

ЛУННЫЕ РИТМЫ

В. М. АЛЫШУЛЕР
В. М. ГУРВИЧ



В. Альтшулер, В. Гурвич

ЛУННЫЕ РИТМЫ

издание второе, переработанное

Ленинград Гидрометеиздат 1981

551.49
А58 Г95

Альтшулер В. М., Гурвич В. М.
А58 Г95 Лунные ритмы. 2-е изд.— перераб. Л. Гидрометеониздат,
1981, 128 стр. с илл.

Не каждый ответит, почему потерпела неудачу первая попытка завоевать Британские острова. Почему погиб «Торри Каньон»? Эти и многие другие интересные факты приводятся в книге о приливах — удивительном явлении природы. Авторы напоминают, каким трудным путем научная мысль шла к познанию приливов, вместе с читателем размышляют над проблемами будущего — покорит ли человек прилив, сделает ли его своим помощником? По сравнению с первым изданием (1971 г.) книга дополнена новыми сведениями о приливах, современными данными о теории явления, Для широкого круга читателей.

АГ 20806-115
069(02)-81 62-81 1903030100

551.49

Виктор Михайлович Альтшулер
Валерий Моисеевич Гурвич

ЛУННЫЕ РИТМЫ

Редактор Л. А. Мялина. Художник С. М. Малахов. Художественный редактор Б. А. Денисовский. Технический редактор Л. М. Шишкова. Корректор И. В. Жмакина

ИБ № 1371

Сдано в набор 12.01.81. Подписано в печать 11.06.81. М-21517. Формат 84×108¹/₃₂, бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,72. Уч.-изд. л. 8,4. Усл. кр. от. 6,93. Тираж 50 000 экз. Индекс ПЛ-40. Заказ № 1325. Цена 40 коп.

Гидрометеониздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 220827, Минск, Красная, 23.

© Л., Гидрометеониздат, 1981.

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО

Страна была встревожена. Людей волновала судьба советской арктической экспедиции, попавшей в беду во льдах Чукотского моря.

Туда, к ледовому лагерю Шмидта, пробивались сквозь циклоны летчики.

Туда же, к челюскинцам, спешили и моряки на ледоколе „Красин“. Через Панамский канал они вышли в Тихий океан, направляясь к Берингову проливу.

В большом морском походе всякое может случиться. Но то, что произошло у острова Ванкувер, поразило даже выдавших виды моряков. Корабль осторожно продвигался вперед по неширокому проходу между островом и берегом Канады. И вдруг с капитанского мостика послышались отрывистые команды, беспокойно зазвенел машинный телеграф.

Навстречу кораблю с ревом катился стремительный, бурлящий поток. Он был опасен, этот поток, — не менее, пожалуй, опасен, чем штормы и торосы арктических морей. Он отбрасывал „Красину“ назад, скорость хода упала, корабль несло к берегу. Только с помощью двух машин — руля он не слушался — удалось удержать ледокол на фарватере.

Потом, когда опасность миновала, были сделаны, как того требует морская служба, лаконичные записи в вахтенном журнале. Был океанский прилив... Он послал навстречу „Красину“ грозный поток приливного течения.

Слова „прилив“ и „отлив“ в летописи корабельных аварий встречаются нередко.

Мировую печать обошел снимок, сделанный в английском порту Барроу.

Со стапелей судостроительной верфи в Барроу-ин-Фернесе спускали на воду английскую атомную подводную лодку „Рипалс“.

Вскоре после того, как огромная подводная лодка водоизмещением в семь тысяч тонн сошла на воду, начался отлив. И она села на мель, застряв в прибрежном песке.

С исполинской силой прилива люди сталкиваются почти всюду у берегов, омываемых морями и океанами.

Прилив уже давно потерял ореол таинственности, перестал быть загадкой. В штурманской рубке каждого океанского корабля лежит атлас приливных течений. В лабораториях институтов установлены машины, которые готовы ответить, когда и какой именно величины прилив наступит в любом пункте побережья океана.

И все же величественная картина прилива, как и прежде, не оставляет человека равнодушным. Когда-то она волновала умы поэтов, мореплавателей, открывателей новых земель, в наш век она волнует умы инженеров, изобретателей, ученых.

Глава 1

ДЫХАНИЕ ПЛАНЕТЫ



„Дыхание моря“... С незапамятных времен это образное выражение переходит из рассказа в рассказ, из стихотворения в стихотворение.

Но что вы скажете, прочитав в книге такие строки:

— Земной шар дышал, его грудь поднималась и опускалась...

Наверняка эта фраза показалась вам странной и надуманной. А ведь испокон веков, с тех пор как родилась Земля, ее литосфера — твердая оболочка — постоянно и равномерно то поднимается, то опускается.

Но с морем просто: пришел человек на берег — и вся картина перед глазами. А как увидеть *земные* приливы?

Как услышать дыхание Земли, ее здоровое, спокойное дыхание, а не тревожный гул землетрясения, когда недра планеты содрогаются, словно в лихорадке?

„Надежнее земли ничего нет“, — думали люди веками. И возводили на ней пирамиды, крепости, храмы. А теперь строят небоскребы, прорывают тоннели, сооружают газопроводы. И часто не подозревают, что земная поверхность не так уж незыблема.

Есть, правда, места, где в литосфере почти не бывает приливов. Спокойнее всего на Северном и Южном полюсах, там стрелки приборов, регистрирующих колебания суши, едва отклоняются от нуля.

На экваторе цифра куда более внушительная, тут величина земного прилива достигает пятидесяти пяти сантиметров. А вся Москва — все ее проспекты, площади, бульвары, дома, станции метрополитена, стадионы — дважды в сутки то поднимается на сорок сантиметров, то опускается.

Объясняется это особыми свойствами движения литосферы. Приливы совсем не похожи на короткие, титанической силы сейсмические толчки. Все происходит равномерно, плавно и очень медленно: подъем за шесть часов на сорок сантиметров и обратно за такое же время.

Сутки за сутками, минута за минутой приборы „выслуши-

вают“ планету. Есть в подмосковном городе Обнинске геофизическая обсерватория Института физики Земли. На глубине тридцати метров, в толще мраморовидных известняков, были пробиты штольни и галереи, на массивных фундаментах установлены приборы.

В этой подземной обсерватории, где стоит непроницаемая тишина, где постоянно поддерживается температура в четыре градуса тепла, специальные гравиметры измеряют величину лунных и солнечных приливов в литосфере.

Только сверхчувствительным приборам удастся уловить движение „твердой“ приливной волны. Высота ее невелика, но длина измеряется тысячами километров. Потому-то так трудно изучить земные волны, лишь недавно ученые приблизились к решению этой задачи.

В одном из подземных коридоров обсерватории можно увидеть сорокаметровую кварцевую трубу. Толщина ее стенок — всего один сантиметр. Эта кварцевая труба представляет собой основу деформографа — прибора, который воспринимает колебания приливной волны в твердой оболочке Земли.

Приборы, которые зарегистрировали движения в литосфере, подтвердили и другое, не менее важное открытие: Землю нельзя считать абсолютно твердым телом, она обладает упругостью.

Длинная приливная волна, пробегая по упругой литосфере, вызывает колебания. Наука расшифровывает их, исследует условия формирования и распространения этой волны и получает важные сведения о внутреннем строении Земли и ее коры.

Прислушиваясь к дыханию планеты, к ее могучим „вдохам“ и „выдохам“, ученые проникают в тайну, которая с давних времен волновала умы людей.

Что представляет собой ядро планеты?

Наблюдения над земными приливами, по мнению некоторых ученых, дают основания считать, что ядро планеты — жидкое.

Но к дыханию Земли прислушиваются не одни лишь ученые. Без учета космических сил не обходятся проекты крупнейших технических сооружений нашего времени.

А вы не забыли о лунно-солнечном притяжении? Об этом, конечно, не спрашивают тех, кто строит заводы, мосты, высотные здания. Но такой вопрос не будет неуместным, когда возводится гигантская плотина гидроэлектростанции. Здесь уже нельзя пренебречь колебаниями суши, даже если они не превышают сорока сантиметров.

Земные приливы, оказывается, могут также помешать физикам и астрономам. Движение сверхдлинной приливной волны отражается на работе ускорителей элементарных частиц и радиотелескопов, снижает точность. И чтобы избежать этого, надо заранее обеспечить их „приливоустойчивость“.

Большая волна

Привыкшие к автомобильным пробкам парижане раздраженно пожимали плечами: такого скопления машин не видели давно.

Бесчисленные „рено“, „ситроены“ и „фиаты“ мчались по дорогам, ведущим к атлантическому побережью Франции. Дорожные катастрофы унесли в этот день восемьдесят жизней, около шестисот человек было ранено.

Газеты писали, что каждому, кто встретит утро на морском берегу, посчастливится наблюдать исключительное явление природы. „Океан переходит в наступление! Это прилив века! Это грандиозно!“

Толпы изумленных зрителей увидели на побережье Атлантики „большую волну“. Она хлынула на пляжи, затопила их, не оставив ни одного сухого клочка, а потом ушла так далеко от берега, что обнажилось морское дно, обычно скрытое глубоко под водой. В этот день разница между уровнем океана в часы прилива и отлива достигла пятнадцати метров — высоты пятиэтажного дома.

„Большая волна“ была не только развлечением для тех, кто жаждет сенсационных зрелищ. Она оказала услуги науке. Она предоставила ученым и время, и место для того, чтобы „посуху“ обследовать морское дно. У Гавра они нашли остатки каменных сооружений эпохи неолита, у города Кольвил-Монтгомери обнаружили занесенные песком обломки давно затонувшего крейсера „Адмирал Курбэ“.

Через шесть часов море вернулось. Однако в этот день не был установлен мировой рекорд „большой волны“ прилива.

Есть на земном шаре немало мест, где можно часто наблюдать такое же зрелище. И хотя оно не собирает там столько зрителей, как в тот мартовский день 1967 года на французском побережье Атлантики, именно эти районы вызывают особый интерес у всех, кто изучает приливы.

Океан никогда не знает покоя. Волны бушуют на просторах Атлантики, мертвая зыбь бросает с борта на борт корабль, идущий к берегам Азии, прибой яростно бьется о скалы скандинавских шхер... Но в полный ли штиль или в небывалый шторм, все равно в определенное время море начнет медленно уходить от берега — наступит отлив. И с такой же астрономической точностью море вернется к берегу.

Приливы и отливы — это регулярные периодические изменения уровня Мирового океана, происходящие каждые сутки. С приливом уровень воды поднялся у берега — наступило время полной воды. С отливом уровень понизился — наступило время малой воды.

На десятки километров из Мезенского залива в Белое море уходит вода при отливе, заставляя суда часами, как говорят моряки, „осыхать“.

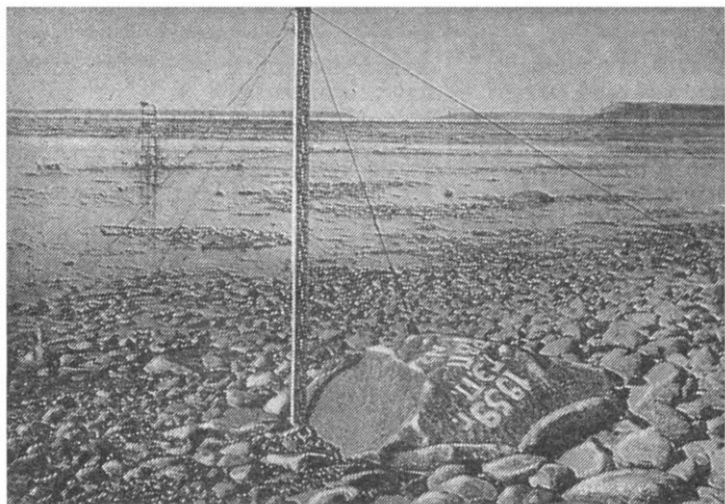


Рис. 1. Отлив на берегу Кольского полуострова.

Большие приливы (их величина дается в метрах) наблюдаются в самых различных районах нашей планеты: к северу от Магелланова пролива, в устье реки Гальегос (13), у юго-западных берегов Англии, в Бристольском заливе (11,5), на севере Австралии, в заливе Колиер (10,4), в Калифорнийском заливе (9,6), в прибрежных водах Чилийского архипелага (8), в Северном море у берегов Бельгии (4—5).

А в заливе Фанди, на севере Канады, уровень с приливом поднимается даже выше пятиэтажного дома. Здесь наблюдаются самые сильные приливы на Земле, иногда они бывают больше 18 метров. В одну секунду приливная волна посылает в залив шесть миллионов семьсот пятьдесят тысяч кубических метров воды.

Иная картина у некоторых островов в открытом океане. Там приливы гораздо меньше: 0,8 — остров Св. Елены, 1,5 — Тристан-да-Кунья, 1,8 — Азорские острова. А на многих участках карты приливов вообще нет цифровых обозначений. Внутренние моря — Черное или Балтийское — приливов почти не знают. Например, в Черном море у берегов Турции величина прилива достигает всего 7—8 сантиметров, в Балтийском море у Киля — 7 сантиметров, в Финском заливе у Ленинграда — не более 5 сантиметров.

Но этим не исчерпывается удивительное разнообразие приливов Мирового океана.

На побережьях Атлантического, Индийского, Северного Ледовитого океанов мы большей частью увидим за лунные сутки

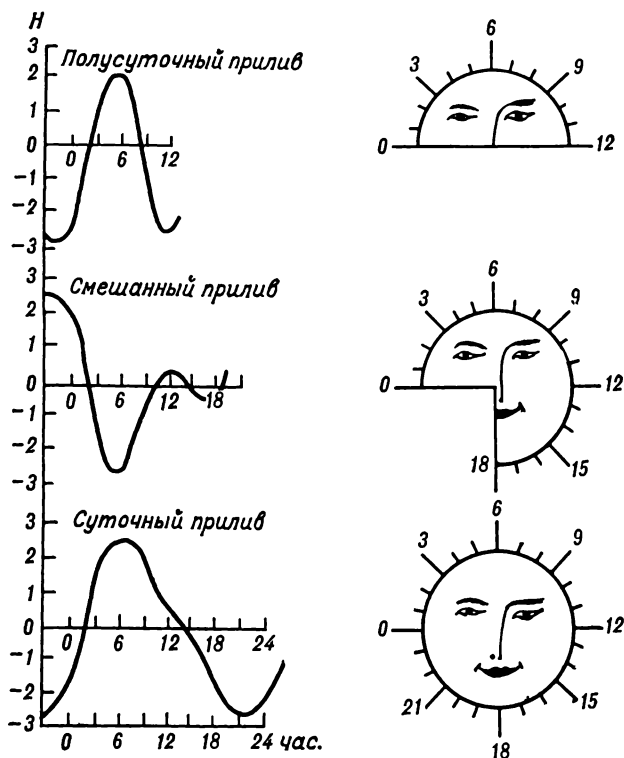


Рис. 2. Виды приливов Мирового океана.

H — высота прилива в метрах.

(24 часа 50 минут) две полные и две малые воды. Такие приливы называются полусуточными.

В Южно-Китайском море изменения уровня наблюдаются только один раз в сутки — это суточные приливы.

Есть и самые различные смешанные, или неправильные, приливы — у восточных берегов Австралии, в Мексиканском заливе, в Японском, Охотском и Беринговом морях...

Ученых, естественно, интересовал прежде всего вопрос, от чего же зависит величина прилива. Определяется она с помощью наблюдений: разница между двумя уровнями морской поверхности — при полной и при наступившей вслед за ней малой воде — и составляет эту величину.

Когда такие наблюдения были проведены в заливе Фанди, выяснилось, что у входа в залив величина прилива не превышает четырех метров. А в глубине его, у вершины, она в четыре с половиной раза больше.

Чтобы понять, чем вызваны эти „странности“, надо проследить путь приливной волны.

В Атлантическом океане она распространяется со скоростью триста миль в час, так что только на самолете за ней угнаться. Но ее поступательное движение в конце концов наталкивается на препятствия: на материковую отмель, на сушу.

На побережье начинается прилив. И тут особенно заметно дает себя знать сила, возникающая от вращения Земли. Действием этой силы закон, открытый французским механиком Кориолисом, объясняет, почему, например, правый берег Волги высокий, а левый — низкий. В северном полушарии сила Кориолиса прижимает приливную волну к правым берегам, в южном — к левым. У этих берегов и наблюдаются наиболее мощные приливы.

Но у каждого берега есть выступы, есть бухты, заливы, иногда вдающиеся далеко в сушу. Условия здесь совсем иные, чем в открытом океане. Залив Фанди, например, по форме напоминает узкую воронку, берега его постепенно сужаются.

Чем ближе суша, тем меньше глубина. Резко сокращается и объем бассейна. А энергия вошедшей в залив приливной волны еще велика.

В узкое мелководное пространство у вершины залива и устремляется приливная волна. Достигнув вершины, она повышает намного уровень полной воды и увеличивает скорость приливного течения.

Кроме того, у волны, пришедшей из океана, появляются в заливе „родственники“ — тоже волны, но иного происхождения. Это своего рода волновое эхо от крутых отвесных берегов. Общими усилиями они и поднимают уровень полной воды в заливе Фанди до восемнадцати метров.

Правда, такой большой прилив бывает не очень часто, всего два раза в год. В остальное время уровень ниже — когда на четверть, когда на половину.

Так происходит не только в заливе Фанди, всюду величина, время прилива день ото дня меняются.

От атома до галактик

Наша планета дышит всегда „полной грудью“ — дышат океан, земная оболочка и атмосфера, — и все эти приливы подчиняются одинаковым законам. Все три стихии — вода, суша, воздух — живут под властью „небесных сил“. Поэтому прежде, чем не были поняты законы космоса, люди не могли понять и законы прилива.

Едва ли не с пеленок каждый ощущает тяжесть любого предмета. Но проходили столетия, а людям никак не удавалось раскрыть загадку тяжести.

Наконец в начале XVII века Галилей установил, что ускорение силы тяжести подчиняется строгим закономерностям. Он

доказал, что любое тело, независимо от формы, размера и массы, в свободном падении приближается к Земле с одинаковым ускорением.

А последние десятилетия того же века ознаменовались великим научным открытием Ньютона. Этим открытием был основной закон Вселенной — закон всемирного тяготения.

Гений Ньютона сделал достоянием человечества истину, имевшую огромное значение для будущего развития науки: тяготение Луны к Земле по своей природе ничем не отличается от тяготения к ней любых тел, находящихся у земной поверхности. Ньютон доказал, что сила тяготения — это та же сила, которую называют тяжестью, та же сила, которая заставляет все тела падать на Землю.

Не будем забывать, однако, что речь идет о **в з а и м н о м** тяготении: не только Земля притягивает Луну, но и Луна притягивает Землю. Короче говоря, взаимное тяготение не знает никаких исключений, оно распространяет свою власть на все тела, на любое пространство и время, от атома до галактик.

Закон Ньютона стал первой научной теорией приливов Мирового океана. Но предстояло еще очень многое понять и объяснить. Начать хотя бы с самого, на первый взгляд, простого. Как проверить на практике, действует ли между двумя любыми телами сила притяжения? Один путь ясен: вести наблюдения над движением планет. А в земных условиях, на опыте? И какова она, эта сила?

Прошло сто с лишним лет после открытия Ньютона, прежде чем удалось измерить в лаборатории силу притяжения. Сделал это английский ученый Кавендиш. На концах длинной тонкой рейки, подвешенной на крутильной нити, он закрепил два одинаковых по весу свинцовых шарика. Затем к обоим концам этих крутильных весов поднес два больших свинцовых шара и начал медленно приближать их к маленьким шарикам. Осталось тридцать сантиметров... двадцать... И вдруг рейка двинулась. Шевельнулись маленькие шарики. Было видно, как они чуть-чуть притягиваются к большим и от этого закручивается нить отвеса. Повторяя свои опыты, Кавендиш по углу поворота рейки определял силу притяжения между шарами.

Своими опытами Кавендиш занимался на рубеже XVIII и XIX веков. В то время Земля уже не считалась центром мироздания, как в древности. Но все же людям она представлялась чем-то невообразимо колоссальным.

Во второй половине XX века, глядя в иллюминатор космического корабля, вместе с космонавтом и мы, сидя дома перед телевизором, разглядываем нашу Землю. Улыбаемся, когда видим, как плавают в кабине предметы. И не можем не изумляться, наблюдая это поразительное зрелище: невесомость!

Но только ли в космосе невесомость? Любое тело земной шар притягивает к своему центру. Однако это совсем не означает, что чем ближе к центру, тем притяжение сильнее. Нет,

там, в центре планеты, тело не будет весить больше, чем на ее поверхности.

Вы хотите поднять тяжелый камень. Для этого вам надо преодолеть притяжение, которое он испытывает. У поверхности Земли на камень действует притяжение с одной стороны — от центра планеты. А если тот же камень окажется где-то у земного ядра, на глубине нескольких тысяч километров, частицы Земли будут притягивать его с разных сторон, а не от одного лишь центра. Очевидно, что это не увеличит, а, напротив, уменьшит его вес.

В центре планеты частицы Земли будут притягивать его со всех сторон с одинаковой силой. И камень поэтому потеряет целиком весь свой вес.

Все это было бы справедливым при условии, что плотность Земли всюду одинакова. Но средняя плотность земного шара с глубиной меняется. И где сила тяжести будет наибольшей, наука пока не знает. Что не в центре планеты — это ясно. И что не на поверхности — тоже. Следовательно, на какой-то еще не установленной точно глубине.

„Тень“ всепроникающей силы тяжести лежит на любом явлении природы.

Малейшие колебания „тени“ — возмущения силы тяжести — немедленно „замечает“ Мировой океан.

Эти возмущения вызываются прежде всего Луной и Солнцем. Положение их в космосе, расстояние от Земли непрерывно меняются. Значит, притяжение Луны и Солнца то больше, то меньше воздействует на нашу планету и тем самым то усиливает, то ослабляет земное тяготение.

Кроме того, „тень“ заставляет колебаться и центробежная сила вращения Земли. Водная оболочка земного шара не висит неподвижно в пространстве. Она вращается вместе с планетой. И центробежная сила, в свою очередь, тоже вызывает возмущения, только с „обратным знаком“ — усиливает или ослабляет притяжение Луны и Солнца.

По подсчетам ученых, если Земля станет вращаться в семнадцать раз быстрее, на экваторе будет полная невесомость — центробежная сила уравнивает силу земного притяжения.

Малейшие изменения силы тяжести тщательно учитываются теорией приливов. Чтобы получить полное представление о таких изменениях, надо точно знать, какие отклонения в силе тяжести происходят на различных участках суши и океана. Этим и занимается гравиметрия — наука, изучающая земное поле силы тяжести.

Гравиметрические исследования ведутся на всех морях и материках. И хотя ученые измеряют силу земную, их труд — одно из слагаемых каждого успеха в космосе. Не имея точных данных об аномалиях силы тяжести — отклонениях ее от средней величины, — нельзя рассчитать траектории полета ракет и космических кораблей.

Аномалии силы тяжести служат ориентиром для геологов, когда они изучают строение земной коры или ищут полезные ископаемые.

Гравитационные исследования позволили уточнить форму нашей планеты, расширить представление о строении, плотности и упругости внутренних слоев и ядра Земли.

Но, как несколько столетий назад, наука и сегодня не может до конца ответить на вопрос, что же представляет собой эта удивительная, невидимая и всемогущая сила, для которой нет никаких преград.

Великая загадка

Создатель теории всемирного тяготения Ньютон открыто признавался, что не в силах объяснить, каким образом притяжение действует на расстоянии. По каким „каналам“ проходит притяжение через космическое пространство? Существуют ли какие-либо частицы, передающие силу тяжести?

Великий ученый не скрывал, что созданная им теория приливов не дает полного научного анализа сил, вызывающих это явление; он писал, что „периодическое повторение приливов должно иметь еще другую взаимодействующую причину, которая пока неизвестна“.

Один из виднейших последователей Ньютона, выдающийся математик и физик Лаплас, создавший классический научный труд о небесной механике, тоже размышлял над великой загадкой тяготения. Но и Лаплас отказался дать ей какое-либо научное объяснение.

