчику. Плохое настроение и драка здесь очень просто пресекаются всем обществом — никто не хочет разговаривать с драчунами. Да, путешествие на эти острова заставляет подумать о многом!



## X. Средиземное море

И тут возникает сомнение, был ли потоп во времена Ноя всемирным или нет, и такое сомнение, судя по соображениям, которые будут сейчас высказаны, кажется вполне обоснованным.

Леонардо да Винчи, *Записные книжки*

**И**сторики могут проследить события вплоть до зары цивилизации в области Средиземного моря, но это так мало для геолога, для которого «старые как мир» явления имеют давность всего лишь сотни миллионов лет. Сейсмические измерения, уже не раз упоминавшиеся, показали существенное различие в геологическом строении земной коры под океанами и материками. Океаны представляются нам во всех отношениях постоянными формами рельефа поверхности Земли. Что же тогда представляет собой огромная котловина Средиземного моря? Географы молчаливо предрешили все осложнения, назвав его морем, а не океаном; однако во многих местах оно имеет глубины около 2 миль и этим отличается от морей материкового шельфа — вроде Северного моря, — четко связанных с материковыми блоками. Все исследователи соглашаются, что в прошлом материки испытывали вертикальные движения (иначе нельзя объяснить большие мощности осадочных пород суши), но, помимо этого, все геологические признаки указывают на медленные темпы таких движений и постепенное осадконакопление в мелководных морях.

Последовательность характерных образований горных пород европейских побережий Средиземного моря изу-

чена уже хорошо, а недавние работы на побережье Африки установили большое сходство между слоями пород на обоих противоположных берегах моря. Это заставило некоторых геологов предположить, что дно Средиземного моря прежде было поднято и образовывало единую формацию, протягивающуюся от Европы до Африки. Какая-то неведомая сила — видимо, та же, что и в рифтовых долинах Африки, — заставила осесть дно будущего моря, оставив на разделенных им краях европейского и африканского побережий обнаженные слои сходных пород. Рифтовая долина могла быть образована либо при растяжении с последующим опусканием центральной части, ничем не поддерживаемой, либо в результате совместного надвига Африки и Европы, при котором сначала прогибались северный и южный край, затем появлялись трещины и надвигавшиеся материк Африки и Европы выталкивали вниз центральную часть нынешнего моря.

Возможен и другой вариант геологической истории, объясняющий имеющиеся факты. Он оказывается очень хорошей прамбулой для обсуждения «блуждающих материков», которые появятся в следующей главе. Средиземноморье может быть примером того, что происходит, когда большие массы материков отодвигаются друг от друга в процессе скольжения по первичному дну океана. Есть только один способ установить правильность такого предположения: он заключается в том, чтобы собрать как можно больше фактов. Сейсмические измерения в Средиземном море не убеждают в правильности той или другой теории, и несомненно, что эта область будет привлекать все возрастающее внимание океанографов. Нефтяные компании быстро собрали все материалы поверхностного геологического изучения горных пород в области Средиземного моря, являющейся весьма перспективной для поисков нефти, и теперь буровые скважины в Сицилии, на Мальте, в Сахаре, Ливии и многих других пограничных районах должны значительно пополнить наши знания о том, как происходило здесь осадконакопление. Если нефтяные месторождения будут обнаружены вблизи побережья, то можно не сомневаться в соответствующей финансовой поддержке и для изучения нефтеносных слоев, покрытых морем. От Алжира до Испании уже были проведены океанографические съемки, чтобы выяснить возможность прокладки подводных трубопроводов для

транспортировки нефти и газа. Планирование таких значительных проектов было бы гораздо легче, если бы мы располагали правильными представлениями о геологическом строении Средиземного моря в целом.

Первые сейсмические исследования в Средиземном море были проведены, когда «Челленджер» возвращался из своего кругосветного плавания. Их результаты и возникавшие при их интерпретации трудности показали, на какие важные открытия можно надеяться здесь в будущем. По разным причинам предполагали, что Средиземное море должно быть спокойным. На самом деле, это оказалось совсем не так и оно, пожалуй, даже более бурное, чем океаны. Это объясняется достаточно большими размерами моря и тем, что окружающая суша способствует возникновению сильных ветров. Средиземное море довольно глубокое, обычно значительная часть его ложа располагается на глубинах от 1000 до 2000 саженей. Было очень интересно узнать, похоже ли строение его дна на наблюдаемое в Атлантическом или Тихом океанах. Погода не благоприятствовала сейсмическим исследованиям, но даже и в те дни, когда можно было работать, мы получали весьма скудные результаты, потому что звуковые волны плохо проходили в слоях местных горных пород. Ни на ровном участке дна моря между Порт-Саидом и Кипром, ни в южном конце Ионического моря на пути от Греции до Мальты — нигде не было обнаружено никаких следов слоя, характеризующегося скоростью распространения сейсмических волн  $6,7 \text{ км/сек}$ , обычного для всех океанов. Если он и залегает под дном Средиземного моря, то мощность перекрывающих его осадков, примерно соответствующих второму слою в океанах, превышает  $2,5 \text{ км}$ . Поскольку сейсмические волны во втором слое были здесь довольно слабыми, можно предполагать, что он представлен осадочной породой вроде известняка. Какими же признаками мы располагаем, чтобы предполагать скорее материковый, а не типично океанический характер дна Средиземного моря? Сейсмические результаты очень близки к той картине, которую мы видели на островах Тихого океана, где отмечены мощный второй слой и большая глубина слоя  $6,7 \text{ км/сек}$ , но вся трудность интерпретации полученных данных заключается в том, что в Средиземном море такие результаты были получены в середине больших плоских равнин морского дна.

Мощность рыхлых осадков на дне Средиземного моря составляет около 1000 футов, т. е. имеет тот же порядок величины, как и в Тихом или Атлантическом океанах. Это не означает, разумеется, что Средиземное море было океаном так же долго, как Тихий океан, потому что в относительно узком море, окруженном сушей, осадконакопление должно было идти гораздо быстрее. Длинные колонки со дна моря когда-нибудь позволят установить среднюю скорость современного осадконакопления, а также характер процессов осадконакопления. Здесь могут действовать суспензионные потоки, и это окажется весьма важным фактором в случае, если понадобится сооружение трубопроводов для нефти и газа от новых месторождений в Сахаре и до Европы.

Результаты тщательного изучения геологических данных вполне согласуются с выводами из результатов немногих сейсмических разрезов. Создается впечатление, что Средиземное море имеет структуру, отличающуюся от структуры дна типичных океанов и оно не похоже в этом отношении на промежуточные области вокруг Японии и Филиппин или к северу от Новой Зеландии, где первичное дно океана (слой 6,7 км/сек) покрыто, по всей вероятности, тонким гранитным слоем. Подробное исследование пород, обнаженных по берегам Средиземного моря, раскрывает механизм его геологической эволюции и объясняет большинство фактов, полученных до сих пор.

Хотя Средиземное море теперь и не является типичным океаном, оно, по-видимому, начинало свою жизнь как настоящий глубокий океан, разделявший два материка — Европу и Африку. Эти материка постепенно разрушались обычными процессами эрозии, и весь обломочный материал выносился в море, образуя материковые шельфы. Первоначальный океан постепенно сужался и в конце концов полностью заполнился осадками. Потребовалось лишь сравнительно небольшое вертикальное поднятие, и впадина превратилась в центр материка, протягивавшегося от Англии до Сахары. В гл. II уже было сказано, что причина таких вертикальных движений пока еще остается неизвестной, но они часто происходили в течение геологической истории, поскольку мы видим сейчас мощные толщи осадочных пород выше уровня океана.



Следующим шагом в эволюции Средиземноморья — как показывает изучение горных пород — было снова появление моря в центре всей области. Это произошло в среднем триасе, примерно 170 миллионов лет назад, и это было обусловлено тем, что европейский и африканский материки отодвинулись друг от друга. При этом первичное дно океана осталось почти нетронутым и только самые верхи базальтов, видимо, частично смешались с некоторой частью материкового материала. Процесс заполнения моря, очевидно, повторился, и около 30 миллионов лет назад на его место поднялся новый массив суши. Затем снова началось опускание, и в конце концов образовалось современное море. Согласно этой теории, должны были накопиться осадки значительной мощности, залегающие на неровной поверхности базальтового ( $6,7 \text{ км/сек}$ ) дна первичного океана. Быть может, этим и объясняется значительная мощность второго слоя и неудачи попыток обнаружения слоя  $6,7 \text{ км/сек}$  на тех немногих сейсмических разрезах, которые были нами сделаны. Опускание вторичного заполненного моря хорошо согласуется со следами сбросов на обоих берегах. Эти сбросы показывают, что весь центральный блок опустился примерно на две мили, разорвав европейские и африканские берега так, как они располагаются сейчас. В дальнейшем Средиземное море подвергалось боковому движению Африки относительно Европы, вызвавшему разлом в среднем триасе, а также более молодым вертикальным движениям, которые могли возникать при совместном боковом сдвиге двух материковых масс.

Много времени «Челленджер» затратил на посещение островов Средиземного моря. Сейсмические измерения были сделаны на востоке и западе Кипра для установления связи структуры острова со структурами морского дна. Существует легенда о том, что Кипр напоминает гриб, так как широкая верхняя часть острова держится якобы на мощном стержне. Промер, проведенный около острова, не подтвердил таких представлений, но тщательная съемка самого острова выявила некоторые интересные особенности. Оказалось, что расстояние вдоль острова с севера на юг, измеренное мерной лентой и теодолитом, сильно отличается от расстояния, вычисленного по наблюдениям небесных светил. Измерения силы тяжести позволили обнаружить здесь значительные аномалии, которые

приводят, конечно, к отклонению отвесов измерительных инструментов от вертикального положения и, следовательно, к неверным отсчетам. С геологической точки зрения высокие значения силы тяжести указывают на существование в корнях острова твердого ядра из основной породы и, по-видимому, со временем начнется его опускание. Сейсмические эксперименты показывают крутое падение слоя твердой породой к западу. Восточнее — в сторону моря от Фамагусты — наблюдаются большие скорости прохождения сейсмических волн, позволяющие предполагать наличие слоя очень твердой и плотной породы на глубине свыше мили, что опять-таки свидетельствует о крутом падении слоев к корням острова.