Последователей Ньютона озадачивали необыкновенные свойства силы тяготения: от нее нет никакой защиты, для нее не существует препятствий. Многочисленные наблюдения показали, что тяготение проникает через любые тела, в том числе и небесные, так же свободно и беспрепятственно, как если бы их вовсе не было. От света можно загородиться, звук можно заглушить, электричество не проходит через изоляцию. Но не существует экрана, непроницаемого для тяготения.

А какова скорость силы притяжения? Как ее измерить?

Ньютон считал, что эта сила действует мгновенно, то есть с бесконечной скоростью.

У Лапласа была иная точка зрения. Можно утверждать, говорил Лаплас, что притяжение передается со скоростью, по крайней мере в 50 миллионов раз превосходящей скорость света.

Теория относительности Эйнштейна, преодолевшая ограниченность представлений классической физики о пространстве и времени, открыла новые пути решения великой загадки.

Мы не будем углубляться здесь в содержание теории, она настолько сложна, что требует особых разъяснений,

Эйнштейн не только опроверг представления о „постоянстве“ времени и пространства, показал их относительность. Его теория утверждает: не существует материи вне пространства, времени и поля тяготения.

Уравнения этой теории связывают большие массы материи с тяготением как неотъемлемым свойством времени — пространства. Тяготение „берется“ оттуда же, откуда „берется“ пространство, время. И так же, как время, „проникает“ свободно через любые тела. Нет преград для времени — нет их и для притяжения. Нет тела „вне времени и пространства“ — нет его и вне тяготения.

Творец теории относительности — новой теории тяготения — не дал исчерпывающего и окончательного решения великой загадки.

Теория Эйнштейна допускает возможность существования гравитационных частиц, носителей поля тяготения. Следовательно, как предсказывают некоторые гипотезы, должны быть открыты и волны тяготения. Но другие гипотезы утверждают, что энергия этих волн ничтожно мала, ни один эксперимент их обнаружить не сможет, никакого влияния на движение небесных тел они не оказывают.

Так же остаются открытыми и многие иные вопросы. Происходит ли ослабление гравитационного взаимодействия? Действуют ли где-то силы антигравитации — „отрицательного тяготения“?

„Прости меня, Ньютон,— писал Эйнштейн,— ты нашел единственный путь, возможный в твоё время для человека величайшей научной творческой способности и силы мысли. Понятия, созданные тобой, и сейчас еще остаются ведущими в нашем физическом мышлении, хотя теперь мы знаем, что если будем стремиться к более глубокому пониманию взаимосвязей, то мы должны будем заменить эти понятия другими, стоящими дальше от сферы непосредственного опыта“.

Волчок и гусиное перышко

В повседневной жизни каждому приходилось слышать выражение „астрономическая цифра“. Обычно это такая величина, которую трудно себе представить. К примеру, семьсот пятьдесят тысяч световых лет — расстояние от Земли до ближайшей к нам галактики, до созвездия Андромеды.

Но есть и другие цифры, не только не грандиозные, непостижимые в своих колоссальных размерах, а наоборот, сверхмалые — и все-таки тоже астрономические.

Неуклонно, неотвратно Земля замедляет вращение вокруг своей оси. Следовательно, наши земные сутки становятся все длиннее. Они удлиняются на астрономическую величину, — на одну тысячную долю секунды за век (на одну минуту за шесть

миллионов лет). Помножьте тысячную долю секунды на сотни миллионов лет, и вы поймете, что эта сверхмалая величина не так уж мала. Более того, известно, сколько таких миллисекунд Земля уже потеряла.

Эти расчеты выполнил в конце прошлого века видный ученый, астроном и математик Джордж Говард Дарвин-младший. Давайте сделаем простейший опыт.

Возьмем игрушечный волчок и обыкновенное гусиное перышко. Заставим волчок вращаться так, чтобы он прямо стоял на столе. А затем прикоснемся к игрушке гусиным перышком. Движение, несомненно, замедлится, но едва ли мы невооруженным глазом это заметим.

Так, примерно, обстоит и с Землей. Волчок в нашем нехитром опыте изображал Землю, а гусиное перышко — Мировой океан.

Когда его воды в часы прилива наступают на сушу, а в часы отлива отступают, энергия их движения расходуется на трение о дно, о берега. Эта энергия пропорциональна размерам водных масс, а они, эти размеры, таковы, что если бы Земля лишилась вдруг всех своих гор и впадин и стала совершенно гладкой, воды морей и океанов покрыли бы ее ровным слоем почти в два с половиной километра толщиной.

Сама собой напрашивается мысль, что трение водной оболочки о дно и берега и служит тормозом, замедляющим вращение Земли. Но дело обстоит сложнее, и чтобы понять, как действует механизм вечного замедления, придется снова вернуться к нашей ближайшей соседке в космосе.

Совершая свой путь по околоземной орбите, она притягивает решительно все, что находится на поверхности Земли. И, конечно, особенно охотно на зов Луны откликаются подвижные частицы воды.

Покорно подчиняясь силе притяжения, они следуют за Луной. Так создается на поверхности океана приливный „горб“, или, как чаще говорят, приливный выступ.

Этот выступ направлен к Луне, от нее в первую очередь (а потом уже от Солнца) зависят и высота приливной волны, и скорость, с которой она распространяется по земной поверхности.

Но хотя Луна и верный наш спутник, она по отношению к Земле немножко „сбилась с ног“. Нет между ними идеальной согласованности, которая сделала бы движение двух небесных тел безупречно слитным и одновременным.

Скорость вращения нашей планеты вокруг своей оси больше, чем скорость, с какой Луна вращается вокруг Земли. А раз Луна „медлит“, то и покорная ей приливая волна отстает...

Земля за сутки делает полный оборот вокруг оси, Луна же за это время проходит только двадцать восьмую часть своего пути по околоземной орбите. Иначе говоря, за сутки Земля (относительно неподвижных звезд) поворачивается на 360° , а

положение Луны изменяется примерно на $\frac{360^\circ}{28}$, то есть меньше чем на 13° .

Допустим, что на экваторе находится гребень приливной волны. Любая точка на экваторе за двадцать четыре часа проделает путь в сорок тысяч километров.

А гребень приливной волны, если бы он был свободен от земного притяжения, прошел бы вместе с Луной всего лишь двадцать восьмую часть этого пути — около тысячи четырехсот километров.

В переводе на привычные для нас масштабы разница почти такая же, как между пешеходом и самым быстрым поездом.

Преодолевая разницу в скорости, Земля увлекает за собой приливную волну, заставляя ее двигаться быстрее. Достается это нашей планете немалой ценой: она теряет энергию, оттого и замедляется ее вращение.

По подсчетам ученых, потерянная энергия достигает громадных размеров: миллиарда киловатт. А между тем скорость уменьшается, как мы знаем, всего на одну тысячную долю секунды за столетие.

Такое несоответствие на первый взгляд кажется необъяснимым. Но сопоставим еще две цифры. Одну из них мы уже приводили: Мировой океан может покрыть всю планету ровным слоем в два с половиной километра. Вторую цифру вы, вероятно, не раз встречали: двенадцать тысяч семьсот километров — диаметр земного шара.

Как ни огромен океан, слой воды в два с половиной километра — это меньше одной пятитысячной части диаметра Земли, всего лишь тонкая пленка по сравнению с земным телом.

Вот почему со спокойной совестью мы и уподобили приливное трение тому самому гусиному перышку, которым прикасались к волчку...

Путь Луны

Наш спутник сияет на небосклоне только тогда, когда его поверхность озаряют солнечные лучи. Ту часть его поверхности, которую вырвал из космической тьмы свет Солнца, мы и видим. Меняется положение Селены на орбите — меняются очертания ее бледного лика.

В своем извечном движении вокруг нашей планеты Луна „забегает“ вперед, пересекает орбиту Земли и оказывается на ее дневной, освещенной Солнцем стороне. Тогда наступает новолуние: мы своего естественного спутника не видим, потому что освещена его противоположная сторона, а обращенная к нам скрыта во тьме.

Но не только на земных, на космических дистанциях тоже побеждает сильнейший. Луне приходится уступать первенство — она „отстает“ от Земли. И тут солнечные лучи падают на

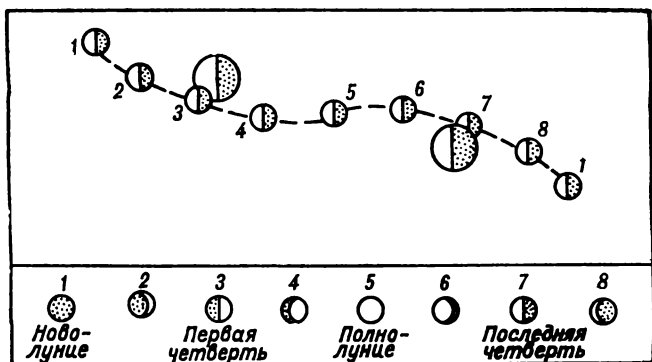


Рис. 3. Смена фаз Луны.

краешек обращенного к нам полушария, на небе появляется серп молодого месяца.

Чем больше „отстаёт“ Луна, тем больше серп. День ото дня он растет и примерно на седьмые сутки превращается в полукруг. Это означает, что Луна прошла четвертую часть своего пути вокруг Земли — потому-то астрономы и называют эту фазу первой четвертью.

Иногда говорят и по-другому: Луна находится в квадратуре. Это выражение происходит от слова „квадрант“ — угол 90° . „Отстав“ от Земли в первой четверти, Луна пересекает земную орбиту *позади* нашей планеты и переходит на другую сторону ее пути. И тогда получается, что Луна, которая была на одной линии с Солнцем, сместилась по отношению к нему на 90° — на квадрант.

Еще через неделю мы увидим на небе полностью освещенный диск, наступит полнолуние. В это время ночное светило будет находиться напротив Солнца, на одной линии с ним и с Землей. Но тут положение еще раз изменится. Луна опять вырвется вперед и через неделю вновь пересечет земную орбиту, теперь уже *перед* Землей — войдет в последнюю четверть. А затем снова наступит новолуние...

Фазы Луны имеют самое близкое отношение к периодическим колебаниям уровня Мирового океана. Точнее, эти колебания находятся в прямой зависимости от взаимного расположения небесных тел в системе Земля — Луна — Солнце.

Не только Луна, Солнце тоже притягивает водную оболочку нашей планеты. У этого раскаленного газового шара, как известно, гигантские размеры, его масса в триста тридцать тысяч раз больше массы Земли. Но до Луны около трехсот девяноста тысяч километров, а до Солнца примерно сто пятьдесят миллионов километров. Луна гораздо ближе к нам, оттого и ее приливообразующая сила вдвое больше, чем Солнца.

Две фазы Луны — новолуние и полнолуние — носят в астрономии общее название: сизигии. Солнце и Луна в это время находятся по отношению к Земле приблизительно на одной линии. Направление приливообразующих сил и того и другого светила почти совпадает — поэтому к лунной силе прибавляется **сила солнечная**.

Действуя совместно, притяжение Луны и Солнца вызывает сильный подъем уровня: наступают большие приливы — **сизигийные**.

Когда Солнце и Луна находятся по отношению к Земле под углом 90° , приливообразующие силы действуют в противоположных направлениях. Вместо сложения сил, которое было в сизигию, происходит обратное — вычитание. В квадратуру солнечное притяжение ослабляет лунное, поэтому **квадратурные** приливы — наименьшие по величине.

Почему Луна не падает на Землю?

Миллиарды лет большая Земля притягивает маленькую Луну. Казалось бы, она давно должна была упасть на Землю!

А она не падает...

Зайдите в любую школу во время перемены, и вы обязательно увидите живую „карусель“. Крепко взявшись за руки, девочки кружатся парами, кружатся быстро, изо всех сил.

Они обязательно разлетелись бы в стороны или упали, если бы не удерживали друг друга за руки. Сила их мускулов уравнивает центробежную силу.

Земля и Луна тоже „кружатся“ в межпланетном пространстве. Сила притяжения Земли не позволяет Луне оторваться и исчезнуть в глубинах Вселенной. А центробежная сила как бы отталкивает Луну от нашей планеты, спасает ее от падения на Землю.

Эти силы в среднем взаимно равны, ни одна из них не может взять верх над другой, иначе бы Луна давно исчезла в глубинах космоса, порвав „семейные“ отношения с нашей планетой, или упала бы на Землю.

Само название „центробежная сила“ говорит о том, что она направлена от центра тяжести. Но какого? Центра тяжести Земли? Или системы Земля — Луна?

Поглядите, как сильно отклоняются назад девочки в „карусели“, и вы получите ответ: они вынуждены сместить центр тяжести собственного тела, чтобы сохранить равновесие всей **системы**.

Физические законы действуют одинаково и в школьном коридоре, и в космической системе Земля — Луна. Масса Земли в восемьдесят раз больше массы Луны. Очевидно, что общий центр тяжести, вокруг которого вращается система, не может совпадать с центром Земли или Луны,

Соединим прямой линией центры нашей планеты и ее вечного спутника. На этой прямой, далеко от центра Земли, в точке, отстоящей от него примерно на семь десятых земного радиуса, находится общий центр тяжести системы.

Центробежная сила, возникающая при вращении, действует так же постоянно и повсеместно, как и сила тяжести. Но этим сходство исчерпывается. А различие, которое существует между ними, оказывает огромное влияние на приливы.

Для силы притяжения решающее значение имеет расстояние: она возрастает или убывает в соответствии с формулой, определяющей ее зависимость от квадрата расстояния.

Для центробежных сил этот закон „не писан“, они ему не подчиняются, если условно допустить, что Земля не вращается вокруг оси. Они неизменны, не испытывают тех отклонений, какие характерны для сил притяжения. А это означает, что все центробежные силы равны. В любом месте нашей планеты действует такая же центробежная сила, как и в центре Земли.

Направление у них тоже иное, чем у сил притяжения. Если те притягивают, то центробежные силы взаимно „отталкивают“ Луну и Землю. На нашей планете все они направлены в одну сторону — против лунного притяжения: они не только равны между собой, но и параллельны.

Величина и время наступления прилива непосредственно связаны с движением системы Земля — Луна.

В ясный летний полдень вы взглянули на небо и увидели, что Солнце у вас над головой. К тому времени, когда вы снова найдете его на том же месте, Земля совершит полный оборот вокруг своей оси. Время, которое ушло на оборот, и считается солнечными сутками, разбитыми на двадцать четыре часа.

Если же вы измерите время, которое отделяет одно появление Луны на небосклоне от другого, то выяснится, что в среднем оно равно двадцати четырем солнечным часам и пятидесяти минутам.

Откуда же берется отставание в пятьдесят минут?

Пока наша планета совершает оборот вокруг своей оси, вся система успевает сместиться в пространстве. Это смещение задерживает каждые сутки появление Луны на пятьдесят минут.

За лунный месяц система Земля — Луна совершает полный оборот вокруг общего центра тяжести.

С Луной происходит при этом то же, что случается с бегуном на стадионе: сначала он отстает от ближайшего соперника на пятьдесят метров, потом на сто... Наконец, когда он отстанет на целый круг, они снова поравняются.

Так и с нашим спутником. Сложите все опоздания по пятьдесят минут за двадцать восемь суток, и у вас получится почти двадцать четыре часа — целый „круг“. Поравнявшись в начале нового лунного месяца, единственный раз за четыре недели, Селена и Солнце одновременно появляются на небосклоне.

Самая мощная сила

Средняя сила притяжения Земли к Луне равна силе притяжения в центре нашей планеты, поэтому космическая система Земля — Луна всегда находится в равновесии.

В любой другой точке земного шара лунное притяжение будет уступать этой средней величине или превышать ее: частицы Земли, которые находятся ближе к Луне, испытывают большее притяжение, чем те, которые расположены дальше.

Такие отклонения от средней величины вызываются движением Луны, они зависят от ее положения в космическом пространстве. Величина притяжения непрерывно меняется в зависимости от движения Луны, от положения, которое она занимает по отношению к Земле.

Иначе ведут себя центробежные силы: они всюду, как известно, одинаковы и равны той силе притяжения Луны, которую испытывает центр Земли.

В одном только месте, в центре планеты, царит покой, обе эти силы взаимно уравновешены, иначе Земля сместилась бы со своей орбиты.

В других точках Земли, особенно на ее поверхности, такого покоя нет. Там равновесие между силами притяжения и центробежными все время нарушается. Где-то центробежная сила больше „вычла“ из силы притяжения, где-то меньше. „Вычитание“ приводит к тому, что где-то в Мировом океане действует более мощная сила притяжения, где-то — более слабая. Это различие между силами притяжения и становится источником другой силы — приливообразующей.

Наступил, например, момент, когда Луна находится слева от Земли. Казалось бы, подчиняясь притяжению ночного светила, все силы, создающие прилив, должны устремиться влево от Земли. На деле же это не так, оказывается, что на левой стороне Земли они направлены к Луне, а на правой — от Луны. Получается, что приливообразующая сила действует против лунного притяжения. Удивительно, не правда ли?

Любителей всевозможных тайн природы придется тем не менее разочаровать. Разгадка весьма проста.

Слева, где ночное светило ближе к нашей планете, силы притяжения больше, они превышают центробежные, преобладают над ними.

Противоположное полушарие от Луны дальше, силы притяжения гораздо меньше, поэтому положение там иное: преимущество у центробежных сил, а они-то направлены от Луны.

И в том, и в другом полушарии действуют одни и те же силы, но соотношение их разное.

Дальнейший ход наших рассуждений должен неизбежно подчиниться законам математики: равнодействующая этих двух сил — притяжения и центробежных — определяет величину приливообразующих сил в любой точке земного шара.

Эту величину мы можем вычислить, если сложим силы с учетом их направления — подсчитаем геометрическую сумму силы притяжения и центробежной силы.

Затем воспользуемся правилами механики. Приливообразующую силу в избранной нами точке Земли можно разложить на две, имеющие разные направления: по радиусу земного шара, или по отвесу, и по касательной к его поверхности, иными словами — по горизонтали. И тут-то мы окажемся перед истинно необыкновенным явлением природы. Подсчеты приведут нас к таким результатам: вертикальная составляющая в девять миллионов, а горизонтальная в двенадцать миллионов раз *меньше* силы тяжести.

Мировой океан, миллиард триста семьдесят миллионов кубических километров воды, — и совершенно незначительная, крохотная сила, которая, кажется, не способна пылинку сдвинуть с места... Какое же чудо превращает ничтожную силу в гигантскую?

Но вспомните, такие маленькие чудеса очень часто творим мы сами. Летом вас потянуло к воде. Вам повезло, есть свободная лодка. Если вы захотите приподнять ее над водой, вам это вряд ли удастся. А отвести лодку от причала легко — толкнете рукой и она сама поплывет, начнет двигаться по касательной к поверхности земного шара.

Чудо, выходит, в том, как *направлена* сила.

Вертикальная составляющая приливообразующей силы действует по направлению к центру Земли, она не может сдвинуть подвижную частицу воды с места, она только уменьшает или увеличивает силу тяжести.

По-другому действует горизонтальная составляющая. Хотя она и меньше первой, но направлена *перпендикулярно* силе тяжести и меняет ее направление. Действуя по касательной, она сталкивает каждую частицу воды с места, вызывая горизонтальные перемещения этой частицы.

Так возникают периодические колебания уровня Мирового океана.

Ничтожная сила, в двенадцать миллионов раз меньше силы тяжести, приводит в движение миллионы кубических километров воды — и превращается в силу, равной которой нет на Земле.

Представьте себе...

Не исключено, что у Земли когда-то не было спутника (как утверждают некоторые ученые).

И мы вправе вообразить, что Земля была одинокой. Покрытая целиком водой, она совершает свой путь где-то в „пустынном“ уголке космоса. И поскольку спутника у нее нет, никакие приливы не нарушают безмятежное спокойствие Мирового океана...

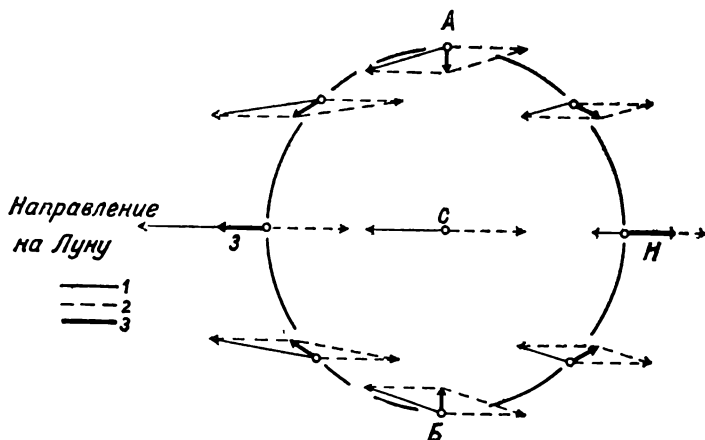


Рис. 4. Приливообразующие силы Луны.
1 — силы тяготения, 2 — центробежные силы, 3 — равнодействующие.

Второй акт нашей историко-космической хроники начинается с появления безымянной маленькой планеты. Потом это небесное тело будет названо Лунной. Но пока о нем можно сказать только одно: случайная встреча с Землей навсегда лишила его свободы.

Вступили в действие силы взаимного притяжения, и маленькая планета стала пленником гравитационного поля большой Земли. Отныне для вод Мирового океана кончилась эра великого спокойствия. Две грандиозные силы системы Земля — Луна, силы притяжения и центробежные, будут постоянно тревожить их, вызывая приливы.

Допустим, что на первых порах плененная Землей планета равномерно движется по круговой орбите в плоскости экватора нашей планеты, не приближаясь к ней и не удаляясь.

При этом в приливах царит идеальная гармония и безупречное однообразие. Дважды в сутки, минута в минуту, — прилив, дважды — отлив. Промежуток времени между полными и малыми водами всегда одинаков. И с тем же постоянством остается на одном и том же уровне высота полных и малых вод. (Такие приливы и носят название полусуточных, поскольку они повторяются два раза в сутки).

Надо добавить к сказанному, что водная оболочка покрывает весь земной шар ровным слоем одинаковой глубины: на нем нет еще ни материков, ни островов.

Вот как это выглядит на рисунке.

Буква „З“ означает зенит, то есть точку, где Луна находит-

ся над головой наблюдателя, а буква „Н“ — надир, диаметрально противоположную точку, с другой стороны планеты.

Горизонтальные составляющие, которые, как мы знаем, действуют по касательной к поверхности океана, заставляют частицы воды перемещаться к точкам „З“ и „Н“ и создают там два гребня приливной волны.

Само собой разумеется, что повышение уровня океана в экваториальной плоскости может произойти только после того, как вода отхлынет от полярных областей и уровень у полюсов соответственно понизится.

В конце концов приливообразующие силы, вызывающие перемещение вод океана, будут уравновешены силами тяжести. И когда это случится, водная оболочка Земли примет форму эллипсоида вращения.

Этот лунный приливный эллипсоид симметричен относительно экватора: в точках зенита и надира приливы самые большие, дальше к югу и северу они меньше, а на полюсах их совсем нет.

Но пора от теоретических построений вернуться к нашей историко-космической хронике. Если верно, что нет ничего вечного *под* Луной, то почему бы это не отнести и к *самой* Луне.

Представьте себе, что из „пустынного“ уголка космоса система двух планет постепенно переместилась туда, где ей встречались другие небесные тела.

И начался акт третий...

Новые космические соседи своим притяжением заставили Луну сойти с наезженной орбиты. Из плоскости экватора она перешла в плоскость, наклонную к нему, да и сама орбита из круговой превратилась в эллиптическую.

Приливы на Земле, разумеется, остались, но от их бывшего однообразия и равномерности нет больше и следа. Возникли *н е р а в е н с т в а*.

Повинны в них прежде всего изменения в склонении Луны.

Когда она в плоскости экватора, склонение равно нулю. В других же случаях между плоскостью экватора и направлением на Луну образуется угол: наш спутник удаляется от экватора то к северу, то к югу, и этот угол достигает 27—28°. Луна имеет тот же угол наклона к плоскости экватора. Один раз за лунный месяц склонение доходит до своего максимального северного и один раз до максимального южного значения.

Но прежде чем продолжить наш рассказ, надо объяснить, что же такое неравенства.

Это название ученые присвоили всем различиям — по времени и высоте — между приливом, который наблюдается сегодня, и тем, который был вчера или будет завтра.

Время, отделяющее одну полную воду от другой, называется приливным периодом. Он складывается из времени подъема и падения уровня воды. Это время изменяется в определенных пределах — такие изменения и есть „неравенства во времени“.

Разница в высотах соседних полных или малых вод называется „неравенством в высоте приливов“.

Вернемся к Луне. Допустим, что она находится в наибольшем северном склонении. К ней направлена сила притяжения, оттого и лунный приливный эллипсоид устремлен в ту же сторону, ось его получила наклон к экватору.

Все это отражается на полусуточных приливах. Однообразие, о котором мы говорили выше, быть уже не может. Высоты соседних полных, а также соседних малых вод уже становятся различными.

Пользуясь языком современной космонавтики, можно сказать, что наш естественный спутник делает витки вокруг Зсм-ли. И витки эти охватывают планету в полосе, лежащей выше и ниже экватора, между тропиками.

Разделим путь Луны на участки.

У экватора склонение наименьшее. Этому положению Луны соответствуют обычные полусуточные приливы. Они известны под названием равноденственных, или экваториальных.

У тропиков склонение наибольшее. Когда лунная орбита, каждые две недели, смещается к ним, увеличиваются суточные неравенства. Они изменяют ход полусуточных приливов, разница между полными и малыми водами возрастает. Эти изменения в приливах и называют тропическими неравенствами.

Нам остается напомнить, что у лунных витков есть еще одна особенность: каждый виток не круг, а эллипс.

В любом сообщении о запуске космического корабля вместе с другими сведениями содержатся данные о расстояниях от Земли, которых он достигает в апогее и перигее. Но появились все эти понятия задолго до того, как человек начал покорять космос.

Наиболее удаленная от земли точка эллиптической орбиты Луны — апогей, самая близкая — перигей. Удаление Луны от Земли изменяется примерно на одиннадцать с половиной процентов. Если бы наш спутник был жидким телом, такие изменения вызывали бы на нем прилив, доходящий до шестнадцати метров.

У приливов на Земле разница между апогеем и перигеем лунной орбиты порождает еще один вид неравенств — ведь зависимость приливообразующей силы от расстояния очень велика. Если сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния, то приливообразующая сила изменяется в еще большей степени: она обратно пропорциональна кубу расстояния.

Оттого, что Луна то ближе к Земле, то дальше, возникают параллактические неравенства. Раз в месяц, через каждые 27,55 суток, она возвращается в перигей, и тогда величина при-

лива возрастает на сорок процентов по сравнению с его уровнем при Луне в апогее.

Однако до сих пор в событиях, описываемых в нашей хронике, не участвовало еще одно действующее лицо, крайне важное. Ему и посвящается акт четвертый.

Ход космических событий привел к тому, что Земля и Луна встретились с могущественным Солнцем и остались в его владениях. К лунным приливам прибавились солнечные.

У системы Земля — Луна и системы Земля — Луна — Солнце много сходного: движение обеих систем зависит от одних и тех же сил — притяжения и центробежных. Но, разумеется, масштабы у второй системы совсем другие.

Склонение Солнца тоже меняется, но не в течение месяца, как у Луны, а в течение года, и достигает $23^{\circ}27'$ к северу и югу от экватора.

Орбита Солнца тоже эллиптична, расстояние между дневным светилом и нашей планетой изменяется от 22 349 земных радиусов (перигей орбиты, 2 января каждого года) до 23 732 радиусов (апогей, 5 июля)

Сходством этих закономерностей движения Луны и Солнца объясняется и сходство в неравномерностях солнечного прилива. Величина перигейного солнечного прилива приблизительно на десять процентов больше апогейного.

Приливообразующие силы Луны и Солнца иногда действуют согласованно, а иногда вразнобой. Из-за этого возникают самые большие неравенства — полумесячные фазовые.

Два раза в месяц, в дни полнолуний и новолуний, когда Солнце и Луна находятся по отношению к Земле примерно на одной прямой и направление приливообразующих сил совпадает, солнечный прилив прибавляется к лунному, увеличивая его почти в два раза. Только в это время, в *сизигию*, возникают приливы, отличающиеся резким перепадом между крайними точками амплитуды: самые высокие полные воды и самые низкие малые воды.

В первой и третьей четвертях Луны, когда Солнце, Луна и Земля находятся почти под прямым углом друг к другу, приливообразующие силы действуют в противоположных направлениях и солнечный прилив примерно в два раза ослабляет лунный. В квадратуру наблюдаются самые низкие полные воды и самые высокие малые воды — приливообразующие силы в это время приблизительно втрое меньше, чем в сизигию.

От одной сизигии до другой проходит половина лунного месяца, потому что эти неравенства называются полумесячными фазовыми.

Но есть и другие неравенства, периоды их гораздо больше. Они связаны с различными особенностями движения системы Земля — Луна вокруг общей оси, а также вокруг Солнца. Периоды таких неравенств измеряются годами и даже столетиями: от 4,65 года до 2500 лет.

Число комбинаций, в которых сочетаются различные неравенства, чрезвычайно велико, оттого и прилив никогда и нигде не остается неизменным.

Самым большим он бывает в тех случаях, когда Луна и Солнце ближе всего к Земле (в перигее) и расположены на одной прямой линии (сизигия). Математические расчеты показывают, что в это время величина прилива в открытом океане должна доходить до девяноста сантиметров.

Когда же светила в квадратуре, причем Луна в апогее, а Солнце в перигее и поэтому сильнее „мешает“ лунному притяжению, приливы бывают наименьшими: их теоретическая величина в открытом океане равна девятнадцати сантиметрам.

Ученые попытались проверить на практике эти расчеты. Но в океане пока не удастся провести такие измерения с достаточной точностью, а у побережья континентов величина прилива во многом зависит от глубины моря и очертаний суши.

Океанологи остановили свой выбор на отдельных островах, удаленных от континентов,— вокруг этих островов на сотни километров простирается океан. Измерения подтвердили, что величина прилива у островов близка к теоретической,— и это явилось еще одним убедительнейшим доказательством могущества научной мысли.

Прилив по заказу!

Известно ли вам, когда роботы войдут в повседневный быт людей?

Когда начнут действовать заводы, перерабатывающие полезные ископаемые морского дна?

Это не праздные вопросы. Это вопросы, которые выдвигает стремительный ход научно-технической революции нашего времени.

Ученые пользуются методами, которые позволяют приближенно прогнозировать достижения науки и техники, предсказывать примерные сроки новых открытий.

А настанет ли время, когда можно будет изменять прилив?

Усилить его там, где он слишком мал, убавить, где чересчур велик. Или вмешаться в его „расписание“, сдвинуть сроки, в которые полная вода сменяется малой.

Какой бы утопией это ни казалось, можно, вероятно, и не отвергать ее безоговорочно — правда, при одном лишь условии: если человечество сумеет овладеть силами гравитации.

Под действием этих могущественных сил, как предполагают ученые, образовались звезды, туманности, галактики. Гравитационные силы способны сжать вещество до такой плотности, при которой наша планета была бы не больше футбольного мяча.

Но удастся ли человеку когда-нибудь управлять полем тяготения так же, как удалось взять под контроль энергию атомного ядра?

Науке это пока неизвестно.

Если правы ученые, которые убеждены в том, что поле тяготения не может существовать без частиц, несущих гравитационное излучение, то почему не допустить, что будет в конце концов найден способ воздействовать на эти частицы — гравитоны, как их условно называют.

Впрочем, не все загадочные проблемы тяготения — это проблемы завтрашнего дня.

В кабине космического корабля, пролетающего над нами по околоземной орбите, сила тяжести, как известно, уравновешивается центробежной силой — наступает невесомость.

В межпланетном пространстве есть „мертвые“ зоны, где тяготение вообще отсутствует. Это зоны нулевого гравитационного поля. Через такое поле проходит и трасса полета на Луну.

Когда космический корабль отдаляется от нашей планеты на триста пятьдесят тысяч километров, он, как показывают расчеты, теряет весь свой вес. Он попадает в тот район межпланетного пространства, где силы притяжения Земли и Луны полностью взаимно уравновешиваются. На последнем участке пути, ближе к нашему вечному спутнику, напряжение гравитационного поля начинает возрастать.

Науке предстоит преодолеть затруднения, неудобства, а может быть, и опасности, которыми грозит невесомость. Несомненно, в космическом корабле будет искусственная гравитация — это предвидел еще Циолковский. Не начнет ли человечество со временем создавать гравитационную технику, сначала на борту корабля, стартующего с Земли, а потом и в более широких масштабах?

Человек не в состоянии изменить законы природы. Но вся история науки свидетельствует: познавая эти законы, он начинает их использовать, овладевает ими, подчиняет себе. Чуть-чуть воображения, вы заглянули вперед и перенеслись в будущее, когда, возможно, появятся гравитаторы и антигравитаторы...

Как знать, не наступит ли тогда эпоха, когда удастся управлять приливами Мирового океана, воздействовать на их величину, отводить от мест, где они бесполезны, к тем районам, где они будут работать на человека.

Ни у кого из ученых пока нет неоспоримых доказательств, что человечество придет к эре гравитационной техники. Нет и неопровержимых фактов, что эта эра не наступит.

По мнению одних, человечество установит контроль над земным притяжением в середине XXI века, по мнению других, этого не будет никогда.

Глава 2

„СЕМЬ ФУТОВ ПОД КИЛЕМ“



Катастрофа у «Семи камней»

Моряки танкера „Торри Каньон“ считали, что им на редкость повезло. Подходил к концу месяц, как они вышли из Кувейта, а на всем длинном пути через Аравийское море, Мозамбикский пролив и Атлантический океан не было не только шторма, но даже тумана. В Кувейте гигантский корабль принял в свои танки сто двадцать тысяч тонн сырой нефти. Скоро „Торри Каньон“ благополучно завершит рейс, войдет в английский порт и начнет разгрузку...

И хотя капитан избрал путь, которого крупнотоннажные корабли обычно избегают, на капитанском мостике не видели никаких причин для беспокойства. Никто не подумал, что надо бы сбавить ход. Никто не распорядился усилить наблюдение за морем. Никто, наконец, не удосужился свериться с приливными таблицами...

Но прежде чем перейти к дальнейшим событиям, расскажем, где находился „Торри Каньон“. Танкер шел мимо островов Силли, лежащих у входа в Английский канал из Атлантического океана. Тут целая группа островов, всего их сорок восемь, в большинстве своем это дикие, угрюмые скалы. А вокруг островов, куда ни кинь взгляд, скалы поменьше, пониже, и надводные, и самые коварные — подводные. Словом, на каждом шагу корабль подстерегают здесь опасности.

Однако и это еще не все. Проходя в тех местах, судно встречает на своем пути сильные приливо-отливные течения. В малую воду впередсмотрящий, стоя на носу корабля, должен непрерывно следить за морем, и тогда он вовремя заметит вершину скалы, обнажившуюся при отливе, обратит внимание на сильные буруны, под которыми скрывается подводный враг. Когда же наступает прилив, нужно быть вдвойне осторожным. Приливная волна накрывает скалы, на поверхности моря от них не остается почти никаких следов.

К девяти часам утра 18 марта 1967 года прилив в районе островов Силли поднял уровень воды на три метра. Теперь еще

труднее было обнаружить среди волн приметы смертельной опасности, угрожавшей кораблю. Но на капитанском мостике по-прежнему царило безмятежное спокойствие. И в девять часов пять минут внезапно раздался оглушительный грохот. Откуда-то снизу, от днища танкера, слышался скрежет, тяжелые удары сотрясали весь корпус. „Торри Каньон“ потерял ход, будто наткнулся на невидимую стену, и остановился, не в состоянии сдвинуться ни на метр.

Острые ребра скал нанесли танкеру большие повреждения, он получил четырнадцать пробоин. В море хлынул поток нефти... Команда не могла спасти судно.

Тогда за дело взялись европейские спасательные компании.

Первыми к „Семи камням“ подоспели голландские спасательные суда „Утрехт“ и „Титан“. Но все сотни лошадиных сил их мощных двигателей ничего не могли сделать, стащить танкер с камней не удалось. Оставалась одна надежда: большой прилив. Спасатели рассчитывали, что при более высоком уровне воды восстановится плавучесть танкера. Этому можно было помочь, создав в судовых танках воздушные подушки. Решено было за несколько дней, оставшихся до сизигии, продуть и герметизировать танки корабля. „Торри Каньон“ уже потерял треть своего груза. Сорок тысяч тонн нефти огромным озером разлились вокруг „Семи камней“. С каждым часом нарастала угроза „черного нашествия“ на побережье. Нужны были самые срочные меры, чтобы отразить это нашествие. Десятки судов вышли в море, тысячи людей трудились на берегу.

Наконец наступили сизигийные приливы. В часы полной воды уровень моря здесь поднимается за 5,3 метра. Опять к „Торри Каньону“ подошли спасательные суда, опять на борт танкера были поданы буксирные тросы. Раздалась команда, вспенилась вода под винтами... Танкер не подвинулся ни на шаг. Еще попытка, еще... Сколько ни бились спасатели, корабль крепко сидел на рифе.

А еще через два дня начался сильный шторм. Под натиском волн, терзавших израненное судно, обрушилась в море корма. Потом и остальная часть корпуса развалилась на части. Приливные течения, и без того сильные, под порывами штормового ветра еще быстрее устремились к берегу. Черные волны, в которых гибли птицы и рыбы, катились к полуострову Корнуэлл и по другую сторону Ла-Манша, к побережью Бретани. А в цистернах корабля еще оставалось шестьдесят тысяч тонн нефти.

Только огонь мог преградить им путь к берегу. Английское правительство распорядилось пустить в ход авиацию. Над обломками танкера появились самолеты. Они сбросили около ста бомб. Затем самолеты облили горящее судно бензином. Пламя, охватившее все, что оставалось от „Торри Каньона“, было видно за пятьдесят километров. Но нефть, разлившуюся вокруг „Семи камней“, эти бомбы не подожгли. В море она

потеряла легковоспламеняющиеся вещества и отказывалась гореть. Тогда на волны Атлантики упали напалмовые бомбы. Слепящее зарево вспыхнуло над нефтяным покрывалом, лежавшим на море.

Против „черной смерти“ были брошены французские военные корабли и рыболовные суда. Тысячи добровольцев вышли в море, чтобы всеми средствами предохранить от загрязнения северное побережье Франции.

Прилив и маятник

В былые времена с опаской шли моряки, особенно иностранные, вдоль Терского берега в Горле Белого моря. Молва этим местам дала зловещее название „кладбища кораблей“. За один только 1870 год в Воронке и Горле Белого моря потерпело крушение пятьдесят парусников, в 1894 году погибло двадцать пять судов.

Капитанов подстерегают тут тяжелые испытания. Тому, кто входит в Горло Белого моря, встречаются на пути приливные течения немалой силы и скорости. Перед кораблями часто встает плотная стена тумана. Если идешь по компасу и не делаешь поправки на приливные течения, которые сносят корабль с курса, не жди добра. В любую минуту судно может врезаться в прибрежную отмель. Так и бывало... И хотя у моряков теперь есть подробные и точные атласы приливо-отливных течений, нет-нет да и случается, что в тумане какой-нибудь рыболовный траулер попадет совсем не туда, куда направлялся.

Статистика говорит, что пятая часть всех морских аварий в прибрежных районах происходит из-за приливов и приливо-отливных течений. Вернее, конечно, не из-за них, а из-за моряков, которые упускают их из виду.

Если бы в тот день посетитель поднялся на борт небольшого теплохода „Биерум“, он бы никого не нашел ни на мостике, ни в каютах, ни в машинном отделении. Судно было пришвартовано к пирсу в голландском порту Харлингген. Капитан разрешил всей команде сойти на берег, и сам ушел, не оставив даже вахтенных. Через некоторое время теплоход начал крениться на левый борт. „Биерум“ не получил пробоины, не было на судне никаких повреждений. Теплоход оказался в опасном положении только из-за того, что его команда забыла о приливе. Чем выше поднимался уровень воды, тем больше натягивались швартовы, наклоняя корабль в сторону пирса. „Биерум“ накренился так сильно, что сдвинулись с места грузы в его трюмах. Это и доконало теплоход. Когда начался отлив, он лежал у причала на левом борту.

Но порой даже самая тщательная предусмотрительность не в состоянии защитить судно. Английский пароход „Клан Алпайн“ доставил груз в пакистанский порт Читтагонг, Свобод-

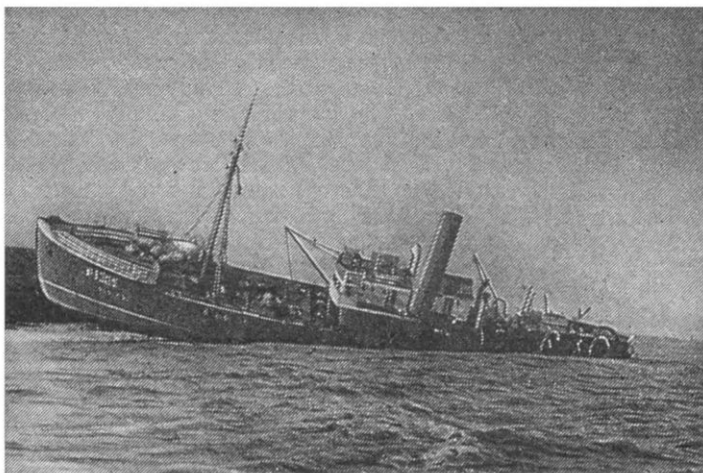


Рис. 5. Придется ждать помощи...

ных мест у причала не было, и пароход стоял на якоре в устье реки Карпангуле.

Ночью небывалой силы ураган пронесся над побережьем Восточного Пакистана. В устье реки образовалась приливная и нагонная волна высотой десять метров. Пароход, имевший в трюмах восемь тысяч тонн груза, выкинуло далеко на берег, за сотни метров от реки и порта.

Коварное нападение волны не причинило „Клан Алпайну“ почти никаких поломок. Но оно стоило ему жизни. „Клан Алпайн“ был продан на слом...

На земном шаре немало мест, где приливо-отливные течения представляют собой внушительную силу, с которой нельзя не считаться. Пешеход, как известно, за час обычно проходит пять километров. Скорость приливо-отливных течений составляет, например, в проливе Лаперуза, между Сахалином и островом Хоккайдо, семь — девять километров в час, в проливах Курильской гряды — одиннадцать, в Английском канале — тринадцать, у Алеутских островов — шестнадцать, а в некоторых узкостях и проливах севернее Шотландии и у берегов Аляски — восемнадцать и даже двадцать два километра в час.

Самые большие скорости приливных течений (двадцать восемь километров в час) отмечены в Северной Норвегии в проливе между Скъерстад-фьордом и Сальт-фьордом.

Эти течения повторяются с тем же постоянством и с той же периодичностью, что и колебания уровня океана. Есть течения суточные, полусуточные и смешанные — тут сходство с приливами полное. Да и как не быть сходству, если и течения, и колебания уровня вызываются одинаковыми причинами...

На каждую частицу воды в океане, как мы знаем, воздействуют космические приливообразующие силы и отклоняющая сила вращения Земли. Из-за этого частице приходится проделывать сложный путь. Она движется по замкнутой приливной орбите, округлой и вместе с тем вытянутой в длину, как крупный спелый огурец. Такое движение приводит к вертикальным (колебания уровня) и горизонтальным (течения) смещениям частицы. Проявляют себя эти смещения по-разному. Если вертикальное движение дает подъем или опускание уровня, то горизонтальное сказывается в изменениях скорости и направления течений.

Напомним, что вертикальное движение не выходит за рамки двух десятков метров. У горизонтального же — совсем иные масштабы. В Горле Белого моря, к примеру, горизонтальные перемещения частиц составляют значительную цифру — шестнадцать километров. Эта цифра складывается из двух величин: восемь километров в сторону от исходного положения и еще восемь километров обратного движения к положению равновесия.

Каждая частица остается в пределах своих „границ“, не переходит через восьмикилометровый рубеж. Но дальше, за этим рубежом, ее движение продолжает другая частица, которую она толкнула.

Когда мы имеем дело с полусуточным приливом, то примерно шесть часов приходится на повышение уровня и столько же времени на понижение. Этот же цикл в шесть часов у полусуточного приливного течения делится на две части: первые три часа скорость падает, затем меняется направление течения и скорость возрастает. Такое деление наблюдается и у суточного течения, только там периоды вдвое длиннее: шесть часов с убывающей, затем еще шесть часов с нарастающей скоростью. Убывает она до тех пор, пока совсем не исчезнет. И тогда происходит смена течения — из приливного оно становится отливным или наоборот.

Обычно на какое-то время движение совсем прекращается, замирает, наступает „кроткая вода“, как говорят моряки у нас на Севере. После такой паузы и меняется направление течения. В прибрежных районах или в проливах „трасса“ течения остается постоянной, а движение воды напоминает движение ткацкого челнока: вперед — назад, вперед — назад... В океанологии эти течения получили название реверсивных.

Из-за своего космического происхождения приливо-отливные течения занимают особое место среди других течений Мирового океана. Это сказывается не только в той зависимости, которая связывает горизонтальные перемещения воды с взаимным расположением небесных тел в системе Земля — Луна — Солнце: приливные течения, как и сами приливы, бывают сизигийными, квадратурными и промежуточными. Есть у них и еще одна, не менее важная особенность. Они приводят в дви-

жение всю массу воды, от поверхности до дна. Никакая глубина не может избавить частицу воды от воздействия приливообразующих сил.

До сих пор мы говорили о сходстве между приливными течениями и периодическими колебаниями уровня океана. Теперь скажем о различиях. Самые разнообразные условия и обстоятельства влияют на ход приливных течений. Это и рельеф дна, и очертания береговой линии, и площадь водного бассейна. Большое значение имеет характер прилива, его периодичность и кориолисова сила, отклоняющая движение потоков.

Если бы не эти „посторонние“ влияния, смена течений должна была бы совпадать с моментами полных и малых вод. Простая логика подсказывает: начался отлив, значит, и течению следует идти от берега, а не к берегу. В действительности же между полной и малой водой и сменой течения обычно есть промежуток, и немалый — он может доходить до трех часов.

Встречаются в Мировом океане такие уголки, где наблюдаются приливы без приливных течений и, наоборот, приливные течения без приливов. Так, у входа в Ирландское море, в канале Святого Георга, приливы можно почти не принимать во внимание, зато приливные течения настолько сильны, что их нельзя не учитывать. В том же Ирландском море, к западу от острова Мэн, прилив вызывает большое повышение уровня, но не сопровождается течением.

Даже там, где такого „разнобоя“ нет, нас тоже ждут странные, на первый взгляд, несоответствия. Залив Фанди, где наблюдается самый большой на земном шаре прилив, отличается весьма тихоходными приливными течениями. В проливе, соединяющем залив с океаном, скорость этого течения не превышает трех километров в час — в несколько раз меньше, чем во многих других пунктах Атлантики.

Наконец, обратим свой взгляд к открытому океану. Здесь картина резко меняется. Чтобы понять суть этих перемен, расскажем об опыте, в котором был прослежен путь, проделанный концом маятника за двадцать четыре часа. Маятник и прилив — казалось бы, что общего? Опыт с маятником был поставлен английским ученым Джорджем Дарвином, автором многих работ по анализу приливов.

Вспомним, какую роль играет горизонтальная составляющая приливообразующих сил. Именно она, горизонтальная составляющая, сталкивает частицы воды с места, приводит их в движение. Точно так же она должна действовать и на свободный конец маятника. При одинаковых астрономических и географических условиях его путь будет близок к горизонтальной орбите частицы. Условия эти определяются прежде всего местоположением частицы на земном шаре и склонением Луны.

Джордж Дарвин изучил движение маятника за приливный период в точке, соответствующей 30° северной широты, при

склонении Луны 15° северной широты. И его путь оказался довольно сложным: он проходит не по прямой, а по замкнутым кривым.