Остров Лемнос оказался для нас удобной базой в Эгейском море. Якорная стоянка в заливе Мудрос известна с дней галлиполийского сражения, и один из членов экспедиции на «Челленджере» отправился на кладбище жертв войны 1914—1918 гг. в Мудросе, а потом переправился через залив в Портанос, где помог сторожу красить ограду кладбища. Эти могилы скромны и полны покоя. В Мудросе много олеандров, растущих среди зеленых лужаек, а в Портаносе множество прекрасных сосен наполняют воздух своим смолистым ароматом. На небольшом острове Скирос длинная и пыльная тропинка ведет к одинокой могиле в оливковой роще, которую Руперт Брук видел со своей койки на французском госпитальном судне. На том месте, где в 1927 г. состоялась встреча общества англо-греческой дружбы, лежит мраморный камень, окруженный железной решеткой. Все это хорошо сохранилось и не заросло, лишь на мраморе какие-то туристы вырезали свои инициалы и сломана часть решетки.

Мы должны были покинуть Средиземное море, все еще сомневаясь в его геологическом происхождении. Но зато в Индийском океане таких неясностей не было. Немногочисленные сейсмические измерения, сделанные в его восточной половине, показали, что строение дна здесь примерно такое же, как и в Тихом океане. Местные океанографы не работали в Индийском океане, да и морские геологи также пренебрегали им до тех пор, пока «Челленджер» снова не посетил эти места на пути из Тихого океана в Средиземное море. Весной 1952 г. закончилась длительная стоянка «Челленджера» в Японии. Цветущие

вишни белым убором одели эту чудесную страну, когда мы последний раз видели ее. Не все, что следует посмотреть в мире туристам, оказывается таким, как ожидаешь — пирамиды в Египте кажутся мрачными, а Тадж Махал гораздо прекраснее всяких описаний. Весна в Японии полна прелестных красок и каждый уголок страны так же привлекателен, как на классических гравюрах.

Словно для того, чтобы показать новый интересный сюрприз природы (люди вряд ли могут предложить много нового и яркого), между Филиппинами и Японией появился новый остров. «Челленджер» шел в это время в Гонконг. Попытки создать новую сушу редко бывают удачными, так как рыхлый вулканический пепел быстро размывается океаном. По всей вероятности, процесс возникновения вулканического острова является трудным и длительным, потому что изверженный материал с самого начала подвергается жестоким атакам волн. Неистовые вулканические силы природы в этом случае проявились особенно жестоко. Японский исследовательский корабль со многими известными океанографами на борту отправился к месту появления острова, чтобы исследовать это интересное явление, до сих пор еще совсем не изученное. Корабль бесследно исчез. Несомненно, он был уничтожен внезапным вулканическим взрывом в то время, когда ученые занимались сбором образцов. Подводные взрывы, сопровождавшие извержения, отмечались гидрофонами на американском побережье. Если посмотреть радиограммы, полученные с корабля, и сравнить их с его предполагаемым курсом и американскими записями взрывов, то можно выделить один особенно сильный взрыв, который и был, по-видимому, причиной гибели корабля. Вся эта история напоминает дикое животное, кусающее лечащего его ветеринара. Впрочем, землетрясения и вулканы никогда не считаются с жизнью людей. Мы еще раз вспомнили об этом, когда «Челленджер» входил в Индийский океан через Зондские проливы и мы увидели следы разрушительного взрыва Кракатау, происшедшего в конце прошлого столетия.

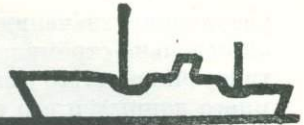
Индийский океан был спокойным, но нам не повезло с сейсмоакустическими буями. Сильная зыбь сильно раскачивала их вверх и вниз, и эти рывки передавались подвешенным под буями гидрофонам. Мы пытались удлинить

кабели, укрепляли на них в разных местах поплавки и грузы, делали петли на кабеле, всячески стараясь погасить рывки, вызванные волнением. Изобретательные мастера экспедиции придумывали при этом самые разнообразные способы, но все равно волнение создавало большой шумовой фон. Это было тем более досадно, что стояла прекрасная погода с едва заметным легким ветром. Волнение, должно быть, пришло издалека — из области грозных ревущих сороковых широт, где обширные пространства южной Атлантики и южной части Индийского океана дают великолепные возможности для образования самых больших в мире волн. Волны в Индийском океане не изучались, но они представляют большой интерес не только потому, что мешают сейсмическим работам в океане, но и вследствие сильного прибоя на западном побережье Австралии, где построены новые причалы у нефтеперерабатывающих заводов.

Мы не смогли получить какие-либо сейсмические результаты у Кокосовых (Килинг) островов. Это были первые типичные атоллы, на примере которых Дарвин основывал свою теорию о режиме опускания коралловых островов. Строение дна океана на прилегающем ровном участке ложа океана должно было бы быть таким же, как и в Тихом океане. Было бы очень желательно проверить это, и несомненно такая проверка будет очень интересной задачей для будущих экспедиций. К западу от островов — благодаря удачному сочетанию некоторых технических усовершенствований наших буев и ослаблению зыби — мы сделали в Индийском океане пять сейсмических разрезв.

На одном из них была обнаружена подводная гора с плоской вершиной. Ее геологическое строение оказалось подобным строению островов Тихого океана, и, возможно, она была образована тем же путем, как и тихоокеанские подводные горы. Результаты сейсмических исследований на больших глубинах подтвердили сходство с Тихим океаном. К сожалению, в глубоководных областях западной половины Индийского океана мы не получили успешных результатов. Измерения на Сейшельских островах показали, что слагающие их породы сильно отличаются от пород исследованной ранее подводной горы в Индийском океане и от Тихоокеанских островов. Сейшельские острова сложены гранитами, и, судя по тонкому покрову корал-

лов, они не испытывали погружения подобно островам в Тихом океане. По всей вероятности, здесь должны быть некоторые различия в характере пород и на дне глубокого океана, окружающего эти острова, от тех пород, которыми сложено дно Тихого и восточной части Индийского океана,— только этим и можно объяснить наблюдаемые явления. Цинично настроенный океанограф вполне подготовлен к тому, чтобы встретиться со всякими тайнами на этих далеких островах с их баснословно большими черепахами и уникальными тройными сейшельскими орехами.



## XI. Блуждающие материка

Мы далеко зашли в нашем истолковании первой главы Книги Бытия.

Дж. М. Лис,  
*Ежегодная речь в Геологическом обществе*

Лишь с первого взгляда может показаться странным, что материка Азии и Африки раздвинулись, образовав при этом Средиземное море. Мы уже видели на убедительных примерах с опусканием вулканических островов в Тихом океане и существованием тысяч футов известняка и других осадочных пород на современной суше, что в земной коре происходят значительные вертикальные движения вверх и вниз. В начале нашего столетия некоторые геологи ввели понятие о горизонтальных движениях массивов суши, и это было необходимо для разумного использования огромного количества плохо связанных между собой фактов относительно различных типов и слоев горных пород. Сочетание горизонтальных движений с поворачиванием отдельных массивов суши, как предполагалось, было причиной перемещения материков от их прежнего положения к тому, в котором мы знаем их сейчас.

Гипотеза передвижения или скольжения материков связана в основном с именем Вегенера. Его имя с уважением вспоминают сторонники этой гипотезы и с пренебрежением те, кто в нее не верит. Но Вегенер заслуживает уважения с любой точки зрения, потому что он искренне верил в свою гипотезу и храбро защищал ее. Быть может, страстная убежденность толкала его на пре-

увеличение значения некоторых доводов и вместе с тем он невольно стремился не замечать некоторые факты, противоречившие его гипотезе. Однако Вегенер собрал очень много данных и его гипотеза во многих отношениях была блестящей попыткой объяснить и связать некоторые загадочные явления на Земле — например, сходство очертаний восточного и западного побережий Атлантического океана, наличие одинаковых ископаемых остатков в местах, разделенных громадными просторами океана, и исключительно близкое соответствие одновозрастных слоев горных пород Южной Африки и Южной Америки.

Теория, выдвинутая позднее другими исследователями, независимо от Вегенера, также предполагает, что поверхность суши на Земле была прежде единым большим материком, который раскололся на отдельные массивы. Их мы можем видеть теперь после того, как они медленно расползлись. Постепенное расплзание этого первичного массива суши, напоминающего эмбрион, показано в трех стадиях, изображенных еще самим Вегенером, и, несомненно, эта исключительно убедительная схема эволюции суши является одной из главных причин, объясняющей, почему так много людей чувствует в этой гипотезе какую-то долю истины. Массивы суши по обеим сторонам Атлантики были хорошо пригнаны друг к другу, когда были сдвинуты вместе и образовывали первичный материк, хотя при тщательной проверке этого на глобусе можно заметить следы как бы небольшого сплющивания суши. Однако такое сплющивание, образующее складчатые горные хребты, несомненно происходило, а кроме того в современных очертаниях материков и не следует ожидать полного соответствия, так как сейсмические исследования и результаты изучения рельефа дна океана показали, что истинные границы массивов суши в действительности соответствуют не нынешнему положению береговой линии, а краям материковых шельфов.

Даже принимая во внимание истинные границы материковых массивов и учитывая значение складчатости, не следует ожидать полного соответствия очертаний современных материков, так как отдельные участки их могли оторваться. Мадагаскар, например, представляется нам остаточным массивом, связанным, с одной стороны, с Индией, а с другой — с Африкой. Некоторые острова — Сейшельские и Маврикия — также сложены породами



Рис. 8. Восстановленная картина земного шара в древности, когда нынешние континенты были объединены вместе (Южная Индия, например, относилась скорее к Африке, чем к Азии).

материкового типа, и по своим очертаниям хорошо соответствуют конфигурации Австралии, Индии и Африки, которые, как предполагалось, расползались друг от друга. В Атлантическом океане знаменитый Средне-Атлантический хребет резко изгибается примерно по середине океана и тем самым дает возможность хорошо объяснить причины несовпадения очертаний современных восточных и западных берегов океана. Однако там, где вершины этого горного хребта выходят на поверхность океана (например, Азорские острова или скалы Св. Павла), слагающие их породы имеют вулканический характер, а с подводных вершин хребта в центральных частях



Атлантики не было взято драгой еще ни одного образца пород материкового типа. В связи с этим есть предположение, что все океаны имеют центральные хребты, связанные, возможно, с неустойчивостью обширного и ровного дна океана; признаки существования таких хребтов отмечены и в Тихом и в Индийском океанах.

Конечно, не только совпадение очертаний противоположных берегов заставляет некоторых геологов поддерживать гипотезу перемещения материков. Многие слои горных пород очень сходны не только по обеим сторонам Атлантики, но и на тех территориях, которые прежде соединялись в Индийском океане. Некоторые горные хребты, в их современном положении не обнаруживающие никакой связи между собой, часто составляют единые складчатые системы, если их рассматривать в свете гипотезы Вегенера. Такие пояса складчатости могли тянуться через восточную сторону США и Ньюфаундленд и далее до Скандинавии, от гор Атласа в Северной Африке до Венесуэлы и от мыса Доброй Надежды до Аргентины. Если сдвинуть материки в предполагаемый первичный массив суши, то горные хребты не только окажутся непрерывными, но и можно будет увидеть, что они сложены сходными породами, относящимися к одним и тем же возрастным геологическим группам. Это установлено микроскопическими исследованиями состава пород и содержащихся в них ископаемых.