Опыт Джорджа Дарвина раскрывает важнейшую особенность приливных течений в открытом море. Здесь они теряют обратимый характер, который присущ им в прибрежных районах. Здесь вообще нет смены течений. Вдали от берегов они никогда не прекращаются, а направление течений меняется все время, непрерывно. Горизонтальные орбиты частиц воды в открытом море могут быть сравнительно простыми, почти круговыми, могут быть сложными, но одно остается неизменным: приливо-отливное течение имеет вращательный характер. При полусуточном приливе оно поворачивается на 360° за 12 часов 25 минут, при суточном — за 24 часа 50 минут.

Что угрожало Одиссею!

Волшебница Цирцея рассказывала Одиссею о Скилле (Сцилле), чудовище с шестью головами и двенадцатью лапами. По другую сторону пролива, как утверждала Цирцея, жила Харибда, тоже чудовище, которое трижды в день поглощает волны, а потом с оглушительным ревом извергает их в море.

Одиссею пришлось убедиться, что волшебница была права в своих мрачных предсказаниях. В проливе он едва уцелел, а шестеро его спутников были схвачены Скиллой. Потом буря обрушилась на корабль, разбила его, все погибли, кроме Одиссея. Обхватив сломанную мачту, он „отдался во власть беспредельного моря“. И тут ветер понес его к Харибде. Одиссей чудом спасся, ухватившись за ветви смоковницы, свисавшие над морской бездной. Зная, что Харибда через некоторое время изрыгнет воду, Одиссей дождался этой минуты, прыгнул на обломки корабля, показавшиеся среди волн, и выплыл в открытое море.

Так изображал Гомер невзгоды и бедствия, постигавшие мореплавателей в Мессинском проливе. Но у современных моряков этот пролив не пользуется дурной славой. Может быть, испытания, выпавшие на долю Одиссея,— всего лишь плод поэтического воображения? Или же древнегреческие мифы, воссозданные Гомером, родились из морских былей, рассказов мореплавателей далекого прошлого, когда плавание в проливе действительно представляло грозную опасность?

Океанологи готовы верить Гомеру. Вполне вероятно, говорят они, что в давно прошедшие времена Мессинский пролив не оставлял у моряков приятных воспоминаний.

В подтверждение своей точки зрения ученые приводят ряд соображений. Начнем с трагического Мессинского землетрясения, одного из самых разрушительных за всю историю человечества. Оно произошло в 1908 году. Были уничтожены ценнейшие архитектурные памятники, погибли тысячи людей. Но и

до этого здесь не раз бывали землетрясения: Мессина находится в зоне активной вулканической деятельности.

Исследования берегов пролива обнаружили, что когда-то он был более узким, чем теперь. Ученые считают, что после какого-то из землетрясений пролив заметно расширился, а это имело прямое отношение... к исчезновению коварных и кроваво-жадных чудовищ Сциллы и Харибды.

Мессинский пролив, который проходит между Апеннинским полуостровом и Сицилией, соединяет Ионическое и Тирренское моря. Если говорить о приливах, то ничего примечательного в этих морях нет, приливные колебания уровня там почти незаметны, так же как и в Мессинском проливе. Но приливо-отливные течения в самом проливе очень заметны. Их скорость в наше время доходит до девяти километров в час. Несомненно, что раньше, в более узком проливе, скорость течений была намного выше.

Но как ни важен этот факт для „биографии“ Сциллы и Харибды, еще важнее другое. По мнению океанологов, решающая роль тут принадлежала внутренним волнам. И вот, оказывается, есть такие волны и в Мессинском проливе.

Во время сизигий в проливе сталкиваются два сильных потока. Из Ионического моря вливается более соленая, а значит, более тяжелая вода, над ней идет поток из Тирренского моря — его вода более пресная, легкая. В противоборстве этих двух потоков и рождается огромная внутренняя волна. Представление о ней дает хотя бы такая цифра: высота ее составляет около шестидесяти метров. Пока путь волны лежит между далеко отстоящими берегами, она остается где-то на глубине, ничем не обнаруживая своего присутствия. Но в северной части Мессинского пролива ширина его резко сокращается. Гидрологический „бутерброд“ — снизу тяжелая вода Ионического моря, сверху легкая вода Тирренского — распадается. Потоки из двух морей проносятся через узкость рядом, „плечо к плечу“. И тогда вихревое движение внутренней волны выталкивает ее из глубины наружу. На поверхности моря образуются стремительные водовороты, особенно сильные при сизигийном положении Луны и Солнца.

Вернемся теперь к Гомеру... В его эпоху, а может быть, и еще раньше, когда расстояние между берегами Мессинского пролива было меньше, приходили сюда на утлых судах мореплаватели. Гомеровскому Одиссею надо было бороться с приливными течениями, гораздо более быстрыми, чем в наше время. Надо было Одиссею уберечься и от губительных водоворотов.

А как же Сцилла и Харибда? — спросит читатель.

Они были, отвечает океанология. Это течения, водовороты, подводные камни. А уж поэтическая фантазия придала им черты мифических чудовищ, оставшихся на века художественным воплощением страшной опасности.

Реки текут вспять

На Камчатке есть вулканы, есть гейзеры... Каждый из нас еще со школьной скамьи знает об этом.

А что вы слышали о реке Пенжине?

Она не похожа на тысячи других рек нашей страны. Течет Пенжина на севере Камчатки, впадает в большой залив, который называется Пенжинской губой. Всем океанологам этот залив известен своими исключительно высокими приливами: уровень воды там иногда поднимается на одиннадцать метров. Имея под боком такого грозного соседа, река старается жить с ним в ладу. Она принаравливается к его движениям: то отдает ему свои воды, то поворачивается к нему спиной и бежит в обратную сторону...

Пенжина — река не из маленьких. От склонов Колымского хребта до залива она протянулась на шестьсот с лишним километров. Но когда устье залива затопляет мощная приливная волна, речное течение вынуждено уступить ее натиску. И пока приливная волна поднимается по Пенжине, река течет вспять...

При отливе она с лихвой сводит счеты с Пенжинской губой. Из всех сил она гонит вниз „чужую“ воду, а вместе с ней и свою, накопившуюся, пока прилив не давал ей ходу.

Люди, бывавшие на Пенжине, рассказывают, что в эти минуты она мчится с поразительной быстротой. На что уж проворны нерпы, но и они, случается, не могут угнаться за течением и остаются на мели.

Большой прилив часто, особенно в сизигию, проникает в устья рек. Как только на взморье малая вода сменяется подъемом уровня, приливная волна входит в устье и начинает двигаться вверх, против течения. Не всем известно, что более двадцати судоходных рек нашей страны находятся под постоянным воздействием морского прилива: Северная Двина, Мезень, Онега, Печора, Енисей, Амур...

В устье Мезени разбросано множество „кошек“ — песчаных отмелей. С борта судна, стоящего у берега, хорошо видно, как во время прилива они скрываются под водой. Пройдя над ними, приливная волна поднимается вверх по Мезени и затухает в девяноста километрах от начала устья.

Морской прилив повышает уровень воды в Гудзоне, Луаре, Сене, Темзе и в других реках гораздо дальше, чем на Мезени. На Северной Двине от моря до границы прилива сто двадцать километров, на Эльбе — сто сорок, на Анадыре — двести пятьдесят, на Хатанге — пятьсот, на реке Цзяньтанцзян — шестьсот, на реке Св. Лаврентия — семьсот километров.

Но есть река, где приливная волна поднимается на тысячу четыреста километров вверх по течению. Это Амазонка, носящая гордый титул царицы рек. Величайшая речная магистраль мира принимает в свое русло воды тысячи ста притоков, а территория ее бассейна чуть меньше площади всей Европы.

Когда корабль входит в устье, пассажиры, впервые попавшие в эти места, недоумевают: где же река? Берегов не видно, устье настолько обширно, что трудно сказать, где кончается океан и начинается Амазонка. Насколько она полноводна, можно судить по таким цифрам: Амазонка — это шесть Енисеев или двадцать восемь рек, равных Волге.

Туда, в страну Амазонию, как называют равнину, прилегающую к руслу царицы рек, приходят морские суда. На широкой реке, среди бескрайних тропических лесов, их настигает приливная волна, будто под килем корабля воды Атлантики. И путь, который суда проделывают по Амазонке, — тысяча семьсот километров — немногим уступает по длине постоянным маршрутам теплоходов, курсирующих между портами Европы.

Но, как ни могуча Амазонка, противостоять приливу и ей не под силу. В сотнях километров от устья слышится в Амазонии тяжелое дыхание океана. Его голос звучит в гуле и грохоте „гремящей воды“ — пятиметровой водяной стены, которая мчится вверх по реке, заливая и размывая берега. Шум от нее иногда разносится на несколько километров окрест.

„Гремящую воду“ в Бразилии называют поророкой. А на одном из местных индейских наречий она обозначается словом „амазуни“, которое с первого же взгляда выдает его родство с самой Амазонкой. Возможно, что именно „гремящая вода“ и дала реке ее название, как бы постоянно напоминающее о сокрушительной мощи „приливного прибоя“.

Особенно буйной и свирепой поророка бывает, когда к сизигийным приливам присоединяется северо-восточный ветер, а вода в Амазонке стоит низко. Водяной вал затопляет берега и отмели, обрушивает свои удары на встречные острова. Правда, это не проходит безнаказанно и для самой поророки. На мелях перед островом Марака она распадается, делится на три волны. Они идут друг за другом с промежутком в пять минут и скоростью, достигающей до семи с половиной метров в секунду. Один из приморских островов не выдержал постоянных стычек с поророкой. За пятьдесят лет она сумела разделить его на два острова — Кавьяна и Журупари.

Тот же приливной вал оглашает своим гулом берега рек и в других странах. Только там его называют иначе: в Англии его знают как б о р, во Франции говорят — м а с к а р э... Прилив идет вверх по реке быстрее, чем отлив возвращается в море. Отлив в реке иногда продолжается на несколько часов дольше, чем прилив. Чтобы понять, почему это так, надо вспомнить, что скорость поступательной волны зависит от глубины бассейна. С приливом глубина увеличивается, скорость возрастает и волна „в гору“ идет быстрее, чем „под гору“.

Среди океанологов сейчас преобладает тот взгляд, что именно в скорости волны надо искать причины, порождающие на реках „приливный прибой“. Наблюдениями было установлено, что у приливных волн, идущих вверх по реке, изменяется

расстояние между гребнями и подошвами волн. Расстояние это сокращается, гребень упорно сближается с подошвой волны,двигающейся перед ним, наступает ей, как говорится, на пятки. Время роста гребня уменьшается, а время падения уровня воды увеличивается.

Но почему же иногда так резко сближаются гребни и подошвы? Несколько десятилетий господствовало мнение, что это вызывается трением. В реке волна попадает на мелководье, усиливается ее трение о дно. Примерно то же самое, говорили сторонники этой точки зрения, происходит и с ветровой волной, когда она докатывается до побережья.

Но мелководные районы, возражают ныне противники этой точки зрения, есть и на морях, однако никто никогда не находил там и следов бора. Чем объяснить, что он бывает только в реках? Кроме того, у приливной волны большая длина. И сразу, мгновенно она разрушиться не может, для этого нужны солидное время и расстояние. А бор таким условиям как раз и не отвечает.

„Приливный прибой“ рождается вдали от рек, на морских просторах. Там, в открытом море, приливная волна и приливное течение имеют разные скорости. Приливная волна движется со скоростью, значительно большей, чем скорость течения.

В реке разница в темпе движения начинает сокращаться. Когда волна устремляется вверх по руслу, ее скорость падает. У приливного же течения, наоборот, она возрастает.

Русло реки меняется: чем дальше от устья, тем берега ближе, дно — выше. И приливное течение, переходя из широкого участка в более узкий, увеличивает свою скорость. Постепенно течение догоняет волну. И наступает момент, когда они движутся с одинаковой скоростью. Передний склон волны поднимается над уровнем реки, принимает вертикальное положение — тогда и вырастает водяной вал „приливного прибоя“.

Своими огромными размерами известен бор на реке Цзяньтанцзян, впадающей в Китайское море к югу от Шанхая. Бывает, высота водяного вала доходит там до восьми метров. Река эта изобилует мелями, местами она сильно сужается. Отличается она и тем, что бор там наступает с каждой полной водой, а не только в сизигию.

В свое время английское Адмиралтейство опубликовало отчет о наблюдениях в устье этой реки. Речь шла о происшествии, случившемся с британскими кораблями в сентябре 1888 года: „...хотя машины продолжали работать полным ходом, суда не могли удержаться на якорях среди растущей приливной волны, вследствие силы струи в одиннадцать узлов... Последовавший отлив был настолько силен, что суда не могли удержаться на якорях одно около другого. Ночь была тихая, и в 23 часа 29 минут послышался с востока шум бора. Бор показался в 23 часа 55 минут и пронесся мимо нас у противоположной отмели, как и предсказывали китайцы. Казалось, опасность

миновала, однако в час ночи течение громадной силы захватило „Пандору“, и она с трудом избежала крушения. Утром выяснилось, что ее ахтерштевень и рама винта сломаны. „Брунсвика“ и „Гельнара“ не было видно. Они были в большой опасности и проволокли свои якоря на три мили вверх по реке.

Но даже этот водяной вал, срывающий корабли с якорей, уступает кое в чем бенгальскому бору. Когда говоришь о нем, приходится употреблять эпитеты в превосходной степени. Бенгальская дельта, где сходятся устья Ганга, Брахмапутры и Мегхны, — величайшая дельта мира, ее протяженность достигает пятисот километров. А бенгальский бор — самый высокий на реках земного шара.

Природа создала здесь причудливую сеть рукавов и протоков. И они сами, и реки, их породившие, живут необыкновенно бурной жизнью. Бенгальский залив отличается на редкость сильными приливо-отливными течениями. Южную, болотистую, часть дельты, покрытую непроходимыми зарослями тропических джунглей, кишашими змеями и крокодилами, нередко затопляет прилив, который поднимает уровень воды на пять метров. Весной и летом в заливе свирепствуют штормы и ураганы. От муссонных ливней реки выходят из берегов, а если это совпадает со штормовыми нагонами и большим приливом, то начинается катастрофическое наводнение, охватывающее не только дельту, но и огромные пространства, прилегающие к ней.

Бенгальский бор, да и вся дельта, еще нуждается в более глубоких и точных исследованиях. Бенгальский бор удивляет своей „дисциплинированностью“. Время его прихода известно заранее, его предвычисляют так же, как приливные колебания уровня океана. И давно уже установлена постоянная закономерность: мощный бор на Хугли возникает лишь при сизигийных приливах.

Мегхна, главный восточный рукав дельты, кроме бора, известен и водоворотами. На пути приливной волны, идущей из Бенгальского залива, встает остров Сандуип. Возле его северо-восточной оконечности и бурлит водоворот — там сталкиваются волны после того, как они обогнут остров. Зимой на Мегхне бор затихает. Но зато во время равноденствия, когда начинают дуть юго-западные муссоны, здесь появляется такой бор, какого нигде больше не увидишь. Расстояние в два километра он преодолевает за несколько минут, а высота водяного вала на Мегхне иногда поднимается до девяти с лишним метров.

И та же приливная волна, что становится „гремющей водой“ на Амазонке, Цзяньтанцзяне и Мегхне, бывает совсем тихой и смирной. Перенесемся от Бенгальской дельты к устью Северной Двины. После малой воды начался прилив, уровень реки начал повышаться... Выше, выше, и вдруг — стоп! Больше не поднимается. Уже полная вода? Нет, просто какая-то заминка.

Это похоже на неожиданную остановку поезда на перегоне перед закрытым семафором. А тут, на Северной Двине, течение самой реки не пускает дальше приливную волну, удерживает ее на одном месте. Наступает, как говорят поморы, м а н и х а — перерыв в подъеме уровня. Но вопрос „кто — кого?“ решается в пользу прилива. Его волна побеждает встречное течение и продолжает повышать уровень до полной воды.

Прежде чем закончить рассказ о неожиданностях, которыми сопровождается приливная волна на реках, нам придется еще раз заглянуть в залив Фанди. Пойдем вслед за его приливной волной вверх по берегу реки Сент-Джонс. Недалеко от устья ее русло сжимает скалистое ущелье, короткое и узкое. Приливному течению через это „игольное ушко“ никак не протиснуться. Вода накапливается у входа в ущелье, будто перед плотиной, от этого уровень реки ниже узкости стремительно повышается. И наступает минута, когда течение как бы перепрыгивает через узкость и обрушивается водопадом с другой стороны ущелья. Уникальный случай: водопад, который низвергается не по ходу речного потока, а наоборот — против движения этого потока...

При отливе в узкости снова происходит затор. „Игольное ушко“ не успевает пропустить течение, идущее к морю. Вода собирается выше ущелья, и ей не остается ничего иного, как опять прорваться через него водопадом, теперь уже вниз по течению реки. Так прилив залива Фанди в содружестве с рекой Сент-Джонс создал единственный на Земле двусторонний водопад.

С приливом под килем

Зарево пожарищ полыхало в небе над портом. От причалов отваливали суда, переполненные солдатами так, что на палубах яблоку негде было упасть. До английского берега добирались под пулеметными очередями и бомбовыми ударами фашистской авиации. Для многих пролив Па-де-Кале стал последним рубежом между жизнью и смертью...

Трагические дни Дюнкерка, крупного порта на северном побережье Франции, вошли в историю второй мировой войны на Западе. Эти дни решали участь британских дивизий, прижатых к морю гитлеровскими танковыми колоннами.

Любое суденышко, с грехом пополам державшееся на воде, весь британский флот были брошены на спасение тех, кто уцелел на пылающей земле Дюнкерка.

Здесь не место говорить о бесконечных трудностях, с которыми была связана эвакуация „томми“ из Дюнкерка. Остановимся только на одной из них. Вход в этот порт для крупных кораблей открыт далеко не всегда. У Дюнкерка, как и у большинства других французских гаваней, есть внешний рейд. Здесь суда могут стать на якорь и терпеливо ждать прилива.

Если дело происходит ночью, вахтенный штурман время от времени посматривает, какой сигнал горит на мачте, установленной на оконечности мола. Когда светится красный огонь, уровень прилива не превышает метра. Но когда зажигается белый огонь, можно сниматься с якоря — прилив поднял уровень воды на пять метров.

Чтобы Дюнкеркский порт мог действовать в условиях, когда с приливами и отливами резко меняется глубина в порту, понадобилось создать целую систему шлюзов и закрытых бассейнов. В этих бассейнах постоянно поддерживается одинаковый уровень воды, который не зависит от приливо-отливных течений в море. Суда могут свободно подходить к месту стоянки, когда уровни в бассейне и море совпадают. Когда же между ними образуется разрыв, даже не очень большой, суда вынуждены шлюзоваться по расписанию.

Юго-восточная часть Старого аванпорта называется Осушной гаванью. Она предназначена для небольших рыболовных судов, которые при отливе ложатся на грунт. А крупные корабли через шлюзы проходят в закрытый бассейн. Самый обширный из них, бассейн Фресине, занимает западную часть порта Дюнкерк. Там суда и остаются на плаву в часы отлива.

Но ждать на внешнем рейде, пока загорится нужный сигнал и можно будет двинуться к шлюзу, совсем не в интересах моряков. Больше того, это им очень невыгодно: удлиняется время рейса, растут расходы. Точно так же не избежать экономических потерь, если капитан пропустит срок и не сможет отойти от причальной стенки из-за отлива. Чтобы не терять попусту ни часа, судоводитель должен заранее знать, когда прилив позволит войти в порт и уйти из него. Тем более, что список портов, доступных для океанских судов только в полную воду, довольно велик.

Если поинтересоваться историей этих портов, выяснится, что возникли они давно, существуют не один век. Почему же предки современных мореплавателей оказались столь недалекими? Почему они предпочитали приводить свои корабли в устья больших рек, создавать там центры морской торговли, несмотря на неудобства, которые причиняет прилив?

В старину речные суда были не только самым дешевым, но и самым удобным средством перевозки грузов. По большим рекам от моря в глубь страны добирались до своих покупателей купцы с заморскими товарами. А приливы и отливы мореходов тех времен мало тревожили: осадка их судов была настолько невелика, что им с избытком хватало глубин.

Но шли десятилетия, водоизмещение кораблей увеличивалось, настала пора, когда капитанам, чтобы избежать аварии, надо было уже входить в порт с приливом под килем. Парусники из Индии, Африки, Америки часами ждали в устье Темзы полной воды, чтобы сняться с якоря и вместе с приливным течением подняться по реке к Лондону.

Приливная волна, войдя в Северное море, у берегов Англии увеличивает свои размеры. К югу амплитуда прилива возрастает и в устье Темзы доходит до пяти с половиной метров. А подальше от взморья, у Лондонского моста, величина прилива составляет уже шесть метров восемьдесят сантиметров — таков здесь подъем воды в сизигию.

Но эти цифры иногда меняются. Их „подправляют“ северо-западные и северные ветры. Всякий раз, когда сильное штормовое волнение совпадает с большим приливом, над берегами Темзы нависает угроза наводнения. Давным-давно, еще в эпоху римского владычества, на реке начали строить защитные дамбы. Через шлюзы в этих дамбах спускают при отливе воду с затопленных земель.

Приливо-отливными шлюзами оснащен и Лондонский порт — сложная, веками создававшаяся система доков. Шлюзы есть у большинства его доков, его причальные линии протянулись вверх по Темзе на шестьдесят километров. Чтобы попасть в док Ройял-Виктория, надо пройти через шлюз длиной девять метров и глубокий приливный бассейн. В док Миллуэлл ведет шлюз длиной сто тридцать семь метров, а шлюз бассейна Блэкуолл еще протяженнее — сто сорок шесть метров.

Уйти из Лондона корабль может только во время прилива, когда вода в доке и в реке будет на одном уровне.

Любое гидротехническое сооружение в порту, где изменяется уровень воды, строится с учетом прилива и отлива. От их величины зависят размеры и прочность мола, волнолома, шлюзов. А иногда случается, что к приливу „подгоняют“ не только портовые сооружения, но даже русло реки.

Везер, одна из главных немецких рек, — важная судоходная магистраль. В семидесяти километрах от Северного моря на Везере находится город и крупный порт Бремен. Прилив у Бремена достигает трех с лишним метров.

Инженеры подсчитали, что не очень сложные работы позволят изменить русло реки. И тогда приливная волна на Везере получит „зеленую улицу“, а морские ворота Бремена можно будет распахнуть еще шире.

Проект был осуществлен. Дно в устье Везера углубили, приблизив его по форме к воронке. Так были созданы все „удобства“ для распространения приливной волны. Причалы Бремена свободно принимают океанские корабли, и только самые крупные из них разгружаются ближе к морю, в Бремерхафене.

Куда бы ни пришло судно — в Дюнкерк, Лондон или Гамбург, — специальная сигнализация сообщает морякам, каков уровень воды. Но в распоряжении корабельных штурманов есть и другие сведения, пользоваться ими можно задолго до подхода к гавани. Благодаря им моряки не теряют времени на рейде в ожидании полной воды.

У каждого порта есть свой п р и к л а д н о й ч а с.

Тут надо снова вернуться к сложным отношениям между

Луной и приливом. Казалось бы, если она находится над каким-то пунктом морского побережья в своем наивысшем положении (океанологи говорят: „проходит через меридиан места“), то здесь и должна быть полная вода. На самом же деле кульминация Луны никогда не совпадает с наибольшим повышением уровня.

Часы и минуты, которые отделяют одно от другого, называются лунным промежутком. День ото дня промежутки становятся больше или меньше, но изменяется он в определенных границах. Лунный промежуток и служит основой для исчисления прикладного часа.

Астрономические справочники дают штурману момент кульминации Луны. Остается найти в таблице поправку — и прикладной час того порта, куда направляется корабль, установлен. Теперь штурман с достаточной степенью точности знает, когда там будет полная вода.

Хотя принято говорить о прикладном *часе*, он, вероятно, самый необычный час на свете: величина его, в зависимости от времени и места, иногда измеряется всего лишь минутами, а иногда и двенадцатью часами.

Ледовый час

Какой бы маршрут ни избирали туристы, посещающие норвежскую столицу Осло, они не преминут отправиться в один из самых редких на Земле музеев. Толпятся посетители музея перед простым плотом из девяти бревен — знаменитым „Кон-Тики“, на котором Тур Хейердал и его спутники совершили путешествие через Тихий океан от Перу до островов Полинезии. А неподалеку можно увидеть небольшое полярное судно с коротким корпусом и яйцевидным днищем. Это „Фрам“, корабль Фритьофа Нансена, тот самый „Фрам“, который совершил исторический дрейф во льдах Арктики от Новосибирских островов до Шпицбергена. Большое значение имели и наблюдения исследователя над ледяным покровом. Заинтересовал его вопрос о том, как отражаются на льдах Арктики приливы и отливы.

Наблюдая с борта „Фрама“, ставшего на три года пленником Арктики, Нансен обнаружил, что сжатия льдов были особенно сильными во время сизигийных приливов, причем за сутки лед дважды разрежался и смыкался. Самые сильные сжатия происходили в новолуние. В квадратуры они настолько ослабевали, что их почти невозможно было обнаружить.

Мировая наука обязана советским ученым важнейшими трудами, составившими целую эпоху в исследованиях Арктики. К числу этих ученых относится и Н. Зубов, один из первых сотрудников Плавучего морского научного института, созданного в 1921 году.

Участник экспедиций на „Книповиче“, „Персее“, „Сад-

ко“ Н. Зубов в течение ряда лет исследовал льды Арктики. Обобщая свои наблюдения, он впервые определил явление, которое назвал ледовым часом.

Приливообразующие силы действуют в Арктическом бассейне, разумеется, так же, как всюду на планете. Но миллионы квадратных километров льда — это „груз“, и немалый. Приливная волна справляется с ним ценой немалых потерь.

Прежде всего обращает на себя внимание, что у приливов на Севере есть два сезона — зимний и летний. В незамерзающих морях смена времен года не отражается на уровне полной и малой воды. А у берегов Сибири приливы, как правило, летом больше, зимой — меньше. По многолетним наблюдениям, приливы в Архангельске в июле примерно вдвое выше, чем в феврале. Причиной сезонности, по мнению исследователей Арктики, является ледяной покров.

В замерзшем море приливная волна вынуждена терять больше энергии, чем в бассейне, свободном от льда. Эта энергия уходит на трение о нижнюю поверхность льда, на торошение и разломы ледяных полей. Скорость приливо-отливного течения падает, снижается и величина прилива.

Кроме того, свободу действий приливной волны сковывает толстая ледяная „крыша“. Чтобы преодолеть сопротивление этой „крыши“, волна должна выжать ее вверх, изогнуть. На изгибание ледяного покрова тоже уходит энергия, приливная волна как бы затухает, движение ее замедляется.

Но и приливы, в свою очередь, не остаются в долгу перед льдами. Вода замерзает быстрее, когда ее покой ничем не нарушается. Приливы и отливы „тормозят“ воду, перемешивают, от этого задерживается образование льда. Зато потом из-за них же море промерзает на большую глубину. Они постоянно взламывают верхний, еще тонкий слой ледяного покрова, открывают чистую воду, там появляется новый лед. Так повторяется не один раз, в результате льда становится больше.

В тех районах, где колебания уровня особенно велики, прилив совсем не дает морозам сковать поверхность воды. Это можно видеть в Мезенском заливе Белого моря и в устье самой Мезени. Даже в лютые морозы на Мезени ниже мыса Толстика нет неподвижного льда. Каждый прилив его взламывает, а отлив уносит льдины в море и выкидывает на прибрежные отмели.

С наступлением весны прилив становится старательным помощником солнца. Заодно с его лучами он разрушает ледяной покров, крошит его, открывает пространства чистой воды, ускоряя накопление тепла.

Чтобы обнаружить колебания уровня в Полярном море, иногда не нужны никакие приборы и приспособления. Опытный глаз океанолога легко находит зримые следы прилива, ловит его, так сказать, с „поличным“. От смены полных и малых вод, то поднимающих, то опускающих толщу льдов, в береговом

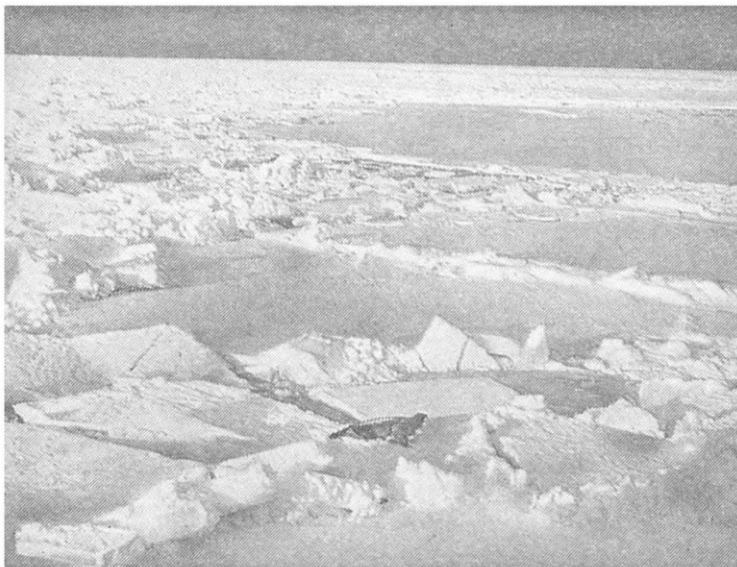


Рис. 6. Прилив взломал льды.

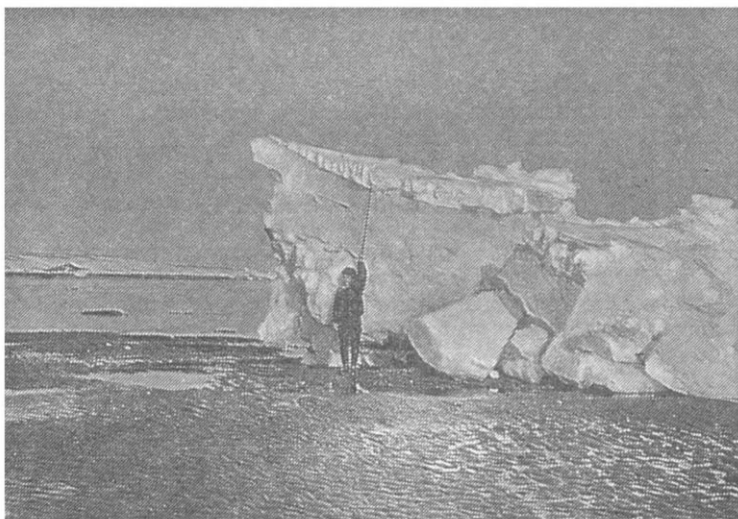


Рис. 7. Прилив сжал ледяные поля.

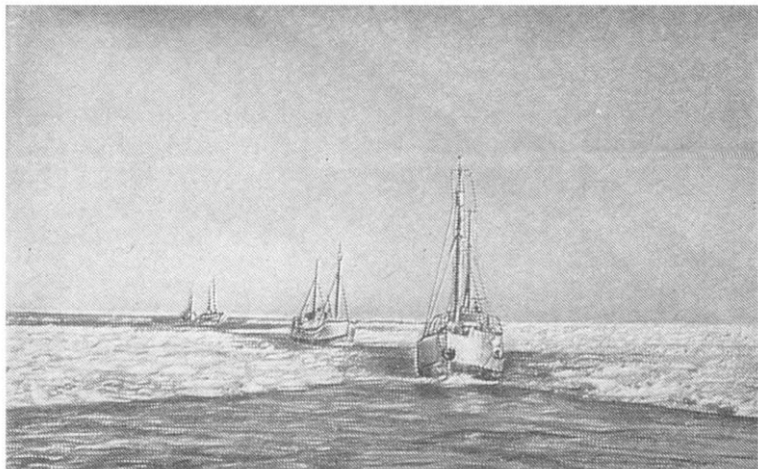


Рис. 8. Дорогу расчистил прилив.

припае образуются трещины. Океанологи называют их приливными.

Разрежения и сжатия льдов правильно чередуются, повторяются, совпадая с приливо-отливными колебаниями уровня океана. Значит, можно их предвидеть, можно даже заранее их рассчитать: как и приливы, они зависят от положения Луны.

Это позволило Н. Зубову развить мысль о ледовом часе, подобном прикладному часу порта. Ледовый час, как и прикладной, устанавливается на основе наблюдений. Он равняется среднему промежутку времени между кульминацией Луны и ближайшим последующим сжатием льдов в данной точке моря.

Когда звонит колокол...

Оставив за кормой не одну сотню миль, советское учебное судно пришло в пролив Дэвиса.

Поднимемся на борт корабля. Войдем в аудиторию — впрочем, тут это просто штурманская рубка. Свист ветра и плеск волн нарушают строгую тишину занятий. Да и зачет принимает не седовласый профессор, а капитан, немало морей перевидавший на своем веку.

Итак, идут занятия. Капитан приказал спустить за борт водолаза. Надо осмотреть винт. Когда это сделать?

Человек, который никогда не нес вахту на капитанском мостике, может быть, скажет: немедленно, раздумывать нечего. Но курсант, проходящий штурманскую практику, знает, что ответ „немедленно“ не сулит ему ничего, кроме двойки. Поду-

мать есть о чем. Прежде всего надо точно знать, в какое время условия будут самыми благоприятными.

Как же это выяснить? Решить задачу поможет атлас. На каждый час карты дают сведения о направлении и скорости течений в квадратуру и сизигию.

Местонахождение корабля курсанту хорошо известно, остается отыскать те карты, на которых в интересующем его районе течения будут самыми слабыми.

...Нет, вероятно, на свете капитана, который не слышал бы о старинном здании на Лайм-стрит, в центре Лондона, так же как нет, вероятно, судна — будь то морской гигант или небольшая яхта, — о котором не знали бы в этом здании. Больше двух веков назад возникло „Страховое общество Ллойда“, ныне одно из крупнейших монополистических объединений Англии. На Лайм-стрит знают, какие суда строятся, какие сошли со стапелей, постоянно в курсе всех событий и происшествий, случившихся на море.

И когда приходит весть о катастрофе, в центральном зале лондонского здания по традиции раздаются медленные удары колокола. Это колокол „Лютина“, фрегата, затонувшего с грузом золота еще в 1799 году. В конце прошлого столетия колокол был найден на морском дне, среди обломков фрегата. И с тех пор траурный звон в зале „Ллойда“ возвещает о каждой новой жертве океана, как бы отдавая последнюю почесть погибшему кораблю. Глашатай называет его имя, оно заносится в „книгу кораблекрушений“.

Миллион судов... Эту цифру называют американские океанологи Рехнитцер и Терри, подсчитавшие, какие потери понесло человечество за многие столетия морского судоходства.

Пролив Ла-Манш, где сходится едва ли не половина морских путей земного шара, — это несомненно самый бойкий и шумный „перекресток“ Мирового океана. Как там велики приливы, как сильны приливо-отливные течения, сообщают все карты и лоции. Но тем не менее... Английские моряки имели все основания дать мелям Гудвин, расположенным в Ла-Манше, прозвище „Пожиратель кораблей“.

Когда судно идет через Ла-Манш, минуя Дувр, к устью Темзы, ему приходится обогнуть мели Гудвин. Они лежат неподалеку от юго-восточного побережья Англии. Немного найдется мест, где „работа“ приливо-отливных течений так наглядна, как здесь: каждые сутки, а то и чаще, они изменяют очертания мелей. Прилив укрывает их от глаз моряков, поднимая уровень воды на четыре метра. Наступает отлив, и взгляду открывается песчаная полоса длиной около двадцати километров.

Хуже всего, если днище корабля врежется в песок в часы полной воды. После отлива его корпус остается над осыхающей мелью, гораздо выше поверхности моря. Новый прилив нагромождает вокруг него кучи песка. Судьба судна предрешена. Спасти его можно только в самые короткие сроки после аварии.

Когда же судно продолжает сидеть на мели, под него „подкапывается“ отлив. У борта намытый песок задерживается, на-капливается, а под кормой и носом отлив каждый раз песок размывает и уносит с собой. Лишенный опоры спереди и сзади, корпус груженого судна не выдерживает деформации и переламывается пополам.

„Сели на мель“... Эти слова чаще всего встречаются в радиограммах об авариях на море. И почти всегда это происходило там, где приливы и отливы осложняют условия плавания.

Но мы погрешили бы против истины, если бы не сказали, что прилив может быть и союзником мореплавателя. Обычный современный теплоход средних размеров, если его капитан точно учтет время и направление приливо-отливных течений, сократит длительность перехода от Архангельска до мыса Святой Нос при скорости 12 узлов на шесть с лишним процентов, а на обратном переходе еще больше — на десять процентов.

Человек и прилив, пигмей и Голиаф... С древних времен Океан представлялся людям символом безграничного могущества, в греческой мифологии он был прародителем всех богов и титанов.

И в самом деле, сын Океана, прилив, настолько могуч, что оставляет вечные шрамы на теле Земли. На морском дне в районе Западной Шотландии идут длинные борозды глубиной полтора-два метра — их прорыли приливные течения.

Одна из океанологических гипотез утверждает, что именно из-за приливных течений Англия стала островом. Они разъединили ее с Европейским континентом, „прокопали“ Дуврский пролив.

С палубы судна, идущего в Ла-Манш, пассажиры с любопытством разглядывают блещущие белизной меловые берега у Дувра... Когда-то такие мягкие известняки образовывали сплошной массив, охватывающий и Англию, и ближайшую к ней часть континента. А на месте нынешнего пролива была бухта воронкообразной формы.

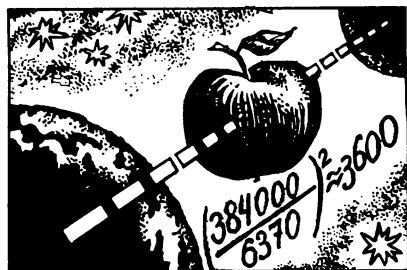
Ученые нашли на французском побережье следы, оставленные морем, — их не стерли многие тысячелетия. Следы помогли расшифровать очертания старых берегов и убедиться, что когда-то уровень воды был гораздо выше. По подсчетам, приливы в бухте были такими большими, каких нет в нашу эпоху нигде на земном шаре. Они достигали двадцати двух метров. Приливные течения, отличавшиеся огромной силой, и размыли меловую перемышку, отделявшую бухту от моря...

По хорошему старинному обычаю моряков, покидающих гавань, всегда напутствуют словами: „Семь футов под килем!“.

„Семь футов под килем“ — это пожелание морякам быть зоркими, стойкими, во всеоружии встретить превратности морской стихии. А значит, это и призыв не забывать о приливе, дружить с ним, всегда иметь под килем полную воду...

Глава 3

„МОГИЛА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ЛЮБОПЫТСТВА“



Заседание открылось в апартаментах старого Лувра, которые король предоставил Парижской Академии наук.

Столица Франции в то время славилась своими учеными, писателями, артистами. И как это уже бывало, в конкурсе, объявленном Парижской Академией наук, приняли участие математики разных стран.

В 1740 году конкурс закончился, теперь французским академикам предстояло ответить на вопрос, кто же из соискателей достоин премии.

Но самого достойного не нашлось. Ученые решили, что каждый из участников заслужил награду, и присудили премии не одному, а всем четверым. Вот их имена:

Леонард Эйлер из Петербурга, академик, математик, механик и физик, человек, нашедший в России свою вторую родину, ученый, которого считали учителем всех математиков второй половины восемнадцатого века;

Колин Маклорен из Эдинбурга, профессор университета, ученик и последователь Исаака Ньютона;

Даниил Бернулли из Базеля, профессор университета, член знаменитой семьи швейцарских ученых Бернулли.

Четвертым был иезуит Кавальери, труды которого не оставили заметного следа в науке.

Но французские академики проявили, пожалуй, чрезмерное великодушие, не отказав претендентам в награде. По сути дела, ни один из них премии не заслуживал, потому что не решил главной задачи, поставленной перед участниками конкурса.

Темой парижского конкурса была теория морского прилива.

Эйлер не создал эту теорию, его работы обогатили математику.

Бернулли и Маклорен не смогли найти решения, которое позволило бы согласовать теоретические расчеты с бесконечно разнообразной и противоречивой картиной приливов, приблизить эти расчеты к практическим запросам растущего мореплавания.

Эйлер, Маклорен, Бернулли... Крупнейшие ученые эпохи попытались глубоко проникнуть в законы, управляющие приливами,— и потерпели неудачу. Во многом ошибался в своих представлениях о приливах и сам гениальный Ньютон. Ни ему, ни его ближайшим последователям не удалось создать научной теории, охватывающей это явление природы во всей его сложности.

Но никогда не потускнеет слава Ньютона, величие его открытия, давшего и первое научное объяснение причин, которые вызывают приливы Мирового океана.

Две тысячи лет, до Ньютона, люди безуспешно пытались раскрыть загадку прилива, загадку, которую еще в древности называли „могилой человеческого любопытства“.

«Великое море заката»

В одном из своих писем, относящихся к середине восемнадцатого века, Эйлер утверждал, что Аристотель, будучи в Индии с Александром Македонским, был настолько поражен приливом, что решил пойти по обнажившемуся дну вслед за отступавшей водой. Но тут отлив сменился приливом, вода быстро поднялась, сильное течение сбило Аристотеля с ног и он утонул в морской пучине.

Эйлер, не ошибавшийся в сложнейших вычислениях, на этот раз был не совсем точен. Философ умер спустя пять лет после похода в Индию: история античного мира донесла до нас истинную дату его смерти.

Однако никакого объяснения загадки прилива Аристотель не дал, даже его всеобъемлющий ум не в состоянии был ее раскрыть — это, как видно, и нашло свой отклик в легендах о гибели философа.

Представления о мироздании, о солнечной системе, которые были у Аристотеля и других ученых древности, не могли приблизить их к решению проблемы прилива.

В марте 325 года до нашего летоисчисления из Массалии ушел в далекое плавание корабль.

Массалия была колонией, жителем которой был и грек Пифей, ученый, обладавший обширными познаниями,— он изучал математику, астрономию, географию.

Отправившись в путешествие, он миновал „Геркулесовы столбы“ (Гибралтар), прошел вдоль западного берега Европы, пересек в самой широкой части Ла-Манш, обогнул остров, которому дал название Британия, и поднялся на север.

Греческий мореплаватель заметил, что приливы у берегов Британии отличаются и правильностью, и большой величиной. Но Пифей не ограничился этими наблюдениями, он был одним из первых, кто попытался установить связь между высотой прилива и фазами Луны.

Произошло это не только потому, что греческий мореплаватель был человеком более наблюдательным и образованным, чем его предшественники.

Накопленный столетиями опыт европейских мореходов был ограничен, за редкими исключениями, берегами „Великого моря заката“, как называли тогда Средиземное море.

Средиземноморье было родиной прославленных поэтов и ученых древности, там возникли первые в истории человечества научные школы. Но от многих морей земного шара „Великое море заката“ отличается одна особенность: приливы здесь настолько невелики, что практического значения для судоходства не имеют.

Совсем иная картина открылась перед Пифеем в Ла-Манше, у берегов Британии. Он увидел прилив во всем его могуществе. Тогда, возможно, и возникли у путешественника первые догадки о причинах этого величественного явления природы.

Открытия и заблуждения

Еще в седой древности ученые начали выяснять, каковы же отношения между Океаном и Луной.

После длительных наблюдений (это было во втором столетии до нашего летосчисления) астроном Селевк обнаружил, что есть зависимость между положением Луны и суточными неравенствами приливов.

Несколько десятилетий спустя древнегреческий философ, астроном и математик Посидоний уже возложил на Луну всю ответственность за изменения, которые происходят в приливах.

С исключительной для той эпохи точностью Посидоний определил расстояние от Земли до Луны и Солнца. По сравнению с этим более скромной кажется другая попытка астронома — найти численную зависимость между фазами Луны и приливами. Он был первым, кто решил выразить эту зависимость в точных величинах. И если ему, при всей его научной проницательности, не удалось решить задачу до конца, то главным образом потому, что он опередил эпоху: еще не накоплены были познания, астрономические и математические, без которых невозможно было решить задачу такой трудности.

Перелистаем теперь страницы, написанные в древнем Риме, на пороге первого тысячелетия нашей эры. Цицерон и Лукиан, Юлий Цезарь и Сенека — все они уже считают непреложной истиной, что приливом управляет Луна.

Подробно описал полусуточные приливы римский ученый Плиний, автор „Естественной истории“, которая вплоть до средних веков признавалась фундаментальной энциклопедией научных знаний. Плиний не сомневается, что между приливами и фазами Луны существует тесная связь.

Луна обладает сверхъестественными свойствами, полагает Плиний. Он создает своего рода культ Луны. Он объявляет ночное светило звездой нашей жизни. Когда Луна находится вблизи Земли, она „наполняет“ все тела, а когда удаляется — как бы „опорожняет“ их. Именно поэтому, разъясняет Плиний, ракушки растут вместе с ростом Луны и ее всепроникающую силу чувствуют и человек, и животные, и растения.

Плиний не остался единственным представителем „фантастического направления“ в литературе, посвященной приливам. Фантастика, отнюдь не научная, господствовала в этой области знаний многие столетия, вплоть до Ньютона и даже после него.

Есть две причины приливов, уверяли некоторые китайские писатели. Надо только понять, что Земля похожа на человеческий организм, и тогда все становится ясным. Вода есть кровь Земли, а приливы — это биение ее пульса. Такова первая причина. А вторая заключается в том, что приливы вызываются дыханием Земли.

С такими взглядами решительно был не согласен арабский ученый Захарий ибн-Магомет-ибн-Махмуд аль-Казвини, живший в XIII веке.

Причина „поднятия вод“, по его мнению, исходит от Солнца, которое действует на море, разрежает воду и она стремится занять больше места, чем занимала раньше, — это и заставляет воду подниматься.

Затем аль-Казвини обращает свой взор к Луне: „Что же касается волн в различных морях во время выхода Луны, то думаем так. Воды согреваются, расширяются, ищут себе большего простора и бегут волнами на морские берега... И так продолжается, пока Луна светит посредине неба. Но когда она начинает заходить, кипение воды прекращается, капли ее охлаждаются, становятся более плотными и возвращаются на места своего покоя... Вот объяснение прилива и отлива моря...“

Даже в середине XVII века французский ученый, основатель гидрографии Фурнье не питал еще никаких надежд, что кому-либо из живущих на Земле удастся понять причину приливов. Самую большую тайну морской стихии, восклицал он, „мы никогда не разгадаем, пока не обретем счастья очутиться на небе“.

Секретные таблицы

В одной исландской саге рассказывается о походе викинга по имени Торер Собака в устье Северной Двины. Было это в 1026 году. Распродав товары, викинг пополнил добычу ценностями, награбленными в местном храме, и отправился в обратный путь к норвежским берегам. Но тут случилось непредвиденное. Судно Торера Собаки встретилось в Горле Белого моря с приливным течением огромной силы и едва избежало гибели.

Чем шире развивались торговые связи, чем дальше уходили из родных гаваней моряки, тем больше, разумеется, им нужно было сведений об условиях плавания, о всех особенностях, отличающих одно море от другого.

У наших мореходов были обширные сведения о приливах. Из записок помора Ивана Новгородцева мы узнаем, например, что его соотечественники, освоившие путь от Оби до Балтики, составляли карты, лоции, учитывали влияние прилива на состояние льдов. Известно, что поморы использовали приливное повышение уровня моря в тех случаях, когда им надо было вытащить на берег свои суда.

Еще в VIII веке на Британских островах, по-видимому, впервые возникла мысль, что можно предсказывать приливы — предсказывать и время, когда они наступают, и высоту полной и малой воды. Не догадываться, не предполагать, а рассчитывать, основываясь на длительных, постоянных наблюдениях.

В самом деле, если явление повторяется изо дня в день, если ясна его зависимость от Луны, то не увидим ли мы (при том же положении Луны) через год, через пять, через пятнадцать лет в точности то же самое, что наблюдали сегодня?