При изучении сходства ископаемой фауны следует помнить, конечно, что некоторые животные были распространены чрезвычайно широко, а другие могли очень легко передвигаться и поэтому-то их и можно обнаружить в странах, разделенных океанами. Это подчеркивается находками сходных ископаемых форм в таких местах, где даже самое богатое воображение не может представить объединение материков в прошлом. Однако обычно биологи для объяснения современного распределения животных и растений предпочитают гипотезу перемещения материков или существование в какой-то иной форме мостов, связывавших материки и в дальнейшем затопленных. В геологии и биологии, разумеется, накопилось достаточно фактов, порождающих бесконечное множество самых различных мнений. На Земле имеется так много геологических свит, ископаемых остатков фауны и флоры, богатый мир животных и насекомых, и один человек, конечно,

не может увидеть все это разнообразие явлений и сопоставить. Поэтому часто так же, как и в дискуссии Дарвина и Мюррея о коралловых атоллах, возникают бесчисленные жаркие споры и тогда, когда обе стороны правы по-своему, но говорят о разных явлениях, употребляя одни и те же выражения. Если непрерывные пояса суши и не пересекали существующие океаны — а огромное количество данных о глубинах океана скорее всего исключает такую возможность — зато несомненно существовали в какой-то определенный промежуток времени обширные цепи островов в Тихом океане (их положение надежно отмечено плосковершинными подводными горами и атоллами). Миграция через такие островные мосты была, несомненно, более легкой, чем через тысячи миль открытого океана, и, следовательно, цепи островов должны были играть важную роль в биологических связях между материками. Экспедиция на «Кон-Тики» показала, что животные могут пересекать большие расстояния на дрейфующих стволах деревьев, и, быть может, именно этим объясняются необычные ареалы многих организмов, считавшиеся ранее весьма благоприятными фактами для гипотезы перемещения материков. Но, разумеется, этим объясняется еще не все, и остается довольно много других фактов, которые становятся понятными лишь в том случае, если принять гипотезу перемещения материков. К сожалению, первые защитники этой гипотезы, а также ее противники все время только старались доказать свою правоту, и поэтому самые ценные стороны гипотезы Вегенера, в конце концов, затерялись в неразберихе преувеличений и преднамеренного отбрасывания противоречащих фактов.

Споры были весьма упорными, хотя геофизики утверждали физическую невозможность движения материковых масс в горизонтальном направлении через океанские впадины. Указывалось, что порода, обладающая достаточной текучестью для движения материков, никогда не сможет поддерживать большие горные хребты, которые, как показывает геологическая история, никогда не выравнялись под тяжестью своего веса, даже за несколько десятков миллионов лет. Однако этот вывод не слишком обоснован и не требуется особых познаний, чтобы увидеть разное отношение горных пород к прилагаемым силам. Лед будет стекать по склону под действием силы собст-

венной тяжести так же, как смола сама вытекает из бочки, если ее оставить открытой на несколько месяцев. Каменная соль ведет себя таким же образом, и соляные купола выжимаются из недр Земли, иногда достигая поверхности, и стекают по склону подобно льду. Однако есть некоторые породы, похожие по механическим свойствам на бетон или кирпич, которые обладают достаточной прочностью и сохраняют свою форму, если, разумеется, они не подвергаются действию атмосферного выветривания. Вполне возможно, что разное поведение горных пород зависит только от времени, и в конце концов все твердые тела становятся текучими, если дать им достаточное время. Если даже очевидное различие между разными материалами является истинным, некоторые породы поддаются воздействию на них силам вследствие медленного процесса растрескивания, сопровождающегося затем цементацией породы растворами, переносимыми по трещинам. В Иране известны места, где прослой известняка мощностью 10 футов изгибаются под прямым углом и в породе нет никаких разрывов, хотя растяжение при изгибе несомненно превышает предел упругости. На стенах древних построек также часто бывает видно прогибание, связанное с медленным оседанием. Однако при непосредственной проверке оказывается, что очертания слоев кирпича сохранили свою правильность. Искривление, по-видимому, проявляется в самом растворе, скрепляющем камни, и, возможно, некоторые процессы цементации происходят вновь после медленного растрескивания известкового раствора. Следовательно, твердый материал земной коры также может деформироваться с растрескиванием или течь подобно каменной соли. Сейсмические и геоморфологические исследования, подобные проводившимся «Челленджером», уже раскрыли многое о различном поведении земной коры по отношению к постоянным нагрузкам на нее и подобные данные могут стать решающими для принятия или опровержения гипотезы перемещения материков.

Нет сомнения, что если бы Вегенер смог в свое время предъявить достаточные доказательства для подтверждения своей гипотезы, то каждый должен был бы согласиться с горизонтальными движениями материков. Кстати сказать, эта гипотеза не была отвергнута из-за отсутствия объяснений механизма предполагаемых движений. В кон-

це концов ведь мы не знаем удовлетворительного объяснения периодического наступания и отступания ледниковых эпох, а тем не менее нельзя отрицать, что большие пространства Земли в прошлом покрывались льдом. Это опять-таки связано со скоростью движения, поскольку положение ледяных шапок изменяется в историческое время и его можно измерить (хотя трудно объяснить). Но перемещение материков может происходить в течение миллионов лет.

При перемещении материков изменялось их положение относительно полюсов и экватора, а также по отношению друг к другу. Климаты в различных частях мира всегда имели отчетливые особенности, и поэтому в породах, отлагавшихся в течение прошедших геологических эпох, должно быть много аномалий. По схеме Вегенера движение суши происходило от северного полюса, и не только сопровождалось расползанием отдельных кусков суши (которое доказывается уже упоминавшимися чертами геологического, биологического и географического сходства), но и общими для них всех следами сурового климата, сохранившимися в более древних породах. Многие типы пород и особенности их накопления указывают на большие изменения климата, происходившие во многих частях света. Возможно, конечно, что поверхность Земли нагревалась за счет внешних источников тепла, тогда как внутренняя часть земного шара в целом остывала и тогда все это могло быть основной причиной смены климатических условий. Вряд ли, однако, только этим можно объяснить все имеющиеся факты, так как при сопоставлении возраста пород получаются весьма противоречивые климаты — некоторые породы в Индии свидетельствуют о похолодании, тогда как в те же этапы геологической истории в Западной Африке отмечаются все признаки нормальных климатических условий.

Такую противоречивость геологических фактов можно объяснить изменением положения массивов суши по отношению к оси вращения Земли. В этом случае земная кора должна была скользить по внутренней оболочке, словно свободная наружная пленка. Тогда суша, находившаяся прежде у полюсов, могла передвинуться к экватору, и существуют некоторые признаки, подтверждающие подсобное перемещение, но, разумеется, оно не может объяснить все изменения климата в прошлом.

Геологи установили существование в прошлом ледниковых периодов по тем следам, которые оставили после себя громадные покровы движущегося льда. Эти признаки обычно никем не оспариваются, поскольку их легко проверить при изучении современного оледенения в Альпах и полярных областях. Около 250 миллионов лет назад, в каменноугольном периоде, большие территории Аргентины, Южной Африки, Мадагаскара, Южной Индии и Австралии были покрыты льдом, что также доказывается несомненными геологическими признаками. Такое распространение ледникового покрова нельзя объяснить простым расширением антарктического льда или смещением южного полюса к северу, поскольку в Патагонии, Индонезии и Новой Зеландии следы древнего оледенения не обнаружены. Гораздо лучше оно объясняется, если допустить, что перечисленные области суши составляли единый массив, который был частью первоначального материка, предполагавшегося Вегенером, и что южный полюс был смещен тогда к тому месту, где теперь находятся португальские колонии в Восточной Африке.

В каменноугольный период Антарктический материк был частью суши, покрывавшейся льдом, но затем там стало гораздо теплее, поскольку в пермском периоде уже началось отложение пластов каменного угля. Подобным образом теплые климаты связаны с развитием коралловых полипов, и, следовательно, распространение кораллов во всем мире в различные геологические эпохи отражает историю движения массивов суши не только по отношению к полюсам, но и друг к другу. Другим интересным показателем климатических условий является особый тип песчаника, свидетельствующий о пустынной обстановке, так как в состав его цемента входят зерна перевеянного ветром песка. Тщательное исследование структуры породы и распределения различных размеров зерен песка позволяет установить направление преобладавших в то время ветров. Система ветров, дующих ныне на Земле, в общем определяется положением оси ее вращения, и поэтому направление ветра в далеком геологическом прошлом, которое устанавливается при изучении данного типа песчаника, может быть связано с ориентировкой древних массивов суши и их широтным положением.

Отложения солей, образованные в результате испарения во внутренних морях, типичны для жаркого кли-

мата. Иногда слои эвапоритов встречаются на побережьях, где нынешний материк соприкасается с океаном. Противникам гипотезы перемещения материков было трудно объяснить это, особенно в тех случаях, когда аналогичные осадки обнаруживались на противоположном берегу океана. Активные поиски нефти и различных минералов значительно расширили наши знания о геологии обеих сторон Атлантики. Благодаря этому мы вполне можем теперь сравнивать весь разрез, пройденный буровыми скважинами, а не полагаться на ограниченные данные, полученные при изучении поверхностных данных. Оказалось, что исключительное сходство древних пород прослеживается только до мелового периода (около 100 миллионов лет назад), а в дальнейшем исчезает. Именно так и должно было бы быть, если бы Америка и Африка были соединены до того времени, когда отлагались меловые породы. Можно, разумеется, полагать, что при сходстве климата и исходных осадкообразующих пород одинаковые осадочные породы будут создаваться на одной и той же широте на противоположных сторонах океана. Но это не подтверждается при изучении недавних геологических эпох и, следовательно, не могло быть и в более далеком геологическом прошлом. Впрочем, столь велико разнообразие процессов, которые могли оказывать активное влияние на климат и связанное с ним образование осадочных пород, что никак нельзя исключать возможность совпадения этих условий в различных частях Земли в какие-либо моменты геологической истории. Доверие к гипотезе перемещения материков сразу же возрастет, если она сможет просто объяснить многие явления и совпадения, для понимания которых сейчас пытаются привлечь самые разнообразные и необычайные объяснения.