Два десятилетия, днем и ночью, отмечал время прилива и уровень воды англичанин Хатчинсон в Ливерпуле. Обработав эти наблюдения, священник Гольден составил таблицу, которая, как утверждали современники, отличалась большой точностью. Впрочем, у Гольдена был предшественник: первую таблицу приливов на Темзе у Лондонского моста сделал Валлингфорд еще в 1213 году.

Составителей таблиц ждал успех. Вопреки всем сомнениям и опасениям оказалось, что действительно можно сравнительно точно предсказывать приливы на любой день там, где велись наблюдения. Достаточно было знать „возраст Луны“, то есть сколько суток прошло после новолуния, и таблица давала ответ, когда наступит полная вода. Словом, чего уж проще: взглянул капитан в нужную графу — и может спокойно, при полной воде вести свой корабль в Ливерпульский или Лондонский порт.

Но ни один капитан этого сделать не мог, таблицы строго охранялись от постороннего глаза. В глубокой тайне держались не только результаты наблюдений, но и приемы анализа и вычислений.

Промысел оказался весьма доходным, этого было достаточно, чтобы таблицы веками оставались секретными, переходили из поколения в поколение по наследству как личное достояние.

Ни Хатчинсон, ни Валлингфорд не были учеными. Их таблицы явились достижением практиков, достижением, которому, кстати сказать, суждено было редкое долголетие: таблицами пользовались сотни лет, с XIII до начала XIX века.

А для науки прилив продолжал оставаться загадкой.

Через тысячу восемьсот лет

Коперник не мог уже принять из рук друзей эту книгу, первое издание его труда „Об обращениях небесных сфер“. Его глаза, затуманенные смертельным недугом, не увидели строк, над которыми размышлял он долгими ночами, в крепостной башне, служившей ему многие годы и домом, и обсерваторией.

Какой научный подвиг совершил Николай Коперник — создатель гелиоцентрической системы мира, знает любой школьник. Но не все помнят, что до Коперника представления о Вселенной не менялись тысячу восемьсот лет, со времен Аристотеля.

Древнегреческий философ оставил потомкам учение о мирах. Земля в системе Аристотеля обладает неограниченной властью над мирами. По воле бога она центр Вселенной, она неподвижна и вокруг нее вращается вся небесная сфера. Планеты совершают свой путь по семи концентрическим кругам. Что же касается звезд, то они неподвижны, как Земля, и обращаются вокруг нее вместе с небесным сводом.

Систему Аристотеля целиком воспринял и развил знаменитый древнегреческий астроном Птолемей из Александрии, автор трактата „Великое построение“, получившего в переводе на арабский название „Альмагест“.

От второго века до шестнадцатого трактат Птолемея был единственным в своем роде сочинением, объединявшим итоги исследований и наблюдений ученых древности, все знания, накопленные астрономией. Пользуясь „Альмагестом“, можно было предвычислять положение небесных светил, предсказывать затмения Луны и Солнца — не будь этого, не смогло бы в те далекие времена развиваться искусство кораблевождения.

Но космология Аристотеля — Птолемея, ложная в своей сущности, исключала всякую возможность научного решения проблемы приливов Мирового океана. Только после революционного переворота в астрономии, после Коперника, и могла родиться наука о приливах.

Коперник жил в эпоху, которая ознаменовалась великими географическими открытиями. То было время, когда прокладывались новые морские пути, когда экспедиции пересекали просторы океанов в поисках неведомых земель, когда ветер странствий надувал паруса кораблей Христофора Колумба, Америго Веспуччи, Васко да Гамы, Фернана Магеллана. То были десятилетия, когда в застойной атмосфере феодальной Европы повеяло беспокойным духом буржуазного предпринимательства, требовавшего расширения торговых связей, заморских рынков, новых источников богатства.

Корабли, на которых уходили теперь в плавание искатели земель, были несравненно крупнее и прочнее, чем ладьи норманнов. Появились карты, по которым прокладывался курс, создавались астрономические таблицы для мореплавателей.

Свои первые шаги делала новая наука навигация, самыми тесными узами связанная с астрономией. И как ни оберегала церковь авторитет древней системы Аристотеля — Птолемея, дни ее уже были сочтены.

„Опасная, безрассудная, скандальная“ — так назвал книгу Коперника епископ Пизанский. В 1616 году конгрегация из одиннадцати доминиканцев и иезуитов приняла решение: учение Коперника считать нелепым и еретическим, на книгу его наложить запрет. Только два века спустя этот запрет был снят.

Узник инквизиции

Беспощадная рука, покаравшая посмертно Коперника, добралась и до Галилео Галилея — в 1633 году церковь вершила суд над великим флорентийцем.

Девять лет, до самой смерти, Галилей оставался узником инквизиции. И хотя он не был брошен за решетку, отцы католической церкви подвергли его не менее тяжкому испытанию. Они заключили его в духовную тюрьму. Ему запрещено было печатать свои труды, его лишили даже права говорить с кем-либо о движении Земли.

Профессор физики и военно-инженерного дела в Падуанском университете, первый человек, увидевший сквозь линзы телескопа ночное небо, Галилей рассказал о своих наблюдениях в сочинении „Звездный вестник“ — это название было скорее символическим, чем научным: открытия, о которых он писал, знаменовали собой торжество новых принципов изучения природы, нового мировоззрения.

Да, сами звезды подтверждали систему Коперника, любой человек мог заглянуть в телескоп и собственными глазами убедиться, что Луна — обычное небесное тело.

И самое главное: можно увидеть реальную, действующую модель коперниковой системы. Ио, Европа, Ганимед, Каллисто — четыре спутника Юпитера были открыты Галилеем. Как Луна вокруг Земли, они обращаются вокруг этой планеты — нужно ли более неопровержимое доказательство, что не только Земля может быть центром движения небесных тел!

Показательно, что капитальный труд Галилея, его „Диалог о двух главнейших системах мира, птолемеевой и коперниковой“, первоначально носил другое название: „Диалог о приливах и отливах“. Галилей предпринял попытку дать приливам объяснение, опирающееся не на умозрительные предположения и догадки, а на законы небесной механики, и создать научную теорию приливов.

Но для решения проблемы приливов, пожалуй, большее значение, чем астрономические открытия Галилея, имели его работы по механике, его исследования законов движения.

Изучая свободное падение тел и падение их по наклонной плоскости, он нашел, что все тела падают с одним и тем же

ускорением, направленным к центру Земли. Он разработал математическую теорию тяжести. С его именем связан важнейший закон механики — закон инерции. Теперь наука могла объяснить, как небесные тела, сохраняя скорость, миллионы лет двигаются по своим постоянным орбитам. Открытия „узника инквизиции“ подготовили рождение ньютоновой теории всемирного тяготения.

Шестьдесят в квадрате

Нашим современникам хорошо запомнилось начало космической эры, день, когда на околоземную орбиту вышел первый искусственный спутник, созданный руками советских людей.

Далеко не все знают, что примерно за три века до этого Ньютон произвел необходимые вычисления, определил варианты орбиты спутника, его начальную скорость. Он и технически обосновал свой проект. Ньютон предложил установить на вершине высокой горы огромное орудие. Ядро, которое вылетит после выстрела из его ствола, и станет спутником нашей планеты.

Спутниками Ньютон начал интересоваться задолго до того, как задумал этот проект. Но то были не искусственные, а естественные спутники планет — Юпитера, Сатурна, Земли.

Изучая их, он пришел к выводу, что спутники обращаются вокруг своих планет под воздействием силы притяжения и что Земля не является в этом смысле исключением: она тоже притягивает к себе Луну — своего естественного спутника — и тем самым заставляет ее вокруг себя двигаться.

Рассказ об упавшем яблоке (сохранились доказательства, что люди слышали этот рассказ из уст Ньютона), которое навело ученого на мысль о всемирном тяготении, относится к тому времени, когда ученый жил у себя на родине, в небольшом местечке Вулсторп. Молодой бакалавр, недавно закончивший Кембриджский университет, уехал домой, спасаясь от небывалой эпидемии чумы, которая за один лишь год унесла в английской столице больше 30 тысяч жизней.

Сельская тишина, вынужденное одиночество, безмятежный покой — все в Вулсторпе располагало к размышлениям. Там возникли идеи, приведшие Ньютона к великим открытиям в физике и математике, там были заложены и основы закона всемирного тяготения.

Ньютон искал причину, которая вызывает движение планет по эллиптическим орбитам. Он пришел к заключению, что такой причиной может быть только сила притяжения к Солнцу и что каждая планета обладает также собственным источником сил притяжения. Но как действует эта сила?

Историки науки предполагают, что ход рассуждений Ньютона был примерно таким... Ученый анализировал закономерности движения Луны. Очевидно, что центробежные силы

увлекли бы ее в межзвездное пространство, если бы сила притяжения не удерживала ее на орбите, не заставляла ее стремиться к Земле.

Вот упало яблоко... Как далеко распространяется действие силы, которая притянула его к Земле? Может быть, она достигает и Луны?

Не тождественны ли эти силы — и та, которая принудила упасть яблоко, и та, которая удерживает Луну на орбите? И как можно математически выразить соотношение между той и другой силами? На наш взгляд, сжато и точно осветил дальнейшие рассуждения Ньютона академик В. В. Шулейкин.

Сила притяжения всегда обратно пропорциональна квадрату расстояния. Поэтому за меру силы, которая действует на точку, лежащую в самом центре Земли, мы можем принять единицу, деленную на квадрат расстояния Земли от Луны. Так как последнее равно 60 земным радиусам, то нашей единицей силы будет

$$\frac{1}{60^2} = \frac{1}{3600} = 0,00027778.$$

Нетрудно в таких единицах выразить силы, действующие на самую близкую к Луне и на самую отдаленную от нее точку земной поверхности. В первой она будет, очевидно, равна

$$\frac{1}{(60 - 1)^2} = \frac{1}{3481} = 0,00028727,$$

так как расстояние ее от Луны равняется 60—1, то есть 59 земным радиусам.

Во второй же, отстоящей на расстояние 60+1, то есть 61 радиуса,—

$$\frac{1}{61^2} = \frac{1}{3721} = 0,00026875.$$

Отсюда нетрудно найти, насколько первая сила больше, а вторая меньше, чем средняя, действующая на точку в центре Земли

$$0,00028727 - 0,00027778 = 0,00000949,$$

$$0,00027778 - 0,00026875 = 0,00000903.$$

Обе разности, как видим, довольно близки между собой. Мы можем для простоты заменить их одной средней величиной: $0,00000926 = \frac{2}{60^3}$, то есть двойкой, деленной на куб расстояния от Земли до Луны.

Всеобщий магнетизм

Каждая материальная частица притягивает другую материальную частицу с силой, пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Мысль

о том, что существует притяжение, приходила ученым в голову и до Ньютона, но только он дал человечеству формулу вместо смутных догадок.

О силе притяжения говорил и Коперник. Шарообразность Земли он объяснял взаимным притяжением ее частиц, а центр Земли считал центром и лунной орбиты. Но познать закономерности тяготения он не смог, проникнуть в загадку прилива не пытался.

„Я люблю Коперника не за одни его высшие дарования, но и за ум, твердый и спокойный“. Эти слова принадлежат Иоганну Кеплеру, одному из самых замечательных астрономов, какие рождались на Земле. Он был убежденным и мужественным сторонником Коперника, но видел, что его система еще несовершенна, и отдал силы своего ума и таланта выяснению причин, вызывающих расхождения между этой системой и действительным движением планет.

Немецкому ученому тоже не чужда была гипотеза о притяжении. Он понимал, что движение планет зависит от сил, исходящих от Солнца. Но источник таких сил он видел в магнетизме. Кеплер полагал, что Солнце и вообще все небесные тела обладают свойством притягиваться друг к другу, как магниты.

Эта ошибочная идея уживалась у Кеплера, по-видимому, с другими, еще более глубокими заблуждениями. По словам Эйлера, Кеплер был склонен думать, что Земля (впрочем, и остальные светила тоже) представляет собой живое существо, а приливы и отливы есть не что иное, как следствие его дыхания.

Но если Кеплер и отдал дань наивным и архаическим взглядам, то вместе с тем он высказал о приливах ряд правильных суждений. Он не только поставил их в зависимость от притяжения Луны, но и сделал важное дополнение: он разъяснил, что при определении их периодичности надо исходить из лунных суток, а не солнечных. Кроме того, Кеплер установил, что у приливов есть такая периодическая повторяемость, которая отмечается примерно каждые 19 лет.

Он был первым, кто высказал предположение, что Луна притягивает и твердую оболочку Земли.

На морях, говорил Кеплер, можно воочию убедиться, что у Луны есть притягательная сила. Если бы Земля не удерживала моря, они излились бы на Луну. Когда она проходит над каким-нибудь местом океана, на поверхности его вод образуется волна. Подчиняясь притяжению, она следует вокруг Земли за движением Луны, но сравняться с ней в скорости не может и потому запаздывает.

Разумеется, в этих рассуждениях Кеплера не было ничего, что напоминало бы математическую четкость и строгость его законов движения планет.

И все же вклад Кеплера в астрономию так велик, что науч-

ную теорию солнечной системы нередко называют теорией Коперника — Кеплера. У немецкого ученого было преимущество, какого не имел никто. Он располагал богатейшими материалами наблюдений знаменитого датского астронома Тихо Браге.

Неподалеку от Копенгагена в проливе Эресунн есть маленький остров Вен. Там в последней четверти XVI века был сооружен замок Ураниборг. Никогда еще Европа не знала такой обсерватории, какую создал в Ураниборге астроном, изобретатель секстанта Тихо Браге, оснастивший ее превосходными для того времени инструментами.

Изо дня в день, с необычайной пунктуальностью и тщательностью Тихо Браге исследовал результаты измерений, изучал движение планет, звезд и комет. Итогом его двадцатилетнего труда были обширные астрономические наблюдения, самые точные из всех, какими располагала тогда наука.

В последние годы жизни Тихо Браге вынужден был покинуть Ураниборг. Он поселился в Праге, и там его ближайшим помощником стал молодой немецкий ученый Иоганн Кеплер. Год за годом он обрабатывал материалы, накопленные Тихо Браге, проделав колоссальное количество вычислений.

Если учесть, что логарифмов в то время еще не было, труд Кеплера не может не вызывать изумления. Беспощадно требовательный к себе, он не остановился перед тем, чтобы начать всю работу заново, когда, исследуя движение Марса, обнаружил неувязку. Оказалось, что между теоретическим положением Марса по гипотезе Кеплера и фактическим положением этой планеты по наблюдениям есть расхождение в восемь минут дуги. Ошибка была не столь уж значительной, можно было бы не обращать на нее внимания. Но Кеплер решил продолжить исследования. И случилось так, что небольшая ошибка сыграла великую роль в исторических судьбах науки: Кеплер открыл законы движения планет. Он сам потом написал, что если бы желал пренебречь восемью минутами долготы, то давно закончил бы труд, „но так как пренебречь невозможно было, то эти самые восемь минут повели к полному преобразованию астрономии...“

В конце концов Кеплер достиг того, к чему так упорно стремился. Он „измерил небеса“, три его фундаментальных закона дали точное описание сложнейших движений планет и их спутников.

Завеса поднимается

„Секреты“ приливов были недоступны Кеплеру, и это было неизбежно: всеобщий магнетизм, в который он верил, магнетизм, принадлежащий скорее алхимии, чем науке, — решительно ничем не мог тут помочь.

Законы Галилея и Кеплера послужили Ньютону математическими моделями: они позволили ему объединить и обобщить то, что было найдено его предшественниками, открыть закон всемирного тяготения, положить начало науке о небесной механике.

Его теория всемирного тяготения обосновала и подтвердила законы Кеплера и показала, что эти законы — лишь частные случаи более общих законов Вселенной. В целостной и стройной системе мироздания сила, которая заставляет тела падать на Землю, заняла свое место в едином ряду с притяжением, действующим между любыми двумя телами, в том числе и с лунно-солнечным притяжением, заставляющим наступать на сушу воды Мирового океана.

Ньютон приподнял завесу над тысячелетней тайной природы: от его книги „Математические начала натуральной философии“ (1687 год) ведет свое происхождение наука о приливах.

Мистические измышления о магическом влиянии Луны сменились реальными закономерностями и точными расчетами. Неоспоримые цифры показали, что по закону всемирного тяготения сила лунного притяжения на Земле превосходит солнечную.

Были раскрыты причины возникновения и изменчивости приливов, которые многие века ставили в тупик ученых. Ньютон установил закономерности главных приливных неравенств, установил их, опираясь на ряд уже известных астрономических неравенств — на годовое уравнение Луны, открытое Тихо Браге, параллактические неравенства в движении Луны и Солнца, найденные Иоганном Кеплером.

Наконец, систематизируя итоги своих исследований, он наметил основные положения теории равновесия — первой теории приливов. Но трудности, стоявшие на пути к созданию всеобъемлющей теории приливов, были настолько велики, что даже гению Ньютона оказалось не под силу справиться с ними.

„Не знаю, чем я могу казаться миру,— говорил Ньютон,— но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что от поры до времени отыскиваю камешек, более цветистый, чем обыкновенно, или красную раковину, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным“.

Воображаемый океан

Давно уже не появлялось в Париже книги, имевшей такой успех, как „Этюды о природе“. Новинка переходила из рук в руки, о ней говорили, спорили...

Бернарден де Сен-Пьер, автор книги „Этюды о природе“, вызвавшей живой интерес у читающей публики, был инженером по образованию, писателем и натуралистом по призванию.

В „Этюдах о природе“ Бернарден де Сен-Пьер изложил и свою лунную теорию приливов: течения и приливы океана, разъяснял он, происходят от таяния льдов на полюсах Земли. Само же таяние полярных льдов вызывается Солнцем, которое приближается то к одному, то к другому полюсу, и Луной — особенно в то время, „когда она полная, сильно нагрета“.

Мы рассказываем об этом не для того, чтобы привести еще один забавный эпизод. Как это ни удивительно, „Этюды о природе“ появились почти через сто лет после „Математических начал натуральной философии“ Ньютона. Бернарден де Сен-Пьер не был одинок в своем стремлении выдвинуть новую приливную гипотезу, не имеющую ничего общего с учением творца теории всемирного тяготения. В 1722 году вышел в свет трактат Барлоу „Точное описание приливов“, где возникновение приливов приписывалось такой причине, как давление Луны на верхнюю часть атмосферы.

Как не раз бывало в истории, великие идеи Ньютона, принесшие человечеству новое научное мировоззрение, далеко не всеми его современниками были оценены по достоинству. Не сразу получили признание принципы тяготения. Они вызывали недоумение даже у Гюйгенса, выдающегося голландского механика, физика и математика, автора знаменитого „Трактата о свете“, создателя маятниковых часов — изобретения, которое сыграло огромную роль в развитии техники.

Гюйгенс писал Лейбницу: „Что касается причины приливов, которую дает Ньютон, то она меня не удовлетворяет несколько, как и все другие его теории, которые он строит на своем принципе притяжения, который кажется мне нелепым“.

А несколько десятилетий спустя знаменитый французский ученый-энциклопедист Вольтер в письме из Англии иронизировал: „В Париже давление Луны на море вызывает отлив и прилив, в Англии же, наоборот, море тяготеет к Луне. У картезианцев¹ все достигается давлением, что, по правде говоря, не вполне ясно, у ньютонианцев все объясняется притяжением, что, однако, ненамного яснее“.

Но еще непонятнее, надо думать, было главное: почему сами приливы сплошь и рядом противоречат теории Ньютона? Ведь, будь его расчеты верны, можно было бы точно предсказывать и время, и величину прилива. А на самом деле так не получалось, если не всегда, то очень часто.

¹ Последователи французского философа, физика и математика Декарта; он считал, что приливы и отливы происходят в согласии с движением Луны, ибо она, проходя над планетой, «давит на воздух, окружающий Землю, который в свою очередь давит на воду, заставляя ее понижаться».

Надо, к примеру, узнать, когда в порту начнется прилив 4 ноября.

Теория говорит, что в восемь часов утра. Приходит в порт судно, ждет. Часы показывают восемь. И что же? Ничего похожего, все наоборот, наступил не прилив, а отлив.

Или другое. У берегов Европы, когда Луна в северном склонении (к северу от экватора), один прилив за сутки должен быть большим, а второй гораздо меньше. А факты никак не сходятся с научными предсказаниями. Разница между двумя приливами у берегов Европы в это время такая ничтожная, что ее почти невозможно вычислить.

Короче говоря, реальный прилив никак не укладывался в жесткие рамки абстрактных формул: то не совпадало время и полная вода наступала на несколько часов позже, то происходила путаница с величиной прилива и наибольшего уровня он достигал не тогда, когда его ждали.

Это было неизбежным следствием тех упрощений, на которые пошел Ньютон.

Его предшественники смотрели на прилив с морского берега. Ничего, кроме эмпирических наблюдений, это не давало.

Ньютон резко изменил точку зрения. Он как бы взглянул на прилив из космоса. Он охватил одним взглядом всю солнечную систему и взял Мировой океан в целом, без „подробностей“ — взял некий условный океан, и не на „всамделишном“ земном шаре, а на его схематической модели.

Этот воображаемый океан, во-первых, покрывал полностью всю Землю одинаковым слоем воды — во имя упрощения с географической карты были стерты материки и острова и выравнены глубины морей и океанов.

Во-вторых, вода в этом идеальном океане лишилась вязкости, не испытывала трения.

И в довершение всего важнейшей особенностью этого океана было его совершенно исключительное состояние — состояние покоя, равновесия: предполагалось, что водные массы не поддаются инерции и что в каждый данный момент сила их тяжести уравнивается действием приливообразующих сил. Поверхность Мирового океана принимает форму эллипсоида вращения (по виду он напоминает раскрученный волчок), который представляет собой геометрическую сумму двух эллипсоидов: один из них возник под воздействием приливообразующих сил Луны, другой — под воздействием приливообразующих сил Солнца.

Обычно теорию равновесия, или, как принято говорить, статическую теорию приливов называют теорией Ньютона. Это не совсем верно. Исходные предпосылки, основные положения — от Ньютона. Но он не изложил теорию в полном, завершенном виде. Довели этот труд до конца Даниил Бернулли и Маклорен, их и можно считать авторами статической теории.

Оба они были превосходными математиками, однако едва лишь Бернулли сделал попытку приблизиться к практике и дать научно обоснованный прогноз приливов, как со всей очевидностью обнажился разрыв между теорией и действительностью.

Это было, по сути дела, первой встречей науки с непокорным, своенравным океанским приливом — встречей не в чертежах и схемах, не в длинных цепочках отвлеченных уравнений, а под солнцем и ветром, у портовых причалов.

Отрицательный результат в науке — это тоже важный и необходимый результат. Неудача не только послужила толчком к пересмотру теории, но и показала, что наука не решит проблему приливов, пока у нее будет куда больше сведений о звездах и планетах, чем о колебаниях уровня океана.

Вечное движение

На побережье Атлантики, неподалеку от тех мест, где перед мореплавателем древности Пифеем открылась величественная картина океанского прилива, впервые было установлено несколько совсем несложных приборов для измерения колебаний уровня морской поверхности. Начались эти измерения в Бресте, крупнейшем порту Франции, в 1807 году.

Никогда еще наблюдения над приливами не проводились так обстоятельно и регулярно: они не прерывались ни на один день в течение пятнадцати лет.

После этого многочисленные таблицы, испещренные цифрами, легли на письменный стол Пьера Лапласа, члена Парижской Академии наук, — по его настоянию и были начаты измерения в Бресте.

Больше, чем кто-либо из последователей Ньютона, этот французский ученый потрудился для того, чтобы развить и усовершенствовать теорию всемирного тяготения, добиться, чтобы она заняла в космогонии то положение, какое и должно было принадлежать ей по заслугам.

Нет необходимости говорить здесь о научном наследии Лапласа, оно и поныне восхищает своей глубиной и многообразием. Скажем только, что наука обязана ему теорией Луны, да и не одна лишь наука, — теория Лапласа послужила основой для составления таблиц движения Луны, которые долгое время верно служили каждому штурману в морском походе.