Сейсмические исследования дна океанов помогают решить спор Дарвина и Мюррея о коралловых атоллах. Эти исследования пока еще не дали достаточных материалов для ясного истолкования истории земной коры, но тем не менее они все же могут внести некоторую ясность в противоречия гипотезы перемещения материков. Прежде всего становится вполне определенным, что строение пород океанского дна отличается от материковых пород. Простое строение слоя  $6,7$  км/сек, распространенного под всеми океанами, совершенно не соответствует сложному сочетанию материковых пород — известняков, песчаников,

глинистых сланцев и гранитов, мощность которых измеряется десятками тысяч футов. Скорость прохождения сейсмических волн через эту толщ колеблется от 3 до 6 км/сек. В течение многих миллионов лет материка поднимались и опускались, а в сравнительно мелких водах отлагались глины, пески и раковины моллюсков. Но структура, обнаруженная сейсмическими исследованиями на дне океанов, совсем не напоминает погруженный материк.

Правда, первичное дно океана, сложенное породами, со скоростью прохождения сейсмических волн 6,7 км/сек, покрыто несколькими тысячами футов осадочных глин и, возможно, известняка, но весь этот обломочный материал накопился в океанах за счет сноса с материков. Верно также и то, что в океане, как и на суше, имеются вулканы. Однако в океане они, по сути дела, оказываются самым важным рельефообразующим фактором, как это особенно ярко видно на дне Тихого океана. Все атоллы, острова и плосковершинные горы, все эти формы рельефа, как установлено недавними сейсмическими и эхолотными исследованиями, являются результатом вулканической деятельности. В разных частях океанов отмечены, конечно, некоторые различия этого процесса, которые имеют важное значение для рассматриваемой проблемы. Вулканологи давно уже сомневались в существовании полного сходства в строении различных частей дна Тихого океана. Была проведена так называемая андезитовая линия для установления различий в химическом составе вулканических пород, отделяющая, например, Филиппинскую котловину от центральной части океана. Представления геологов о реальном различии в структуре земной коры по обеим сторонам андезитовой линии подтверждаются сейчас немногочисленными пока еще сейсмическими данными. С той стороны от нее, которая ближе к материку, в области Меланезии, к северо-востоку от Новой Зеландии, мощность слоя 6,7 км/сек является промежуточной между величинами, отмеченными в океанах (7 миль) и на материках (20 миль). Кроме того, там обнаружена необычайно большая мощность второго слоя — даже на станциях, значительно удаленных от корней островов.

Филиппинская котловина отличается также от собственно Тихого океана отсутствием больших подводных гор. В ней известны области сложного рельефа, например

горы Дайто в северной части Западно-Филиппинской котловины, но характер подводных гряд, в противоположность группам отдельных вулканических гор самого Тихого океана, вполне допускает возможность того, что они являются складчатыми горными образованиями, в которых вулканизм играл лишь подчиненную роль. Судя по наблюдениям времени прохождения волн от землетрясений, область, находящаяся со стороны суши от андезитовой линии, имеет материковую структуру, хотя это означает лишь то, что здесь находится слой земной коры, характеризующийся скоростями сейсмических волн от 4,5 до 5,9 км/сек. В области Филиппинской котловины нет следов погрузившегося материка, но ясно также, что она не принадлежит к типичной тихоокеанской впадине. Те силы, которые сминали азиатский материк и раздробили на куски его окраину, несомненно, проявлялись и в прилегающих частях океана, поэтому есть смысл, учитывая геоморфологические признаки, считать андезитовую линию структурной границей впадины Тихого океана, а не только границей, отмечающей изменения геохимического состава земной коры. Вместе с тем сейсмические исследования отчетливо показывают, что области вроде Филиппинской котловины никогда не были материками, но отличаются и от центральных частей океана.

В Атлантическом океане не пытались проводить андезитовую линию, но буровая скважина на Бермудских островах, пройдя около трехсот футов через кораллы, достигла андезитов. Азорские острова, поднимающиеся над Средне-Атлантическим хребтом, тоже сложены андезитами. Вряд ли стоит сомневаться, что Бермудские и Азорские острова должны были бы помещаться со стороны суши по отношению к андезитовой линии, если бы они находились в Тихом океане. Поскольку мощность коралловых известняков на Бермудских островах не превышает нескольких сотен футов, можно считать, что эти острова не опускались, как это произошло, например, с атоллом Бикини, где было пробурено свыше двух тысяч футов кораллового известняка. Кроме того, плосковершинные подводные горы были обнаружены только на одном небольшом участке в северо-западной Атлантике. Таким образом, следы общего закономерного опускания вулканических островов, столь характерного для Тихого океана, в Атлантическом океане отсутствуют.



Сейсмические исследования показали, что большая плосковершинная подводная гора, встреченная «Челленджером» в Индийском океане, сложена тем же типом вулканического материала, как и Гавайские острова. Но в западной части Индийского океана, как свидетельствуют граниты Сейшельских островов, дело обстоит по-иному. На этих островах также есть коралловые породы, но по сейсмическим данным они представлены там лишь тонким слоем, а не тысячефутовой толщей, указывающей на опускание. Что касается прохождения волн от землетрясений, то наблюдения за ними подтверждают выводы, сделанные нами на «Челленджере», о существовании двух различных структурных областей в Индийском океане и возможности провести своеобразную андезитовую линию, отделяющую западную переходную область от восточной, имеющей подлинно океанское строение.

Западная половина Индийского океана и Атлантический океан являются как раз теми частями поверхности Земли, по которым, по мнению сторонников гипотезы перемещения материков, двигались большие материковые массивы. Могли ли во время этого движения обрывки слоя кислой породы (возможно, в сочетании со смесью кислых и основных пород) отставать от материковых массивов и оставаться на дне океана, выдерживая в течение длительного времени тяжесть островов? Ведь основная порода первичного океанского дна вполне допускает тихоокеанский режим развития опускающихся вулканов, столь убедительно доказываемый атоллами и плосковершинными подводными горами!

Переходные области Филиппинской котловины и Меланезии также могли быть местами, где в прошлом материковые массивы перемещались по океанам. Подробное изучение коралловых пород не только подтверждает существование необходимых для их развития тепловодных условий, но и позволяет определить широту, на которой развивались коралловые постройки. Для объяснения разных типов кораллов, обнаруженных в странах, окружающих Тихий океан, можно привлечь значительные перемещения суши. Возможно даже, что все обрамление Тихого океана ныне поворачивается относительно ложа самой тихоокеанской впадины, так как все зоны разломов в пограничных областях Японии, Камчатки, Алеутских островов, Канады, Калифорнии и Новой Зеландии, имеют одинаковое на-

правление сдвига вправо. Эти разломы играют особо важную роль, поскольку именно они доказывают реальную возможность горизонтального движения материков.

Есть еще одна группа экспериментальных данных, которые связывают гипотезу перемещения материков с недавними исследованиями Тихого океана. Цепь Средне-Тихоокеанских гор протягивается под водой, на тысячи миль между Гавайскими островами и островом Уэйк. С вершин пяти плосковершинных подводных гор, являющихся одними из наиболее замечательных форм подводного рельефа в этой гряде, с глубины около одной мили были взяты драгой образцы пород. Общий вулканический характер гор доказывается полученными при этом обломками оливнивого базальта. В пробах встречаются также и мелкие окатанные гальки. Значит, вершины гор когда-то находились на уровне океана, так как гальки могли стать окатанными, лишь перекатываясь в зоне прибоя. С двух подводных гор на поверхность были подняты обломки древних кораллов, которые также свидетельствовали о небольших прежних глубинах. Изучение кораллов позволило установить, что подводная гора была островом примерно в верхнем мелу, т. е. примерно сто миллионов лет назад. Эти ископаемые кораллы являются самыми древними когда-либо открытыми не только в Тихом, но и в любом другом океане. Если подводные горы поднимались вверх почти на две мили над ровным дном океана, то, следовательно, Тихий океан должен был быть глубоким даже в те бесконечно далекие от нас времена. Подводные горы Средне-Тихоокеанского хребта, бывшие тогда островами, должны были служить удобными опорными пунктами для миграции растений и животных через океан.

Для рассмотрения интересующего нас вопроса о движении материков важное значение имеет тот факт, что более или менее обоснованная геологическая история океана может быть прослежена только с мелового периода. Для воссоздания более древних этапов истории мы практически не располагаем никакими данными. И именно во время мелового периода происходили большие перемещения материков, которыми, по мнению защитников гипотезы Вегенера, можно объяснить факты, наблюдавшиеся в Атлантическом и Индийском океанах!

Все это позволяет составить единое представление об общей причине развития океанов, и оно совсем не проти-

воречит различию между Атлантическим и Тихим океанами, выявленному в недавних исследованиях. Один и тот же механизм, который воздействовал на Землю в целом, мог заставить Европу и Африку отодвигаться от Южной и Северной Америки и в то же время вызывать вспышку вулканической деятельности в Тихом океане.

Океанографические экспедиции как прошлого, так и нынешнего столетий направляли все свои усилия на сбор фактов, а не на объяснения того, как новые данные согласуются друг с другом. Все сейсмические исследования были, однако, очень тесно связаны с эхолотными исследованиями рельефа дна океана для того, чтобы получить логически законченную картину строения земной коры. В нормальном процессе мышления, которым следует научная мысль, все эти новые наблюдения должны быть объединены во всеобъемлющую теорию, где должны быть сформулированы построения, допускающие математическую обработку. Имеется, однако, одно неизбежное несоответствие. Мы уже познакомились с историей осадконакопления (хотя она и не является вполне доказанной) и обнаружили, что довольно трудно объяснить, почему мощность осадочного покрова на дне Атлантического и Индийского океанов примерно соответствует мощности обломочной толщи в более древнем Тихом океане. Кроме того, постоянство океанских впадин, судя по полному отличию их геологического строения от структуры материков, должно было бы благоприятствовать единой истории их развития. Требуется особого объяснения происхождение глубоководных желобов Тихого океана. По всей вероятности, эти впадины представляют собой крупные складки слоя породы, слагающей дно океана. Эти складки являются столь существенными формами, что должны быть объяснены любой выдвигаемой теорией развития Земли — ведь не случайно же они вдвое превышают нормальную глубину океана. Сейсмические исследования желобов до сих пор ограничены немногими результатами, полученными во время работ на «Челленджере»<sup>1</sup>, но они все же

---

<sup>1</sup> В годы после работ экспедиции на «Челленджере» советскими учеными проведены подробные комплексные геофизические исследования Курило-Камчатского желоба, а американскими геофизиками — желобов Центрально-Американского, Тонга и Пуэрто-Рико. — *Прим. ред.*

позволяют предполагать, что в Марианском желобе депрессия земной коры образована в породах типичной океанской структуры. Это кажется закономерным, если предположить значительную гибкость дна океана, допускающую опускание атоллов и горизонтальные движения материковых масс. Складка в породе должна быть каким-то образом зафиксирована против стремящихся выжать ее вверх сил тяжести. Возможно, она была образована, когда порода еще находилась в пластичном состоянии, а затем затвердела, но подобное предположение открывает чересчур много неопределенностей для того рассудительного ума, который попытается принять гипотезу перемещения материков. Эта гипотеза становится к тому же мало приемлемой, если вспомнить, что глубокие впадины ограничивают Филиппинские острова как раз в том месте, где предполагается переходный тип коры, могущей противостоять опусканию атоллов.

В то время, как океанографы собирали фактический материал о геологии морского дна, развивалось и другое направление экспериментальных исследований. Накопилось достаточное количество магнитных измерений на древних породах, и они позволяют дать цифровые значения тем довольно неуловимым признакам, которые служат нам для оценки климатов прошлого. Почти нет сомнений в том, что в течение последних трех миллиардов лет положение магнитных полюсов Земли значительно менялось, однако для объяснения разных направлений, в которых намагничены породы в различных частях земного шара, приходится привлекать еще и поворачивание и относительное движение материков. Направление намагничивания обычно определяется ориентировкой частиц породы при ее отложении, и это направление сохраняется вне зависимости от последующих наклонов слоев или складчатости. Если порода составляет часть передвигавшегося материка, то ее древний магнетизм не будет соответствовать положению нынешних магнитных полюсов. Это, правда, усложняется перемещением самих магнитных полюсов, но исследование разновозрастных пород во всех частях мира должно дать возможность отличать движение полюса от перемещения материка. Установлено, например, что Австралия находилась вблизи от магнитного полюса в самые ранние геологические эпохи и затем — позднее — в каменноугольном периоде, а в про-

межутке между этим смещалась к экватору. Отмечены также следы большого углового раздвигания между Европой и Америкой, начиная с мелового периода (как предполагалось и в гипотезе Вегенера). Однако результаты этих магнитных исследований пока еще рано считать окончательными, так как в отдельных измерениях встречаются большие расхождения, а пути миграции северного и южного магнитных полюсов, определенные по породам, находящимся соответственно в северном и южном полушариях, не всегда одинаковы. Все теории магнитного поля Земли соглашаются с тем, что северный и южный полюсы должны быть диаметрально противоположными, поскольку они связаны с осью вращения нашей планеты. Можно, конечно, объяснить любой случайный ряд наблюдений, вводя почти бесконечное число поворотов и горизонтальные перемещения отдельных материковых массивов. Результаты палеомагнитных исследований только тогда станут вполне убедительными, когда они покажут правильную последовательность перемещений материков без противоречий в их взаимном расположении.

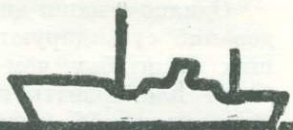
Вескость фактов, подтверждающих гипотезу перемещения материков, уже оказала свое влияние на представления о том, как могло происходить это перемещение. Резкое отрицание всякой возможности горизонтального движения одной части земной коры относительно другой части сменилось теперь двумя главными представлениями. Одно предполагает очень медленное пластичное течение, допуская столь разнообразные свойства материалов в земной коре, что течение может происходить в любом случае, но иногда чрезвычайно медленно и почти незаметно даже в течение геологических периодов. Другое представление предполагает, что земная кора иногда может размягчаться за счет тепла, приходящего из глубин Земли. В гл. II, когда мы говорили о проблемах, стоящих перед современными океанографами, нам уже пришлось указывать, что радиоактивность внутри Земли постоянно создает тепло, которое сохраняется благодаря плохой теплопроводности пород, слагающих земную кору. Это скрытое тепло, разумеется, будет разогревать породы до тех пор, пока они не станут достаточно текучими для движения по ним более твердых частей земной поверхности. При этом самые тонкие участки земной коры под океанами должны выделять наибольшее количество тепла посред-

ством бесчисленных вулканических извержений и излучением тепла всей поверхностью дна, конвективным путем передающегося затем во всю массу воды. Тепловой поток глубин Земли — если его нынешнее количество считать нормальным — составляет около 30 калорий на  $1 \text{ см}^2$  в год. Десять тысяч вулканических подводных гор и островов Тихого океана являются результатом 150000-летнего воздействия этого тепла в течение времени их образования из твердой породы, и каждое поднятие температуры воды на один градус должно было расходовать около одной десятой этого количества тепла. Если периодические бурные выделения тепла действительно происходили в прошлом, то, судя по приведенным выше цифрам, они должны были повторяться несколько раз в миллион лет, но это значительно отличается от того, что предполагают геологические данные. Впрочем, не следует все же предаваться унынию из-за такого расхождения, поскольку эти представления только еще начинают развиваться, да и к тому же еще до сих пор не решен вопрос и о том, нагревается или остывает Земля.

Очень интересно наблюдать, как разнообразные специализированные исследования, касающиеся сейсмических, магнитных, геологических, биологических или климатических свойств Земли, сочетаются с изучением сопротивления материалов, радиоактивности, теплового потока и даже распространения элементов в космическом пространстве (так как это может дать ключ к одной из неизвестных величин — общему количеству радиоактивного материала внутри Земли). Все это делается для того, чтобы рассказать о том, как наша планета достигла своей теперешней формы. Было бы хорошо поставить наблюдения за двумя массивами суши, которые на самом деле перемещаются; ведь можем же мы, изучая движение современных ледников, воссоздавать обстановку прошлых ледниковых эпох. Уже сделаны некоторые подсчеты скорости раздвижения материков Африки и Америки, дающие значение скорости 2 дюйма в год. Несмотря на то, что еще нет метода для оценки такого движения с достаточной точностью, это, разумеется, не означает, что мы не сможем со временем получить такой метод. Вегенер уже ссылался на такие измерения, доказывая свою гипотезу, но большинство использованных им данных было получено за последнюю сотню лет в Арктике, и учитывая старую

технику измерений и климатические трудности, надежность этих наблюдений весьма проблематична.

Нет сомнения, однако, что общий ход развития поверхности Земли сопровождался периодическими движениями материков вверх и вниз на несколько тысяч футов, поднятиями и погружениями островов в Тихом океане. Весьма вероятно также, что массивы материков перемещались в прошлом друг относительно друга, так что океаны, которые в основном были постоянными, изменяли свои размеры и формы и могли иметь различный возраст. В далеком прошлом климат резко менялся, и чем лучше мы будем знать все происходившие изменения, тем успешнее окажутся поиски нефти, для образования и сохранения которой необходима специфическая обстановка. Вот почему все разнообразные направления наступления на тайны земной коры являются в то же время средством развития методики поисков новых запасов нефти.



## XII. Глубокое бурение

Я хочу, чтобы какому-нибудь богачу-миллионеру пришло в голову пробурить скважины на некоторых атоллах Тихого и Индийского океанов...

Чарлз Дарвин, *письмо Александру*  
*Агассизу*

За последние десять лет наблюдается большой прогресс в наших представлениях о строении земной коры. В значительной мере это достигнуто благодаря значительным усилиям в разрешении трудной проблемы исследований строения дна океанов. В предстоящее десятилетие, надо полагать, прогресс будет столь же большим, и мы сможем получить ответы на многие вопросы, поставленные в результате начатой сейчас работы. Прежде приходилось использовать лишь косвенные методы для измерения глубин океанов и изучения слоев пород, лежащих под ними. Причина этого была кратко и весьма трезво определена в 1939 г. главой английских морских геологов сэром Эдуардом Буллардом: «Развитие наших работ по морской геологии зависит сейчас от наилучшего использования тех возможностей, которые представляются нам на военных кораблях и владельцами частных яхт, а также от того, как мы сумеем организовать получение сравнительно легко доступных результатов. Сейчас это важнее составления сложных планов, требующих участия нескольких крупных кораблей и специальных кабельных судов».



Однако в наши дни даже самые смелые проекты исследований субсидируются правительствами в гораздо больших масштабах, чем раньше, и работа ученых, которые могут планировать и осуществлять эксперименты большого масштаба, всемерно поддерживается, особенно в том случае, если она имеет какое-либо отношение к национальной обороне или выполняется как национальное мероприятие. Для того, чтобы сделать следующий шаг вперед в исследованиях строения дна океанов, нужно последовать примеру профессора Челленджера из известной повести Конан-Дойля и сделать попытку проникнуть в глубины Земли для осмотра пород и отбора образцов. Пришло время для нового наступления, так как у нас появились новые материалы и усовершенствованные технические возможности. Подводные исследователи скоро уже смогут достигать дна океана в своих батискафах и смогут воспользоваться некоторыми достижениями нефтедобывающей промышленности для проникновения в породы земной коры, лежащие под океаном.

Нефтяные компании давно уже должны были вести глубокое бурение для добычи нефти. Но сейчас они все больше сознают, насколько дороги косвенные геофизические методы поиска подземных залежей нефти, все больше думая о том, как усовершенствовать и удешевить буровую технику, чтобы шире использовать бурение уже на ранних стадиях исследований. Часто говорят в шутку, что первая скважина на неразведанной территории всегда оказывается сухой, и поэтому лучше всего как можно поскорее пробурить ее и отделаться от нее. В этом есть доля правды, особенно если мы вспомним, насколько эффективнее могут быть гравитационный и сейсмический методы разведки в том случае, если известна последовательность слоев пород в буровой скважине. Геофизические методы наиболее эффективны, когда используются для изучения структуры какого-либо определенного слоя породы, но они несравненно менее пригодны для изучения совершенно незнакомых геологических формаций. Морские геологи вынуждены были доверять геофизическим данным, поскольку долгое время геофизические методы были единственными методами проникновения вглубь земной коры, но сейчас уже наступило время, когда крайне необходимо пробурить несколько скважин для проверки сделанных ранее выводов.

Развитие исследований глубоководных осадков, конечно, также немислимо без буровых скважин. Сейсмические измерения показали, что на дне океанов имеется осадочный покров, средняя мощность которого составляет около 1000 футов. Однако колонки донных отложений, полученные с большими усилиями с океанских глубин — а рекордная длина этих проб равняется всего лишь 70 футам<sup>1</sup>, — едва затрагивают лишь самую верхнюю часть осадочной толщи. Несколько дальше мы увидим, что уже нет технических причин, препятствующих взятию колонки на полную мощность толщи рыхлых осадков, покрывающих дно океана. По сути дела, не требуется также каких-либо дополнительных технических приспособлений для проникновения и в более глубокие слои — вплоть до второго слоя, слоя 6,7 км/сек и, в конечном счете, до самого раздела Мохоровичича.