В семидесятых годах XVIII века Пьер Лаплас выступил в Парижской Академии наук с докладом о приливах и отливах. Его работа в этой области привела к созданию новой, динамической теории приливов.

Океан, вечно колеблющийся, вечно движущийся, — и покой,

статика. Трудно найти что-либо более чуждое, непримиримое, чем жизнь океана и застывшее состояние уравновешенного покоя, которое ему пыталась приписать статическая теория приливов.

После Ньютона никто не сделал такого решительного шага, как Лаплас: он отбросил метафизическую идею равновесия, он вернул океану движение.

От космоса Лаплас обратился к Земле, вернее — к поверхности океана. Какую форму придают ей вынужденные колебания? Под вынужденными он понимал те колебания, которые вызываются притяжением Луны и Солнца. Установлено, что наибольшую величину прилив имеет тогда, когда эти небесные тела в зените, и наименьшую — когда они на горизонте. Какой бы участок на поверхности океана мы ни взяли, приливообразующая сила там будет час за часом меняться от наибольшей к наименьшей и наоборот, меняться одновременно с движением Луны и Солнца.

Периодичности приливообразующих сил Лаплас придавал самое серьезное значение. Оттого что эти силы периодически изменяются, и происходят колебательные движения водных масс.

Даже в тихую погоду море набегаёт на берег, волна за волной. Так же, по Лапласу, на просторах океана, от берега к берегу, пробегают и приливные волны. Но это сходство внешнее. От ветровой волны приливную отличает многое, начиная с того, что она гораздо больше, длиннее. Ветровая волна идет только по поверхности океана, тогда как приливная захватывает и глубинные слои, до самого дна. Она рождается в океане ежедневно, через каждые 12 часов 25 минут — рождается по лунному времени, поскольку приливообразующая сила нашего вечного спутника превосходит на Земле солнечную.

Итак, от неподвижности, статики — к движению, динамике. По этому пути, открытому динамической теорией Лапласа, продолжает идти современная наука, исследуя бесконечно разнообразные и сложные закономерности движения приливных волн.

Приблизившись к истине, Лаплас, однако, не подошел к ней вплотную. Полностью удовлетворить практические потребности мореплавания и его динамическая теория не смогла.

Главные причины были ясны самому Лапласу: чтобы избежать таких расчетов, которые потребовали бы непосильного труда, он вынужден был, вслед за авторами статической теории, иметь дело с условным океаном, который равномерно окружает Землю со всех сторон слоем воды постоянной глубины. Сколько же „поправок“ надо внести, чтобы выяснить действительные закономерности колебательных движений вод Мирового океана!

Путь приливным волнам преграждают материки с берега-

ми самых причудливых очертаний. Нет на Земле такого моря, у которого всюду одинаковая глубина. Нет моря, которое не отличалось бы от соседнего рельефом своего дна. А подводные впадины, ущелья, горные цепи? А силы инерции, трения, вращения Земли — как они влияют на движение приливной волны?

С тех пор как была создана динамическая теория, океанологи ответили на многие из этих вопросов. И занялись другими, еще не возникавшими в ту эпоху, когда трудился выдающийся французский ученый. Но идеи его и поныне верно служат науке о приливах.

Свободные волны

Перед ученым лежит стопка таблиц, его взгляд скользит по страницам, но нигде, ни в одной строчке он не находит тех цифр, которые хотел бы увидеть.

Что-то происходит с приливной волной, она сопротивляется всем попыткам примирить фактические наблюдения с такими, казалось бы, безупречными расчетными формулами.

Лаплас еще раз просматривает таблицы. Любая из них подтверждает, что в действительности все сложнее, чем в уравнениях.

Всеобъемлющий ум Лапласа нашел причины, из-за которых расчеты резко разошлись с наблюдениями. Мы уже говорили о значении, какое ученый придавал периодичности приливообразующих сил. Этим принципом и руководствовался Лаплас, когда выводил уравнения, описывающие движение приливной волны в океане. Он исходил из нескольких основных соображений:

периодичность колебаний волны должна совпадать с периодичностью самой приливообразующей силы;

если действует несколько сил, то каждую из них, а вместе с ней и колебания, которые она вызывает, надо учитывать отдельно;

затем, суммируя все составляющие колебания, можно получить и полную характеристику приливной волны.

Эти мысли Лапласа оказались чрезвычайно плодотворными. Да и точные уравнения, которые он вывел, принесли немалую пользу, позволили объяснить некоторые особенности прилива, связанные с движением небесных тел. Почему же все-таки французскому академику не удалось правильно рассчитать прилив, верно предсказать его время и величину?

Уравнения Лапласа были предназначены для вынужденной волны. А секреты прилива скрывались в движении свободной волны...

...Забудем на минуту о приливе, и вообразим, что в жаркий летний день мы вышли на катере в море. Из-за мыса показал-

ся белоснежный пассажирский лайнер. Как только он приблизился, катер подбросила набежавшая волна. За ней еще, еще... Вынужденные они или свободные?

Лайнер давно прошел, а море никак не успокоится, по-прежнему бегут белые барашки, бьются о борт катера, обдавая его брызгами. Конечно, не пройди корабль, волн вообще бы не было. Он затратил на них свою энергию, дал им первый толчок. Но потом они оторвались от него, их движение больше не зависит от его движения. Они превратились в свободные волны.

А для вынужденных волн наш лайнер слишком тихоходен. Если корабль вдруг наберет скорость самолета, тогда появится здесь вынужденная волна. Она будет двигаться „плечо к плечу“ с кораблем, не отставая от него и не обгоняя.

Замените лайнер Луной, Солнцем — и станет ясно, каким должно быть движение вынужденной волны лунно-солнечного прилива. Ей полагается покорно следовать за своими „повелителями“, небесными телами. Но как только одновременность движения теряется, приливная волна обретает полную независимость, становится свободной волной, избирающей путь и скорость по „собственному усмотрению“.

Когда Лаплас пришел к этому заключению, он увидел и причину, почему результаты наблюдений противоречат его уравнениям. Причина в свободных волнах, они-то и путают все расчеты. И это не случайное отклонение, не прихоть природы: в конце концов все вынужденные волны превращаются в свободные, и лишь в виде исключения, когда исследуется движение в открытом океане, уравнения для вынужденных волн сохраняют свое значение.

Как же прочитать „биографию“ свободной волны?

Она рождена в океане, и первое, что отличает, скажем, Атлантику от Северного моря, — это глубина. Разные глубины — разные скорости. Бывает, что скорости свободной и вынужденной волн совпадают, но гораздо чаще, в подавляющем большинстве случаев, этого не происходит.

Еще одно осложнение, очень существенное. На пути, по которому идет свободная волна, далеко не всегда нет препятствий. Как правило, ее движению мешают материки, острова. Она остается поступательной волной до тех пор, пока движется в открытом бассейне. Когда она подходит к материку, положение меняется.

Набегающая волна сталкивается с волной, отраженной от берега или от подводного порога, и тогда образуется уже совершенно новая волна — стоячая. У нее свой, особый характер. Поступательная волна растекается, как вода, выплеснутая из ведра на асфальт. Если же ваше ведро раскачалось, пока вы его несли, равномерные и однообразные колебания воды создадут стоячую волну, примерно такую же, какие бывают в океане.

„Объять необъятное“, охватить все многочисленные особенности приливных явлений — этого требовал Лаплас от теории приливов. Он считал, что она должна рассматривать прилив как сочетание свободных поступательных и стоячих волн, должна вместе с астрономическими причинами учитывать и другие условия и обстоятельства, влияющие на формирование приливной волны.

«Поверил я алгеброй гармонию»

Важнейший вывод Лапласа заключался в том, что никакая теоретическая формула не может обеспечить точного расчета приливной волны. И это не было признанием поражения науки, ее неспособности проникнуть в суть явления. Вывод Лапласа не обрекал на провал любые попытки найти решение проблемы — напротив, он сдвигал ее с мертвой точки.

Лаплас увидел выход в анализе, который будет опираться на два начала: теорию и наблюдения. Истину надо искать в сопоставлении рассчитанного прилива с реальным. Если в общие закономерности внести коррективы, полученные в ходе наблюдений, можно для каждого географического пункта безошибочно предсказывать и время, и величину прилива.

Тут мы сразу же сталкиваемся с вопросом: а как отделить общее от местного? Волну не разрежешь, не пропустишь через фильтр, предварительные расчеты не проверишь на лабораторном эксперименте.

Смелость и острота мысли Лапласа как раз и проявились в том, что он нашел способ „разрезать“ приливную волну. Ее размеры, скорость, периодичность зависят от многих сил и условий, она создается сложными колебательными движениями. Коль скоро эти силы и условия известны, можно выявить и более простые гармонические колебания, из которых складываются сложные.

„Музыку я разъял“, „поверил я алгеброй гармонию“, — говорил пушкинский Сальери. В искусстве „алгебра“ не в силах заменить вдохновения и таланта. У науки — иные законы. „Разъяв“ приливную волну, „поверив алгеброй“ ее гармонию, Лаплас совершил одно из тех открытий, которые увековечили его имя.

Странное, противоестественное, на первый взгляд, соседство: прилив и гармония... Что у них общего? Наука давно обнаружила гармоничность ряда физических явлений, гармоническому анализу посвящен один из основных разделов математики.

В окружающем нас мире гармоничны многие движения.

Нетрудно убедиться, что у звуковой волны есть своеобразная упорядоченность, повторяемость, ритмичность колебаний. Наука их „расщепила“, разложила спектр звуковой волны на

составные части. Хорошо известна волновая природа света, все знают семь цветов видимого спектра.

Когда вы передвигаете ползунок по шкале в поисках нужной радиостанции, вы пользуетесь сложным аппаратом. Вот вы поймали волну, послышалась музыка: из огромного спектра электромагнитных колебаний, идущих от разных станций, теперь выделен один его участок, и чем лучше он очищен от остальных составляющих спектра, тем яснее, четче слышимость.

Сама природа колебательных движений, неизменная периодичность, строгая повторяемость, ритмичность приливных волн сближает их с звуковыми или электромагнитными, обнаруживает их физическую общность. Но не было, нет, да и, вероятно, никогда не будет прибора для приливной волны, прибора, способного расшифровать, измерить простые колебания, из которых она образуется. И тем не менее океанология исследовала спектр приливной волны. Немного найдется в науке примеров, когда орудием спектрального анализа были не приборы, а теоретическая мысль, математические расчеты.

Предвычисляет машина

Минуло немало времени, прежде чем последователи Лапласа завершили то, что не успел сделать сам автор динамической теории.

Если до начала XIX века проблема изучалась в целом, то в дальнейшем исследования разбились на два главных направления: астрономическое — его представителей интересовали закономерности, с которыми связано время наступления прилива и его величина, и гидродинамическое, которое выясняло, как приливные волны распространяются в Мировом океане.

Английский астроном Джордж Эри занялся изучением приливной гидродинамики. Он создал каналовую теорию, но значение ее оказалось ограниченным. Зато другие его исследования имели серьезную ценность. Эри строил каналы, по-разному ориентированные на земном шаре, — строил, разумеется, только в схемах и чертежах. Изучая движение приливной волны в канале, он учитывал его глубину и ширину. Эри удалось вывести формулу, давшую соотношение между глубиной моря и скоростью распространения свободной приливной волны. Чем глубже море, тем больше размах приливных явлений. Так, при глубине сто метров скорость волны достигает тридцати метров в секунду, а длина этой волны — тысячи четырехсот километров. При глубине в тысячу метров скорость и длина увеличатся в три раза.

Волна суточного прилива при тех же глубинах будет в два раза длиннее волны полусуточного прилива.

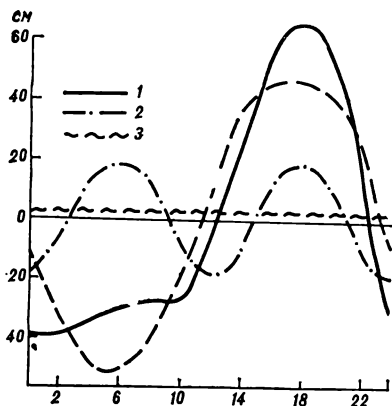


Рис. 9. Приливные колебания уровня на острове Байдукова.

Сплошной линией (1) показана наблюдаемая приливная волна. Составляющие: 2 — суточная и полусуточная, 3 — месячная.

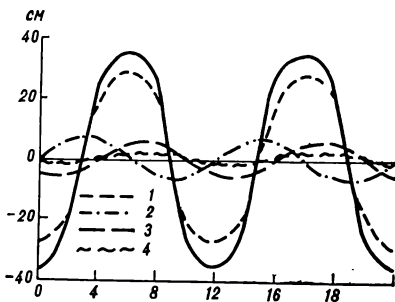


Рис. 10. Спектр полусуточных волн (остров Байдукова).

Сплошной линией показана суммарная полусуточная волна. Волны: 1 — M_2 , 2 — S_2 , 3 — N_2 , 4 — K_2 .

Лаплас в своих уравнениях для сплошной водной оболочки Земли учитывал воздействие вращения планеты. Его исследования в этом направлении продолжил выдающийся английский физик Уильям Томсон (он же лорд Кельвин). Он изучил влияние силы Кориолиса на движение свободной поступательной волны в бесконечно длинном узком канале и показал, что эта сила вызывает поперечные течения, пересекающие линии распространения волн.

Отклоняющее воздействие силы земного вращения сказывается, например, в том, что свободные приливные волны, миновав южные оконечности Америки, Австралии, Африки, поворачивают к северу. По тем же причинам приливы на побережье Франции сильнее, чем по другую сторону Ла-Манша, у берегов Англии.

В трудах Кельвина идеи Лапласа получили наиболее плодотворное развитие. Он разработал и применил на практике принципы, выдвинутые Лапласом, и предложил в 1867 году метод гармонического анализа. Тогда и открылась в науке о приливах новая глава. Она, в сущности, еще не дописана — меняются приемы, средства, но идеи, высказанные Лапласом и Кельвином, остаются незыблемыми: метод гармонического анализа лежит в основе современной системы предвычисления приливов.

Из спектра приливной волны Лаплас выделил прежде всего колебательные движения, вызванные лунно-солнечным притя-

жением. Как нарастают или ослабевают сами приливообразующие силы, что более всего характерно для их периодичности?

Меняется периодически расстояние между Землей и небесными телами, их склонение, местоположение на орбитах. Каждое из этих изменений имеет свой основной период: полумесячный, суточный и полусуточный. Те же названия — полумесячная, суточная, полусуточная — получили и астрономические, главные волны, которые входят в спектр приливной волны.

Когда океанолог начинает „поверять алгеброй“ гармонию спектра, он опирается на ряд математических величин. В Охотском море есть остров Байдукова. Спектральный „разрез“ прилива у его берегов изображен на рисунке, где отделены друг от друга суммарные полусуточные, суточные и полумесячные волны. Любая из них, в свою очередь, состоит из групп более простых гармонических колебаний.

На следующем рисунке показана только одна группа — полусуточных волн. Теория утверждает, что преобладающее место в ней принадлежит четырем волнам, на долю которых приходится восемьдесят три процента всех волн группы.

Вы встретитесь дальше с условными обозначениями волн — например, M_2 или S_2 . Они происходят от английских слов „Moon“ (Луна) и „Sun“ (Солнце). А цифра „2“ свидетельствует о том, что волна повторяется дважды в сутки.

Периодичность волны M_2 связана с лунными сутками, которые больше солнечных и равняются 24,84 часа. За это время взаимодействие приливообразующих сил нашего спутника и центробежных должно дать два прилива и два отлива, следовательно, на один цикл приходится половина времени — 12,42 часа. Это и есть период главной лунной полусуточной волны M_2 .

Но, как говорится, чем дальше в лес, тем больше дров. Дело усложняется из-за того, что лунные сутки не являются абсолютно постоянной величиной. На их длительность влияет многое: эллиптичность орбиты Луны, изменения в ее наклоне к плоскости экватора, возмущающее воздействие Солнца. Такие неравенства в движении ночного светила отражает волна с периодичностью в 12,65 часа. Ее название — большая лунная эллиптическая (N_2).

Законам небесной механики обязаны своим существованием и остальные две волны. Одна из них (ее период 11,96 часа) зависит от изменений в склонении Луны и Солнца. Это волна K_2 — лунно-солнечная деклинационная. А вторая, самая „простая“ из всех, называется главной солнечной. Ей принадлежит та часть прилива, которая вызывается Солнцем. И период волны S_2 точно соответствует половине солнечных суток — 12,00 часам.

Но гармонический анализ, даже если ограничиться только полусуточной волной, этим не исчерпывается. Чтобы получить расчетную формулу прилива, Лаплас предложил вводить по-

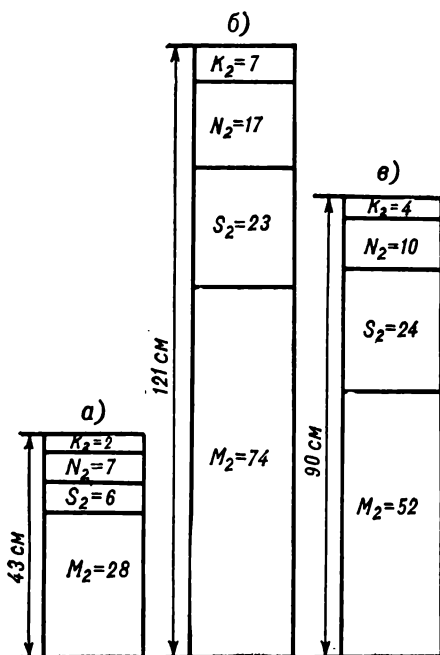


Рис. 11. Спектры полусуточных волн.

а — остров Байдукова, *б* — залив Де-Кастри, *в* — теоретический.

правочные коэффициенты — перебросить мостик от теоретических расчетов к реальным приливным колебаниям океана. Если у исследователя нет конкретных данных, полученных во время наблюдений, он не найдет и поправочных коэффициентов. Если же наблюдения велись, прилив в любом географическом пункте может быть предвычислен с большой точностью.

Достаточно сопоставить спектры полусуточной волны на острове Байдукова (Охотское море) и в заливе Де-Кастри (Японское море), чтобы убедиться, как велика роль местных географических условий. Они сказываются и на величине самой волны, и на соотношении волн, составляющих ее спектр. Не вдаваясь в подробности, назовем только основные из этих условий. Площадь Охотского моря в полтора раза больше площади Японского, а средняя глубина в два раза меньше. Длина береговой линии Японского моря на три тысячи километров меньше. Хотя по площади и длине береговой линии Японское море значительно уступает Охотскому, оно глубже и объем его водных масс в полтора раза больше.

По-разному моря и принимают приливную волну. Охотское весьма расположено к ней, тут приливы у Шантарских островов достигают восьми метров, а в Пенжинском заливе превышают тринадцать метров. В Японском же море приливы несравненно меньше — от сорока до шестидесяти сантиметров.

Все это наводит на мысль, что каждый морской бассейн напоминает собой набор естественных камертонов. Природные особенности водоема настроили эти приливные камертоны на определенные колебания. На „свой“ они отзываются, „чужие“ не находят у них никакого отклика.

Пока мы не выходили за пределы идей, выдвинутых Лапласом, прогноз приливов представлялся делом относительно простым. Но едва лишь мы с теоретических высот опустимся на землю и обратимся к цифрам, все предстанет в ином свете. Когда Кельвин в конце прошлого века завершил разработку метода гармонического анализа, его требования могли показаться неосуществимыми.

Одно из них сводилось к тому, что необходимы ежечасные наблюдения в течение трехсот шестидесяти девяти суток. Другое было, пожалуй, еще труднее: предстояло производить вычисления для девяносто трех слагаемых полной расчетной формулы высоты прилива. И это — на каждые сутки, для каждого порта!

Вероятно, метод не получил бы так быстро широкого, всеместного применения на практике, если бы сам Кельвин не создал машину для предвычисления приливов, которая позволила на много ускорить работу.

Затем Дж. Дарвин еще более упростил и улучшил приемы гармонического анализа, сократив количество наблюдений за колебаниями уровня до тридцати или пятнадцати суток.

В тридцатых годах нашего столетия океанологи Дудсон и Варбург предложили штурманский метод, который дает возможность находить гармонические постоянные главных волн по совсем короткой серии наблюдений — не более двух суток.

Достоянием теории остались и девяносто три слагаемых формулы. Опыт показал, что достаточная для мореплавания точность достигается, если ограничиться восемью — одиннадцатью, а иногда и только четырьмя основными составляющими приливной волны.

Окончательное избавление от технических трудностей гармонического анализа принесла кибернетика. Если поручить электронно-счетной машине, она предвычислит приливы для какого-нибудь порта на целый год, не пропустив ни одного дня. И понадобится ей для этого не больше часа.

Глава 4

С ПРИЛИВОМ — В АТАКУ



Его звали Чан Хынг Дау...

Не найдется, вероятно, вьетnamца, который не слышал бы, чем он себя прославил.

Чан Хынг Дау — выдающийся полководец, отразивший в XIII веке нападение чужеземных завоевателей.

Об одной из его славных побед и пойдет у нас речь.

Установив свое господство над китайским народом, монгольские властелины вознамерились покорить и вьетnamцев. На них двинулась пятисоттысячная армия под предводительством Хоанг Тхао, внука Чингисхана.

На Вьетнам монголы начали наступать и на суше, и с моря. Их корабли угрожали устью реки Бах-Данг.

И тогда у Чан Хынг Дау возник хитроумный замысел разгрома вражеского флота — замысел, в котором решающая роль отводилась приливу.

Вьетnamцы отлично знали, что приливная волна изменяет уровень воды в устье Бах-Данга. Монголам это было неизвестно, и они попались в ловушку.

По приказу Чан Хынг Дау в джунглях срубили сотни стволов. Рубили только „лим“ — так по-вьетnamски называется железное дерево. Из него воины сделали сваи и устроили из них заграждения на дне реки. Сваи были поставлены с таким расчетом, чтобы полная вода целиком прятала их от глаз врагов.

Весной 1288 года произошло историческое сражение с неприятельским флотом. Воины Чан Хынг Дау искусно выполнили тактический план, задуманный их полководцем.

Когда начался большой прилив и пятьсот судов противника пошли вверх по реке, вьетnamцы отступили, заманивая монголов на полосу заграждений.

Но как только с отливом вода схлынула, бойцы Чан Хынг Дау обрушили на врага удары с прибрежных гор и реки.

Разгорелся бой. Монголы отбивали одну атаку за другой.

Но их корабли, застрявшие между заграждений, были обречены. Они не могли сдвинуться с места, борта и днища были пробиты заостренными верхушками свай.

Меткие стрелки Чан Хынг Дау без промаха поражали монголов на неподвижных судах. Вражеский флот потерпел сокрушительный разгром, а командующий был захвачен в плен.

Неожиданный противник

Поход в Индию стал последним походом Александра Македонского.

Честолюбивый полководец, мечтавший силой оружия создать „мировое“ государство, весной 327 года до новой эры вторгся со своей армией в Пенджаб, преодолел Гиндукуш и продолжил поход, намереваясь полностью завоевать Индию.

По замыслам Александра Македонского завоеванием Индии должно было завершиться образование „мирового“ государства. В этой стране его воинам предстояло достичь берегов реки Океан, будто бы обтекающей Землю со всех сторон. По географическим представлениям того времени, у этих берегов был „конец света“. Овладев Индией, Александр Македонский и стал бы властелином всего „мира“ — начинался он, как полагали древнегреческие географы, у Гибралтара, а кончался на востоке Индии. Впервые за все годы полководец потерпел неудачу, армия отказалась ему повиноваться. С частью войск Александр Македонский отправился в обратный путь по реке Инд. Он снова стремился к Океану...

Люди, жившие на берегах Инда, утверждали, что он впадает в великое южное море. Может быть, они считали морем, предположил Александр Македонский, тот самый Океан, который обтекает Землю? Не там ли находится эта река, из которой встает Солнце и в которую оно опускается? Пусть не удалось подойти к ней на востоке, теперь появилась надежда добраться до „конца света“ на юге.