В 1957 г. новые идеи развития наших познаний в области морской геологии приняли вполне определенную форму благодаря двум рекомендациям Комитета Международного геодезического и геофизического союза (который еще в 1954 г. предложил рассмотреть вопрос о запуске спутников Земли). Эти рекомендации были таковы: во-первых, «пробурить несколько тысяч футов в осадках, покрывающих дно океана на глубине трех миль, чтобы выяснить характер лежащих под ними пород и собрать образцы по всей скважине для изучения процессов осадконакопления в прошлом», и, во-вторых, «настаивать на важности бурения достаточно глубокой скважины, чтобы проникнуть в слой пород, лежащий ниже поверхности Мохоровичича». Эти рекомендации были выдвинуты практиками-океанографами США и Великобритании, а в реализации обоих проектов были заинтересованы American Miscellaneous Society и деловые круги нефтяников, знающих, что успех в основном будет зависеть от финансовых возможностей. Океанографы хорошо понимают важность проблем, возникающих в связи с сейсмическими исследованиями, и поэтому они считают бурение настоящей

---

<sup>1</sup> Как мы уже указывали в примечании к стр. 46, рекордные по длине колонки донных осадков — до 34,5 м — были получены в свое время советскими исследователями. Американская буровая скважина в районе острова Гвадалупе прошла толщу донных осадков на 167 м, после чего углубилась на 13 м в базальт. — *Прим. ред.*

необходимостью. Это не означает, что сейсмические исследования в океане остановились теперь на мертвой точке; для тщательного изучения таких частных проблем, как сбор фактических материалов о различных слоях горных пород земной коры, еще открыто громадное поле деятельности в необъятных просторах океанов.

По всей вероятности более частые и кратковременные экспедиции в ограниченных районах гораздо полезнее длительных кругосветных исследований с большими потерями времени на плохую погоду и ремонт машин. В двухмесячном путешествии легко обеспечить бесперебойную работу корабля без ремонтов, а район исследований может быть определен с учетом метеорологических данных. Преимуществом длительного плавания, во время которого одни и те же исследователи с одинаковой аппаратурой посещают все области Мирового океана, заключается в том, что перед ними открыты весьма благоприятные возможности для сопоставления. Именно благодаря этому в 1872 г. экспедиция на «Челленджере» смогла установить черты общего сходства и различия в разных частях океанов, а в 50-х годах нашего столетия экспедиция на новом «Челленджере» таким же образом смогла обнаружить более тонкие различия в сейсмической картине строения дна Атлантического и Тихого океанов. Структура пород под океанами резко отличается от материков, и поразительный результат всех сейсмических измерений заключается в том, что строение пород под глубоким дном океана оказывается гораздо проще, чем под материками. Океаны, судя по этим данным, никогда не были материком. Однако подробные исследования, проведенные нами на «Челленджере», показали, что имеются все же небольшие различия, не позволяющие говорить о вполне однообразном строении дна океанов во всем мире. Если можно так выразиться, то Тихий океан, очевидно, был более постоянным океаном, чем Атлантический. Отдельные сейсмические разведки, которые почти ежегодно совершаются в тех или иных частях океана, несомненно, смогут каждая в отдельности уловить эти различия, но преимущества прямого и всеобъемлющего сравнения, которое было доступно участникам экспедиции на «Челленджере», совершенно очевидны.

Методика работы с сейсмоакустическими радиобуями типа тех, которые использовались на «Челленджере»,

хотя и уступает несколько методике работы на двух кораблях в смысле возможностей изучения слоев пород, залегающих глубже Мохо, но зато позволяет получать более детальные сведения о верхних слоях дна океана. При этом удается избегать смешения разнородных фактов, полученных при осреднении данных, неизбежном в случае работы на двух кораблях. Такие детальные исследования определенно помогли нам решить спор Дарвина и Мюррея о происхождении коралловых атоллов, причем результаты сейсмических исследований подтвердились при бурении достаточно глубоких скважин, чтобы обнаружить первоначальную вулканическую структуру атоллов. Если бы в свое время Дарвин увидал типичный атолл Мюррея, а Мюррей увидел типичный атолл Дарвина, им не пришлось бы спорить, поскольку здесь были представлены крайние проявления одной и той же формы. Это еще раз подчеркивает преимущество работы одной группы ученых для одновременного исследования всех океанов и установления различий в их структуре (если они, конечно, существуют). Экспедиция на «Челленджере» сумела хорошо показать это преимущество.

Мы должны еще многое узнать о структуре земной коры и распределении образующих ее пород в горных сооружениях, на материках и под океанами. Заманчивая гипотеза перемещения материков в течение долгого времени почти не принималась геологами, играя роль некоей геологической диковинки, но теперь она снова привлекает внимание ученых. Доказательство этой гипотезы зависит прежде всего от многочисленных палеомагнитных измерений, которые производятся сейчас во всех частях мира, и от новых представлений о пластичности пород в условиях очень медленного движения при высоких температурах и давлениях. Сейсмические измерения в океане смогут также оказать помощь в выделении тех частей океанов, которые по структуре напоминают Тихий океан или, наоборот, сходны с Атлантикой. Как мы уже видели, восточная и западная части Индийского океана, по-видимому, различны по структуре. В 1961 или 1962 гг., когда будут проводиться международные океанографические исследования Индийского океана, необходимо будет проверить это предполагаемое различие и, если оно действительно существует, точнее определить границу между двумя типами структур. Многие страны уже согласились сотрудничать

в выполнении всех видов океанографических исследований, которые можно провести в течение ограниченного промежутка времени около одного года. Эти совместные исследования планируются для того, чтобы наши знания об Индийском океане не отставали от результатов изучения других океанов, где за последние годы происходил весьма энергичный сбор фактического материала. В программу работ войдут, несомненно, и сейсмические исследования. Они должны будут установить различие между восточной частью Индийского океана, где вулканические острова и подводные горы, по-видимому, постепенно опускаются, и его западной частью, где гранитные острова как будто остаются устойчивыми.

Для сейсмических исследований в Индийском океане по всей вероятности окажутся доступными некоторые новые сейсмические приборы. Уже будут готовы, по-видимому, приборы для приема и регистрации сейсмических волн непосредственно на дне океана, благодаря использованию которых можно будет получить наиболее подробные сведения о структуре осадочной толщи<sup>1</sup>. При увеличении количества кораблей, участвующих в исследованиях, можно будет соединить все достоинства методики радиоакустических буев и метода работы с двух кораблей, получив при этом одновременно подробную картину строения верхнего слоя пород и хорошие определения глубины поверхности Мохоровичича.

Если бы поставить задачу установления границ тихоокеанского и атлантического типов структур во всех океанах, то это придавало бы новое значение необходимости проведения сейсмических исследований с охватом всего Мирового океана. Эта работа необходима в связи с гипотезой перемещения материков, но кроме того для решения вопросов, связанных с этой гипотезой, следует также выяснить, каково соотношение корней океанских островов с нормально залегающими плоскими слоями пород, образующими дно океана. Имеется ли какое-либо различие в

<sup>1</sup> Донные сейсмографы уже разработаны М. Юингом и группой его сотрудников в Ламонтской геологической обсерватории. Начиная с 1960 г. эти приборы успешно применяются для исследований дна Атлантического океана. Донные сейсмографы действительно имеют многочисленные преимущества перед плавучими приемниками, позволяя резко увеличить чувствительность и собирать более подробную информацию о структуре верхних слоев земной коры под океаном.— *Прим. ред.*

структуре таких корней, например, под Гавайскими или Азорскими островами? Хотя эти интересные проблемы имеют вполне самостоятельное значение, все вместе они должны дать ключ к пониманию того, как Земля достигла своей теперешней формы. В некоторых случаях океанографические исследования будут иметь и прямое практическое применение. Так, например, между Мадагаскаром и побережьем Восточной Африки отмечены большие глубины. Они могут соответствовать либо трещине между расползшимися глыбами земной коры или же прогибу с продолжением в нем осадочных и потенциально нефтеносных пород, развитых по периферии океана. Чем лучше геологи-нефтяники будут знать, как образовались современные структуры пород, обнаруживаемых вблизи поверхности, тем легче им будет выбирать перспективные места для разведочных скважин.

Быть может, поиски затерянной Атлантиды больше пленяют воображение многих людей, чем поиски нефти или фундаментальные проблемы геологии. Однако до сих пор ни одна океанографическая экспедиция при взятии проб со дна океана не смогла обнаружить никаких следов затонувшей цивилизации. Правда, в 1958 г. экспедиция на «Дискавери 2» обнаружила любопытное в этом отношении место на Галисийской банке у северо-западной оконечности Испании — плоскую подводную вершину на глубине около 400 саженей. Эта банка высоко поднимается над поверхностью дна глубокого океана. Магнитные измерения и образцы породы, взятые на банке, допускают материковое происхождение этой структуры. Банка могла быть большим блоком суши, опустившимся на несколько тысяч футов в результате сбросов такого же типа, которые создали рифтовые долины в Африке. Опускание могло, конечно, происходить и в историческое время. Однако превосходные фотографии дна океана в этом месте обнаруживают каких-либо следов человеческой деятельности, а во взятых образцах нет ни строительного камня, ни обломков древней глиняной посуды. Таким образом, Атлантида все еще остается легендой, рождение которой вполне могло быть связано с какой-либо вполне реальной катастрофой — с действием большой волны цунами или вулканического извержения.

Для сейсмолога, изучающего глубокий океан, открыто широкое поле деятельности, но многочисленные «если

бы» и «но», неизменно встречающиеся при интерпретации результатов сейсмических исследований, указывают на необходимость нового подхода к изучению земной коры. Для нефтяной промышленности геофизические прогнозы всегда влекут за собой непосредственную проверку бурением, и теперь пришло время и для океанографов последовать примеру профессора Челленджера и попытаться проникнуть вглубь, чтобы посмотреть породы, реально существующие под океанами. Мы не имеем оснований говорить об ошибочности сейсмических результатов, и, несомненно, информация, получаемая с помощью сейсмических волн, проходящих в глубины Земли и затем возвращающихся обратно, является вполне объективной.

Второй слой, например, несомненно представляет собой первый слой твердой породы, который звуковые волны встречают под рыхлыми глинистыми осадками дна океана. Однако возникает вопрос, какова его мощность и чем он сложен: изверженными породами или литифицированными осадками? Сейсмический метод не даст нам ответа на этот вопрос. Сейсмические волны дают нам что-то вроде этикетки для каждого слоя пород и позволяют установить повсеместное распространение слоя  $6,7$  км/сек под всеми океанами. Однако было бы очень интересно получить образец породы из этого слоя и сравнить его с известными нам типами пород, которые иногда выходят на поверхность. Тогда можно будет решить, действительно ли это одна и та же повсеместно развитая порода, а не измененная, как это полагают некоторые исследователи, при перемещении по ней материков.

Никто еще не брал со дна океана колонок, длина которых превышала бы несколько десятков футов, что составляет лишь ничтожную часть тысячефутовых толщ осадков дна глубокого океана. Буровые скважины для поисков нефти были, однако, пробурены под водой до глубины нескольких миль, и нет причин, мешающих применению этого метода и в океанографии. Подводное бурение нефтяных скважин осуществимо, конечно, пока еще лишь на глубинах до сотни футов. Буровое оборудование монтировалось для этого на большой устойчивой платформе, опиравшейся на дно океана и поддерживаемой гигантскими подпорками, так что по сути дела все работы производились гораздо выше уровня воды и вне досягаемости

самых больших волн. Но создание такой платформы, которая могла бы быть установлена на глубине 3 мили, технически пока еще невозможно. И все же нефтяные компании энергично взялись за проблему глубоководного бурения. У побережья Калифорнии материковый шельф довольно быстро углубляется и, следовательно, значительная часть перспективной прибрежной территории находится под водой на глубинах от 200 до 400 футов. Начиная с 1953 г. программа геологических исследований этой территории предусматривала бурение многочисленных скважин на глубину до 5—6 тысяч футов с целью изучения структур под океанским дном. Для бурения намеченных скважин планировалась новая техника, допускающая работу с плавающего корабля.

Прежде чем описать бурение с корабля, следует объяснить, как оно делается на суше. Порода прорезается вращающейся зубчатой стальной «коронкой», которая входит в породу почти так же, как сверло электрической дрели врезается в кусок дерева или металла. Вращение передается с буровой вышки на коронку посредством длинной стальной полой «буровой штанги». Такая штанга лучше сплошного твердого стержня, так как по ней может подаваться вниз от поверхности вода (вверх она выходит уже снаружи трубы по стенкам скважины), циркуляция которой охлаждает коронку и удаляет обломки разрушенной породы. Диаметр буровой штанги несравненно больше любого сверла, применяемого в промышленности, и уменьшенная модель длинной колонны буровой трубы напоминала бы тонкую нитку. Штанга не изгибается только потому, что лишь нижние сто футов ее передают вес, который вдавливают коронку в породу. Вся же остальная часть штанги находится в подвешенном натянутом состоянии и поддерживается буровой вышкой на поверхности. Вышка имеет огромный блок и систему талей, находящихся достаточно высоко, чтобы обеспечить извлечение буровой штанги из скважины, когда нужно заменить сработавшуюся коронку. Буровая штанга при этом извлекается отрезками длиной около 90 футов и соединение каждого отрезка трубы должно развинчиваться, так что подъем всей колонны буровых штанг занимает очень много времени.

Если бурение производится с плавающей баржи, то при этом необходимо компенсировать движения воды в океа-



не. Это осуществляется с помощью специальной шарнирной системы, через которую проходит буровая штанга, и скользящих секций.

Баржа стоит на мертвых якорях, и неизбежное небольшое боковое смещение ее компенсируется гибкостью стальной штанги. Для того чтобы снова найти скважину после вытаскивания трубы и замены коронки, вся колонна штанг заключается в стальную обсадку — буровую трубу, закрепленную на дне и поднимающуюся вверх к барже, по которой двигаются вверх и вниз буровая штанга и коронка. Циркулирующая вода возвращается на баржу по этой обсадной трубе, принося обломки пробуренных пород. Процесс упрощается, если можно избежать применения обсадной трубы, а это допустимо, по-видимому, при бурении глинистых осадков на дне океана. Буровая коронка, наверное, легко проникает сквозь рыхлую глину и не будет сильно изнашиваться до тех пор, пока не достигнет слоя твердых пород; при этом условии можно будет пробурить мощную толщу осадков, не меняя коронки. Бурение должно быть закончено до износа коронки, потому что без применения обсадных труб нельзя будет найти на дне устье скважины, если бы мы захотели заменить изношенную коронку новой.

Для получения образцов пробуренной породы применяется специальная режущая коронка, срезающая только кольцо породы по окружности скважины, оставляя цилиндрический керн нетронутой породы, постепенно проникающий внутрь буровой штанги по мере врезания коронки. Чтобы поднять пробу на поверхность, не нужно вытаскивать всю штангу — для этого используется специальный цилиндр, который опускается в штангу на тросе и остается на дне скважины, пока не заполнится керном, после чего поднимается на поверхность с помощью троса.

В глубоком океане очень трудно закрепить на якоре баржу с буровым оборудованием. Но буй для различных экспериментов уже успешно ставился на якорь в глубоких водах, и, следовательно, если и не удастся надежно поставить баржу на якорь, можно будет с помощью буксиров сохранять ее положение относительно маркирующих буйков. Аппаратура для такого бурения и опытные мастера уже имеются, но, разумеется, стоимость работы будет гораздо больше затрат на сейсмические или какие-

либо иные океанографические исследования. Однако в результате бурения серии подобных скважин, если они будут расположены в тех местах, где производились сейсмические исследования, мы узнаем о геологии дна океана очень много нового. Мы не только получим информацию о различных слоях твердых пород под осадочным покровом, об их положении и тождественности, но и сможем собрать образцы донных осадков, показывающие характер океанского дна вплоть до момента первообразования океана. Мы сможем узнать, все ли океаны имеют одинаковый возраст и как он датируется по шкале геологического времени. Тщательное изучение проб донных отложений расскажет нам о климате прошедших эпох и поможет разрешить множество интересных геологических проблем, связанных с условиями обитания тех животных и растений, ископаемые остатки которых столь важны для определения последовательности событий в далеком геологическом прошлом.

Быть может, бурение в глубоком океане будет предпринято американскими или советскими исследовательскими учреждениями, поскольку США и СССР затрачивают большие средства на океанографические эксперименты всех видов. Оно может также привлечь внимание богатого любителя. В прошлом столетии принц Монако был страстным океанографом, и благодаря его усилиям название этого маленького княжества прочно вошло в словарь ученых всего мира. Монакские карты океанов используются всеми, кто связан с морскими исследованиями, потому что на этих картах собрана вся информация о рельефе дна глубокого океана<sup>1</sup>. Теперь появилась новая блестящая возможность для того, кто захочет последовать примеру монакского принца. Надо полагать, что наилучшим

---

<sup>1</sup> Монакские карты в наши дни уже не являются наиболее подробными картами глубин океанов. Работа по их составлению ведется Международным гидрографическим бюро в Монако, но отнюдь не на деньги принца Монако, который отказался от традиции своих предков и прекратил с 1958 г. финансирование работы по составлению Генеральной батиметрической карты океанов. В настоящее время наиболее подробными являются карты, составляемые различными национальными океанографическими институтами и гидрографическими службами различных стран. Впрочем, предпринимаются международные усилия по улучшению и новому изданию Генеральной батиметрической карты океанов.— *Прим. ред.*

кандидатом может оказаться кто-нибудь из шейхов, получивших колоссальные барыши при добыче нефти на берегах Персидского залива<sup>1</sup>.

Исследователи, изучающие Землю, разработали еще более грандиозный проект бурения. По их мнению было бы очень важно получить образцы пород мантии, которая как оболочка окутывает земной шар, простираясь в его глубины почти до половины расстояния до центра Земли. Мы уже видели, как сейсмологи и геофизики обнаружили своими методами под океаном и на суше границу коры и мантии, назвав поверхность их раздела поверхностью Мохоровичича, или Мохо. Мы знаем, что мантия состоит из вещества, превосходящего своей плотностью все породы, известные у поверхности. Были сделаны весьма логичные предположения относительно ее химического состава, основанные на распространении отдельных элементов во вселенной. Некоторые наводящие признаки можно получить при изучении лавы, вытекающей из вулканов, но все же эти признаки очень неясны — ведь, во-первых, никто не знает, на какой глубине образуется лава<sup>2</sup>, и, во-вторых, прокладывая себе путь к поверхности, лава смешивается с другими породами. Неопределенность представлений о составе мантии сама по себе подчеркивает важность получения образцов из нее, так как анализ пород мантии должен решить неясные теоретические вопросы, касающиеся вулканов, сейсмических волн и среднего химического состава вселенной. Кроме того, как мы уже видели раньше, радиоактивность мантии играет очень важную роль в тепловом балансе Земли, и, не зная этого, трудно сказать, охлаждается ли наша планета от поверхности к центру или же нагревается из глубины к поверхности.

Мантия лежит на глубине около 20 миль под материками, и хотя именно там профессор Челленджер выбрал когда-то место для своей шахты, которая должна была проникнуть в самые глубины Земли, современный океанограф уже достаточно хорошо знает, что под океанами

---

<sup>1</sup> Надежды автора на помощь научным исследованиям со стороны шейхов, разбогатевших на распродаже национальных нефтяных запасов, без сомнения, покажутся наивными советскому читателю.— *Прим. ред.*

<sup>2</sup> Как уже отмечалось, глубина магматических очагов принимается сейчас равной примерно 60 км.— *Прим. ред.*

мантия скрыта под значительно более тонким покровом пород. В океане, где глубина воды около 3 миль, поверхность Мохоровичича находится лишь в немногих милях от поверхности дна. К поверхности суши она подходит ближе всего под океанскими островами, корни которых погружены в мантию на глубину 10 миль, т. е. всего на несколько миль ниже среднего уровня дна океана. Это уже вполне доступно для современной буровой техники, поскольку нефтяные скважины теперь достигают глубины почти 5 миль. Фактически глубина бурения постоянно увеличивается — от 1,5 миль в 1927 г. до современных рекордных скважин. Знатоки нефтяного бурения считают, что с нынешними материалами и техникой вполне можно бурить до глубины 10 миль, интересующей сейсмиков.

Первые нефтяные скважины в Румынии представляли собой по существу шахты, которые копались вручную, но вскоре стало ясно, что скважина диаметром менее одного фута вполне может прощупать подземные нефтяные резервуары, и именно такой диаметр предполагается сейчас для бурения на глубину 10 миль до поверхности Мохоровичича. Скважина будет давать керны диаметром в несколько дюймов, и этого вполне достаточно для всех исследований и анализов породы. Если учитывать соотношение глубины и диаметра скважины, то она может показаться совершенно нереальным предприятием: 10 миль буровых штанг диаметром 4 дюйма подобно 60 футам очень тонкой проволоки диаметром 0,005 дюйма. В этих условиях тонкие штанги, конечно, не смогут с поверхности вращать буровую коронку, как это делается при обычном бурении. Но нефтяные компании уже применяют турбобуры, в которых коронка приводится в движение многоступенчатой турбиной, помещенной на самом дне скважины. Тогда отпадает необходимость вращать всю буровую трубу в целом и по ней только течет циркулирующий раствор. Циркуляция воды обеспечивает движущую силу для турбины и выносит обломки пород на поверхность.

Скорость бурения в твердом базальтовом слое, лежащем выше Мохо, должна равняться немногим футам в час, и потребуются, следовательно, несколько сотен дней, чтобы достичь глубины 10 миль. Еще больше времени понадобится на извлечение колонны буровых труб при замене изношенной коронки. Для ускорения этого процесса ведется работа по двум направлениям: во-первых, созда-

ются полностью автоматизированные подъемные машины, которые развинчивают и складывают трубы при поднятии и опускании, а во-вторых, постоянно совершенствуются буровые коронки, которые становятся все более прочными и долговечными. Проспекты, рекламирующие современные алмазные коронки, обещают увеличение срока их службы в десять раз. Проблема бурения до поверхности Мохоровичича оказывается в некотором отношении более простой по сравнению с бурением нефтяных скважин, потому что они проходят сквозь толщу разнообразных пород, для которых нужны разные типы коронок, океанская же скважина до поверхности Мохо будет встречать все одну и ту же породу.

Для создания методов и техники глубинного бурения, разумеется, нужна большая исследовательская работа, которая даст одновременно определенную практическую пользу, поскольку средства, затраченные на проект Мохо, должны не только показать нам строение Земли, но и дать некоторые практические выгоды для нефтяной и горной промышленности. По всей вероятности, лучшее решение проблемы связано с сочетанием алмазной коронки с турбобуром, полностью автоматизированным подъемным механизмом и использованием циркуляции морской воды для вращения турбины и удаления обломков со дна скважины. Все перечисленные элементы такой схемы бурения еще требуют технической разработки, но они несомненно дают наиболее удачный вариант бурения. Наступило время, когда научная мысль вторгается в буровую технику, — ведь прежде считалось, что бурение является особым искусством, которое развивается своим путем по мере того, как увеличиваются предъявляемые к нему требования.

Предполагается, что метод бурения глубоких скважин с плавающей баржи будет пригоден и для проекта Мохо. В этом методе есть несомненное преимущество, поскольку то расстояние, которое нужно пройти, уменьшится примерно на 25 тысяч футов — прежде всего потому, что поверхность Мохо под глубоким океаном ближе к поверхности, а частично и потому, что три мили будет занимать вода. Понятно, очень важно найти удобное место для бурения, где в течение длительного времени можно ожидать хорошей погоды. В таком проекте, к сожалению, таится много опасностей и помимо борьбы с силами приро-

ды на поверхности океана. Быть может, лучше производить бурение на коралловом атолле, тем более что скважина на суше является постоянной и к ней можно будет возвращаться в течение многих лет, если понадобятся какие-либо дополнительные измерения. Сейчас уже существуют инструменты для определения скорости сейсмических волн в скважинах на разных глубинах, и поэтому отдельные слои в скважине смогут быть отождествлены с теми значениями скорости, которые были получены при измерениях с поверхности.

Единственное препятствие для таких планов счастливого пребывания на коралловом атолле в течение нескольких лет состоит в том, что проект Мохо будет стоить около десяти миллионов фунтов стерлингов. Впрочем, это составляет лишь небольшую часть капиталов, затрачиваемых нефтяными компаниями на поиски нефти. Да и десятимильная глубина предполагаемой скважины является лишь ничтожной частью тех 50 тысяч миль, которые ежегодно проходятся нефтяными скважинами. Вот почему кажется вполне справедливым поручить нефтяным компаниям осуществление проекта Мохо — уж они-то сумеют извлечь пользу из этого дела.

Даже самые обычные океанографические экспедиции требуют больших затрат и, как правило, приходится искать поддержки военного флота для выполнения самых дорогих работ. Флот может предоставить корабль с командой, обеспечить горючим и провиантом. Польза, извлекаемая из таких экспедиций, никоим образом не будет односторонней — исследователи и команда корабля многому учатся друг у друга, а также преодолевают трудности, встающие на пути к достижению успешных результатов. Это самый удобный случай для использования вооруженных сил в мирное время, когда они могут помочь в сборе научных фактов, особенно в тех местах, где силы природы все еще опасны для человечества. В военное время большинство усилий связано с разрешением стратегических проблем, тогда как лишь небольшое сравнительно количество сил тратится непосредственно в сражениях. Для обеспечения реалистической подготовки к решению важных задач военного времени гораздо важнее снарядить несколько полезных экспедиций, чем заниматься маневрами, связанными с воображаемым расположением вражеских сил. Если перед исследователями поставлены

определенные реальные задачи, то уже сама подготовка к экспедиции включает необходимую тренировку команды, опыт снабжения различными припасами и медикаментами. Во многих мало исследованных частях Британского содружества наций благодаря проведению таких экспедиций открылись бы возможности геологических и минералогических исследований большого масштаба, но они, разумеется, требуют большой поддержки. Если бы до второй мировой войны были своевременно поставлены исследования джунглей Новой Гвинеи или пустынь Северной Африки, то это помогло бы подготовиться к ведению военных действий в специфических климатических и географических условиях и избежать многих неожиданных трудностей, когда эти места стали ареной сражений.

Впрочем, океанографические экспедиции требуют не только дорогостоящих кораблей, им нужны также энергичные и терпеливые исследователи. Все работы в океане сопряжены с большими трудностями, потому что они производятся с качающегося корабля и слишком часто многие надежды и плапы рушатся до того, как появляются удовлетворительные результаты. Кроме того, ученым приходится испытывать много трудностей, подолгу живя в переполненных и тесных стальных помещениях, обычно в недостатке свежей воды, питаясь пищей, которая становится однообразной, когда кончаются запасы свежих продуктов. Жизнь в океане годится не для всех, хотя некоторым она нравится, — и для участия в длительной экспедиции очень важно строго и придирчиво отбирать участников, а если понадобится, то и заменять некоторых людей после первого испытания. Опыт некоторых экспедиций показывает, что есть люди, которым не под силу долгое плавание, и, в частности, плавание на «Баунти» было одним из крайних примеров<sup>1</sup>. В 1950 г. в экспедиции на «Челленджере» никто не уединялся целыми днями в своей каюте и никто не дезертировал с корабля в преддверии тропических островов, как это было в экспедиции 1872 г. Конечно, было много ворчания по поводу плохой погоды, корабля, тухлых людей, оставшихся в Англии и не могущих понять наших самых элементарных

---

<sup>1</sup> Пример «Баунти» не совсем удачен, так как основной причиной трудностей плавания на этом корабле были жестокость и грубое самоуправство капитана Блая.— *Прим. ред.*

требований (к сожалению, это весьма популярное заблуждение всех небольших отдельных экспедиционных партий, всегда считающих никуда не годной свою главную организацию). Ворчали поначалу и ученые и морские офицеры, но это продолжалось недолго, и скоро все неудобства и неудачи были позабыты. И теперь, по прошествии нескольких лет после возвращения домой, каждый из нас понимает, что это путешествие вокруг света было лучшими днями его жизни.

Нужно еще очень много узнать о Земле и об океанах. Можно надеяться, что заинтересованность военного флота и нефтяных компаний не угаснет и что мы сможем в дальнейшем полагаться на их поддержку. Только с помощью таких крупных организаций можно осуществить проект бурения сквозь земную кору или спуск в самые глубокие части океана. Наградой для тех, кто затратил деньги для финансирования проектов, не имеющих очевидной материальной ценности, будет не только чувство гордости, связанной с успешной борьбой с силами природы, но и удовлетворение от раскрытия тайн Земли, прежде неизвестных человеку. Пусть будет как можно больше экспедиций и пусть они соберут хорошую жатву!



*Т. Ф. Гэскелл*

**ПОД ГЛУБИНАМИ ОКЕАНОВ**

Редактор *В. А. Пангаева*

Художник *Н. К. Хомяков*

Художественный редактор *Е. И. Подмарькова*

Технический редактор *Е. С. Погапенкова*

Корректор *Л. Б. Поля*

Сдано в производство 2/IV—1963 г.

Подписано к печати 8/VII—1963 г.

Бумага 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>=4,1 бум. л.

13,3 печ. л., в т/ч 2 вкл. Уч.-изд. л. 13,6. Изд. № 27/1124

Цена 70 коп. Заказ № 217

---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

---

Московская типография № 8  
Управления полиграфической  
промышленности Мосгорсовнархоза  
Москва, 1-й Рижский пер., 2

## ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### *выпустило книги*

*Ван де Хюлст.* Рассеяние света малыми частицами. Перевод с английского, 1961, 374 стр., цена 2 р. 31 к.

**Ветровые волны.** Сборник. Перевод с английского, 1962, 441 стр., цена 1 р. 95 к.

*Планета Земля. Под ред. Бейтса.* Перевод с английского, 1961, 340 стр., цена 1 р. 36 к.

**Подземные ядерные взрывы.** Сборник. Перевод с английского, 1962, 247 стр., цена 1 р. 22 к.

*Рил Г. и др.,* Струйное течение. Перевод с английского, 1959, 134 стр., цена 91 к.

*Халгинер ДЖ., Маргин Ф.,* Динамическая и физическая метеорология. Перевод с английского, 1960, 435 стр., цена 2 р. 58 к.

Эти книги Вы можете приобрести в магазинах  
Книготорга.

При отсутствии необходимых Вам книг направляйте заказы по адресу: Москва, К-50, ул. Медведева, 1, отдел «Книга — почтой» магазина № 8 «Техническая книга».

Заказ будет выполнен наложенным платежом.

## ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

*выпускает*

серию «ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ И ГЕОФИЗИКИ»

*В 1962 г. вышли следующие книги этой серии*

**Астрономические наблюдения за пределами атмосферы.** Сборник. Перевод с английского, 1962, 146 стр., цена 50 к.

**Келлог У., Саган К., Атмосферы Марса и Венеры.** Перевод с английского, 1962, 268 стр., цена 92 к.

**Радиационные пояса Земли.** Сборник. Перевод с английского, 1962, 206 стр., цена 71 к.

**Солнечная активность и космические лучи.** Сборник. Перевод с английского, 1962, 102 стр., цена 34 к.

Эти книги Вы можете купить в магазинах Книготорга.

При отсутствии необходимых Вам книг направляйте заказы по адресу: Москва, К-50, ул. Медведева, 1, отдел «Книга — почтой» магазина № 8 «Техническая книга».

*Заказ будет выполнен наложенным платежом.*

79.337.

5535