Но в дельте Инда полководец неожиданно столкнулся с новыми противниками. У неприятеля не было ни конницы, ни пехоты, ни боевых кораблей. А между тем ему удалось не только рассеять флотилию Александра, но даже уничтожить часть судов.

Местом „битвы“ стал западный рукав Инда, а „поражение“ войскам завоевателя нанесла приливная волна высотой в четыре метра. „Битве“ предшествовал сильный шторм. Флотилии пришлось укрыться от него в боковом протоке. И тут глазам изумленных воинов открылось зрелище, которого они никогда еще не видели. Внезапно вода начала уходить и корабли оказались на суше. Потом, когда она вернулась, выяснилось, что многие из них повреждены и не могут выйти в море.

Собрав уцелевшие суда, полководец занялся наблюдениями над приливом. Выяснилось, что подъем воды начинается вско-

ре после восхода солнца. С отливом флотилия двинулась вниз по Инду. Так и не обнаружив реки, из которой встает Солнце, воины Александра Македонского вышли на океанские просторы и, совершив переход по бурным волнам, проложили морской путь из Индии в Малую Азию.

Прошло почти три века, неожиданный противник, не имевший ни войск, ни оружия, принудил к отступлению другого полководца.

Вот как он сам вспоминает об этом: „В ту же ночь случилось полнолуние; а этот день обыкновенно вызывает в Океане сильнейшие приливы, что нашим не было известно... военные корабли, на которых Цезарь организовал переправу войска и теперь приказал вытащить их на берег, заливало волнами, и стоявшие на якоре грузовые бросало в разные стороны бурей, так что у нас не было возможности ни управлять ими, ни подавать, где нужно, помощь“. (Юлий Цезарь „Записки о галльской войне“.)

Так прилив обошелся с римскими галерами, на которых в 55 году до новой эры Юлий Цезарь предпринял первую попытку высадиться в Британии.

Ночью римские легионы на восьмидесяти судах переправились через пролив. На высоком берегу их встретили вооруженные британны. Они преследовали неприятеля, пока галеры шли по морю в поисках более удобного места высадки. Наконец, корабли подошли к низкому и плоскому берегу. И здесь началось сражение.

Подтянув галеры с метательными машинами, римляне обрушили на британские боевые колесницы и конницу град стрел и камней. Бросились в атаку легионеры Юлия Цезаря, их копья и мечи обратили защитников острова в бегство.

Тогда-то полководец и приказал вытащить суда на сушу, окружить их полевыми укреплениями. Это было его роковой ошибкой. Через несколько часов прилив затопил низкий берег, с моря поднялся сильный ветер — и Юлий Цезарь лишился своей флотилии. Шестнадцать галер было разбито, остальные повреждены.

Нечего было и думать о том, чтобы продолжать наступление. Юлию Цезарю пришлось перейти к обороне. Часть его легионеров отражала атаки британцев, а другие, собрав обломки галер, чинили уцелевшие суда. Их отправляли через Ла-Манш в Галлию за новым строительным материалом.

Юлий Цезарь был вынужден примириться с неудачей. Восстановив флотилию, разгромленную морским приливом, римляне покинули берега Британии.

Корабли открывают огонь

Давно миновали времена галер. Прилив вошел в расчеты тех, кто вел к чужим землям эсминцы и линкоры.

Начиная в конце прошлого века войну с Китаем, японские генералы и адмиралы решили, что взять Порт-Артур с моря очень трудно. С этой стороны он был защищен более мощными укреплениями, а вход в гавань преграждали минные поля.

Был разработан план захвата Порт-Артура с суши — там укрепления были слабее, да и гарнизон не ждал оттуда врага.

Японская армия, чтобы нанести удар с тыла, должна была высадиться на Ляодунском полуострове. Но когда корабли достигли намеченного района, выяснилось, что ближе пяти — семи километров подойти к берегу они не могут. И от кораблей к суше был переброшен приливный „мост“.

Когда вода прибывала, от транспортов отваливали шлюпки и катера, перевозившие десантников. А во время отлива японские офицеры гнали своих солдат к берегу по морскому дну, по жидкому илу, затягивающему человека, как болотная топь.

Пока шла переброска войск, вступил в действие и флот. Сбить китайский гарнизон с толку, произвести как можно больше шума и исчезнуть — вот и все, что требовалось от кораблей, направленных в Порт-Артур. Дождавшись прилива, отряд японских миноносцев без всяких затруднений прошел по большой воде над минными заграждениями, ворвался в гавань и открыл ураганный огонь. А затем армия, подошедшая с полуострова, захватила крепость.

Минули десятилетия и туда же, на Дальний Восток, пришли военные корабли другой страны.

...На море полный штиль. Первые лучи солнца разгоняют туманную дымку, повисшую над заливом.

Низкая бесшумная волна плавно скользнула на песчаный откос. Назад она не ушла, едва заметно поднялась выше, пошла дальше, будто кто-то невидимый подталкивал ее снизу.

Вот уже затоплен весь откос. Там, где обсыхал под солнцем плавник, теперь вода по пояс человеку, но она все еще прибывает, заливая отмели, поднимаясь к настилам портовых причалов.

Таким же спокойным было море и в это утро, так же безостановочно, беззвучно надвигалась на берег Инчхона могучая приливная волна. Но едва лишь наступил рассвет, в тишину ворвался гул моторов, лязг и скрежет оружия. На американских кораблях готовились к штурму.

Летом 1950 года южнокорейские войска были разбиты. Над ними нависла угроза полного разгрома. Тогда в Вашингтоне решено было высадить на корейской земле морской десант.

Под покровом ночи к Инчхону подошла эскадра: линкор, шесть авианосцев, семь крейсеров, сорок миноносцев, отряды десантных судов. Дальнебойные орудия кораблей были направлены на Инчхон. Морская пехота в полном боевом снаряжении ждала сигнала к атаке.

Вскоре после рассвета закипела вода под корабельными винтами. К побережью двинулись танкодесантные суда.

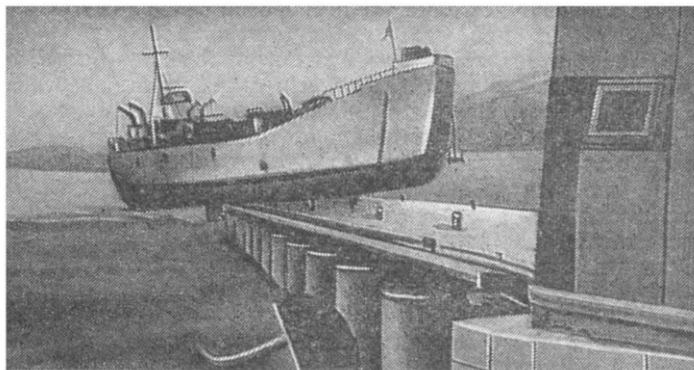


Рис. 12. Танкодесантный корабль, выброшенный во время отлива на причал в Инчхоне.

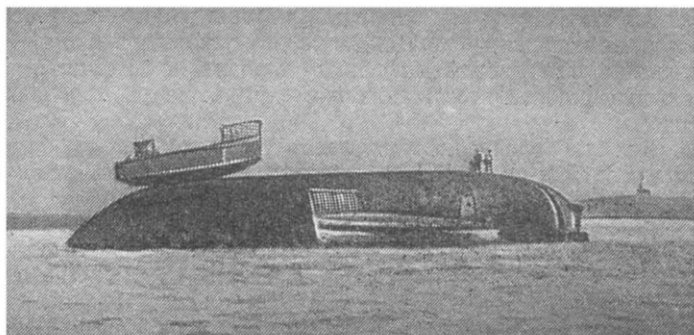


Рис. 13. И здесь прилив напомнил о себе американцам...

На подступах к Инчхону капитанам кораблей с большой осадкой приходится быть очень осторожными. Попастъ в порт можно только по „каналу летающих рыб“ — узкому фарватеру, пересекающему обширное мелководье. На много миль вокруг тянутся длинные песчаные отмели, во время отлива они выступают над водой, и тогда здесь не пройти ни одному, самому легкому суденышку.

Не было никакой надежды, что десантным отрядам удастся благополучно проделать свой путь по мелководью в часы отлива. В штабах тщательно учитывали все колебания уровня, смену течений. Даже посылали в разведку самолеты, чтобы с воздуха, на бреющем полете определить величину приливных волн на подступах к Инчхону.

Но высадку десанта пришлось отложить до 15 сентября.

И это зависело не только от переброски сил, от снабжения, от готовности авиации, флота, сухопутных частей.

Чтобы захватить Инчхон, американцам нужен был большой прилив. И, кроме того, необходимо было, чтобы он совпал не с ночным, а со светлым временем суток. Этого они и ждали... Наконец, пришло 15 сентября: прилив в Инчхоне превышал семь метров, полная вода наступила около шести часов утра.

Утром удалось высадить только передовые отряды. Затем отлив заставил прекратить военные действия. И лишь в конце дня, когда снова наступил прилив, были переброшены главные силы и начался общий штурм корейского порта.

Но не всем удалось высадиться на берег. Прилив снова сменился отливом, и он по-своему „разместил“ десантные суда — об этом неопровержимо свидетельствуют фотографии.

Приливная тактика

Об этом знали немногие. Маленькие суда незаметно покидали английские порты и уходили в Ла-Манш. Ночью они останавливались вблизи французского берега, у каждого судна — свой участок. Огни погашены, люди говорят вполголоса... Едва слышный плеск весел, шлюпка скрывается в непроглядной тьме.

Все это происходило под носом у гитлеровцев. Любая ночь для людей, сядившихся в шлюпки, могла стать последней ночью.

Шлюпки шли к местам, известным своими приливо-отливными течениями. За ночь надо было успеть сделать ряд промеров. Затем эти данные наносились на карты. Океанологи знали, что картам, которыми располагало командование англо-американских морских сил, нельзя доверять. Карты были довоенные, а для нормандского побережья четырехлетняя давность — срок немалый. Там, где сильны приливо-отливные течения, постоянно меняется рельеф дна. Морьякам мели всегда доставляют беспокойство, но здесь они особенно опасны: перемещаются, исчезают, появляются там, где их никогда не было.

Иногда, во время отлива, люди высаживались из шлюпок на отмель. Их интересовала береговая полоса, лежащая выше малой воды. Какие следы там остались от прилива, как „обработал“ он отмель? Сведения, которые на первый взгляд казались несущественными — возвышенности, промоины, состояние грунта, — могли оказаться чрезвычайно полезными, когда будет получен приказ начать операцию „Нептун“.

Предстояло назначить день „Д“ — день вторжения. Сначала он был намечен на май, потом перенесен на июнь. Если бы удалось заглянуть в секретные протоколы, рапорты, расчеты, едва ли не в каждом из них мы встретили бы слово „прилив“. Именно он, прилив, диктовал в конечном счете условия и сроки,

когда должен прийти в движение весь громоздкий военный механизм операции „Нептун“.

Удар был нацелен на побережье Сенской бухты. Этот участок был очень благоприятен для высадки десанта, особенно потому, что гитлеровское командование не придавало ему серьезного значения и не в состоянии было выделить сюда значительные силы. Но были здесь и свои трудности: дважды в сутки берега Нормандии затопляет прилив, величина его достигает восьми метров. А при отливе море отступает на четырехста метров, оставляя открытой широкую полосу влажной песчаной отмели.

Какой же прилив предпочесть: самый большой или самый низкий, дневной или ночной?

После долгих обсуждений офицеры сухопутных войск, флота и авиации сошлись на том, что день „Д“ должен отвечать трем требованиям: большой прилив; полная вода вскоре после рассвета; ясная сухая погода, слабая облачность — чтобы флот при ночном переходе через Ла-Манш смог воспользоваться „удобствами“ лунного освещения.

Были подняты материалы многолетних наблюдений, и в штабах убедились, что все эти условия наступают обычно в начале июня. И тогда главнокомандующий союзными экспедиционными силами Эйзенхауэр назначил начало операции „Нептун“ на 5 июня.

Но тут снова разгорелись споры, теперь уже из-за часа „Ч“. Десантники хотели высаживаться ночью, едва начнет рассветать, чтобы захватить противника врасплох. Флот предпочитал день, чтобы корабельная артиллерия могла вести точный прицельный огонь. Авиационные генералы были такого же мнения. В крайнем случае, соглашались командующие этими родами войск, начинать можно утром, когда будет достаточно светло.

Тем временем выяснилось еще одно обстоятельство. По данным разведки, немцы приступили к установке противодесантных заграждений. Размещали их на отмели, между границами полной и малой воды, с расчетом, что прилив полностью скроет их от бойцов армии вторжения.

Представители флота встревожились. Преодолеть препятствия при полной воде не удастся. Заграждения могут пробить днища десантных судов, они подорвутся на минах и затонут, погибнут люди, будет потеряно вооружение. Надо было принимать окончательное решение: либо отказываться от высадки при полной воде, переносить час „Ч“, либо... И тогда англо-американским командованием была разработана своего рода приливная тактика.

В состав частей первого эшелона вводились новые подразделения — команды подводно-подрывных работ. Они должны были проделать в противодесантных препятствиях проходы для судов. Было ясно, что команды могут справиться с задачей

только в том случае, если заграждения еще не будут затоплены приливом и будет достаточно светло, чтобы бойцы могли приступить к делу.

Командованию десантников пришлось окончательно распрощаться с надеждой на высадку при максимальном уровне воды. Теперь тактика использования прилива строилась на других началах. Было принято замысловатое решение: приступить к высадке *не раньше*, чем через полчаса после рассвета, и *не позже*, чем через полтора часа после него.

Час „Ч“ был по-прежнему приурочен к приливу, но уже не к полной, а к *малой* воде. По плану, спустя некоторое время после отлива, высаживались команды подводно-подрывных работ. А позже, когда прилив достигнет среднего уровня, предполагалось начать штурм побережья.

Армии вторжения не удавалось воспользоваться всеми преимуществами, которые давал прилив. Генералы готовы были пожертвовать скрытностью и внезапностью действий передовых отрядов, лишь бы не ослаблять мощь артиллерийского огня и воздушных бомбардировок.

«Люди-лягушки» и адмирал Кранке

Генералу-фельдмаршалу Роммелю, назначенному командующим группой армий особого назначения, Гитлер поручил оборону северного побережья Франции. Весной 1944 года военная обстановка в этом районе не вызывала большой тревоги у Роммеля. Он был уверен, что вторжения союзников в ближайшее время ждать не приходится.

Уверенность Роммеля, бывалого и осторожного военачальника, не в последнюю очередь основывалась на твердом убеждении, что приливы на французском побережье между 5 и 8 июня „не подходят“ для вторжения.

Не стоит приписывать одному Роммелю заблуждения и просчеты. Главнокомандующий вооруженными силами фашистской Германии на западе Рундштедт категорически отвергал всякие предположения, что освобождение Франции может быть начато со стороны Нормандии. Если союзники и решатся на вторжение, считал Рундштедт, они это сделают непременно в районе Па-де-Кале, в самой узкой части пролива. Англию отделяет здесь от Франции всего тридцать два километра.

Пока в гитлеровских штабах строили планы насчет Па-де-Кале, по ту сторону Ла-Манша, в укромных местах, на английских пляжах, похожих на нормандские, тренировались „люди-лягушки“. Так их прозвали, возможно, за то, что на занятиях они не вылезали из воды. В каждом отряде было семь моряков и пять саперов. „Люди-лягушки“ учились пробивать бреши в противодесантных препятствиях: заграждения, подобные немецким, были построены на английском берегу. Когда

наступал прилив, а он тоже был почти такой же, как в Нормандии, над водой поднимались столбы взрывов.

Опытные саперы без особых затруднений могли бы справиться и с более прочными препятствиями, чем немецкие. Но „людям-лягушкам“ приходилось все время помнить о приливе. Он крайне осложнял их работу. Надо было действовать с предельной быстротой, небольшая задержка могла бы стоить людям жизни.

Высадиться „лягушкам“ предстояло там, где глубина была шестьдесят сантиметров, меньше не позволяла осадка судов. Каждые пятнадцать минут уровень воды поднимается на тридцать сантиметров. Через полчаса глубина у заграждений будет один метр двадцать сантиметров, при задержке еще на пятнадцать минут — полтора метра, а это уже опасная глубина для бойцов с тяжелым снаряжением. Предосторожность требовала, чтобы отряды при прорыве подводной полосы препятствий ограничились тридцатью минутами — такой срок им предоставлял прилив.

Как и Роммель, адмирал Кранке, командующий группой военно-морских сил „Запад“, не видел в начале июня причин для беспокойства. Такую уверенность адмиралу тоже внушал прилив. Он не сомневался, что высота прилива слишком мала для действий десантных судов. К тому же в районе Ла-Манша ухудшилась погода, разразился шторм. За два дня до начала операции „Нептун“, 4 июня, штаб адмирала Кранке объявил, что „в данный момент нам не может угрожать крупное вторжение“.

Еще на две недели!

Низкие, набухшие дождем облака затянули небо, ветер гнал в пролив крутую океанскую волну. Прогноз погоды не предвещал ничего утешительного.

Днем 4 июня в штабе английской военной базы Плимут состоялось экстренное совещание. Перед высшими офицерами союзных вооруженных сил снова с неожиданной остротой встал вопрос о дне „Д“. Из-за плохой погоды он уже был перенесен с 5 июня на 6-е. Но если и через день погода не улучшится?

Участники совещания были не на шутку встревожены. Речь шла о том, что операцию „Нептун“, может быть, придется отложить на две недели; только через четырнадцать дней наступит нужная фаза Луны, большой прилив опять будет совпадать с подходящим временем суток, с рассветом. Но флот и войска уже сосредоточены в исходных пунктах, и нет никаких шансов, что в течение долгого времени удастся сохранить это в тайне от немецкой разведки. Плану „Нептун“ угрожал полный провал.

Оставались, правда, в запасе 7 и 8 июня. Но с каждым днем прилив уменьшался и наступал позже. Это означало: либо надо приступить к высадке через два с половиной — три часа после рассвета, либо начать штурм, сохраняя скрытность действий, при неблагоприятных условиях прилива.

В конце концов, после долгих колебаний и сомнений, было принято решение не переносить дальше день „Д“, тем более, что у синоптиков появились надежды на уменьшение облачности и ослабление ветра.

Шесть тысяч десантных и транспортных судов стояли наготове в английских портах. Штабным офицерам не верилось, что флоту удастся незаметно для врага проскользнуть через пролив и что немецкие радиолокационные станции не обнаружат десантные суда противника, когда они приблизятся к берегу.

Но по приказу адмирала Кранке его сторожевые и торпедные катера оставались на своих базах. Фашистская авиация не поднималась в воздух. Флот союзников перешел Ла-Манш, не встретив ни одного вражеского корабля или самолета.

По-прежнему на нормандском берегу не было никаких признаков тревоги. Может быть, это военная хитрость? Может быть, немцам удалось узнать час „С“ и они готовы отразить удар с моря?

Но склонность к шаблонам снова подвела оккупантов. Адмирал Кранке был твердо убежден, что ему точно известно время суток, когда может начаться вторжение: разумеется, это произойдет только при максимальном приливе. Гарнизонам было приказано „смотреть в оба“, не спускать глаз с моря, едва лишь прилив достигнет наибольшей величины. Но десантные суда появились, против всяких ожиданий, за четыре часа до полной воды. Германские батареи были застигнуты врасплох. На нормандском берегу раздавались первые команды „огонь!“, а „люди-лягушки“ уже начинали проделывать проходы в подводной линии заграждений.

Многие месяцы сотни офицеров в штабах союзников занимались планированием предстоящей операции, уйма времени тратилась на сложнейшие расчеты, расписания уточнялись до минут.

Но когда пробил час штурма, посыпались радиогаммы о неполадках и неудачах. Особенно тяжелое положение сложилось у американцев на участке „Омаха“. „Люди-лягушки“, которых усердно тренировали в тылу, не выдержали единоборства с приливом. Они не выполнили боевого задания. Участок „Омаха“ должен был получить шестнадцать проходов в береговых заграждениях. Подрывники успели сделать только восемь, из них три не полностью. Но и от того, что удалось сделать, не было пользы. 30 минут истекли, а специальные опознавательные знаки у проходов так и не были поставлены. Прилив поднял воду, и командиры десантных судов, не зная, где проходы, останавливались перед полосой препятствий.

Десантники высаживались с кораблей далеко от берега, на глубоких местах. Едва солдаты спускались с штормовых трапов, как вода уже доходила им до плеч, покрывала с головой. Уровень моря с приливом поднимался так быстро, что десантным кораблям пришлось по пять раз переходить с места на место в поисках более мелководных участков. Пока бойцы по воде добирались до берега, они несли большие потери и от огня гитлеровцев, и от прилива. Легкое ранение, неверный шаг — и человек тонул... Уходили на дно танки, автомашины, оружие.

Через несколько часов, когда начался отлив и отмель обнажилась, она была усеяна севшими на мель судами, потонувшими бронетранспортерами, орудиями. Среди них лежали солдаты, застигнутые смертью в волнах Ла-Манша.

В отчаянном положении очутились команды десантных судов, застрявшие на берегу после отлива. Неподвижные, беспомощные, они были отличной мишенью, в которую противник мог безнаказанно посылать снаряд за снарядом. Один из участников операции „Нептун“, моряк, прошедший через эти испытания, вспоминал потом, что несколько часов до нового прилива показались ему целой вечностью. Он писал: „...наступает прилив, корабль снова оживает, и в этот момент вы проникнуты убеждением, что на свете, безусловно, нет другого более замечательного явления природы, чем морской прилив“.

Гибралтар в Ла-Манше

С приливом приходилось считаться не только тем, кто готовил высадку авангардов, первых отрядов, которые должны были захватить подступы, ворваться в расположение немецких укреплений, занять позиции на завоеванном плацдарме. Надо было обеспечить и немедленную переброску подкреплений, боеприпасов, горючего, транспорта туда, где будут находиться эти отряды, — на низкие, дважды в сутки затопляемые приливом берега Сенской бухты.

Есть на земле такие реки, где уровень воды с приливом меняется, как в морях. Одна из них — Голубая река (Янцзыцзян) в Китае. В нижнем ее течении, на расстоянии семисотпятидесяти километров, колебания уровня настолько велики, что пришлось придумать особые устройства для речных портов. Вода в Голубой реке нередко поднимается на шесть метров. С обычными причалами не удавалось наладить бесперебойную перевалку грузов: или судно выше причала, или причал выше судна.

Тогда у берега были поставлены большие понтоны, с приливом они поднимались, с отливом опускались. А для того, чтобы с понтонов всегда можно было перейти на берег, сделали выдвижные гибкие мосты.

Этот пример, видимо, и навел на мысль создать свайные

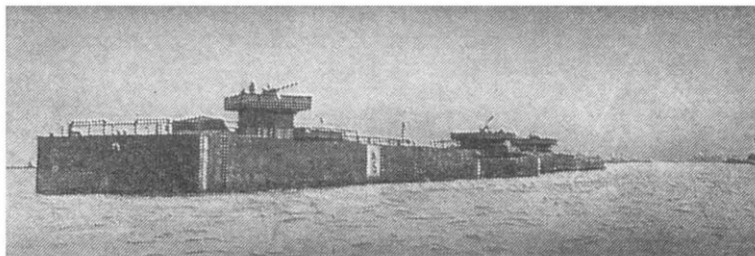


Рис. 14. Искусственный порт.

причалы, когда разрабатывался проект, получивший кодовое название „Малбери“ („Тутовая ягода“). Командование союзников заранее отказалось от всяких намерений захватить на первом этапе вторжения крупные французские порты, Шербур или Гавр.

Ставка была сделана на искусственные порты „Малбери“. В Англии для них изготовили волноломы, плавающие пирсы. Когда началось вторжение, секции отбуксировали через пролив и собрали в открытом море у нормандского побережья. Конструкторы „Малбери“ нашли оригинальное техническое решение, которое позволило судам уверенно швартоваться у причалов при очень сильных колебаниях уровня моря — до семи с лишним метров.

Для портов „Малбери“ были построены свайные причалы, огромные металлические сооружения, каждое водоизмещением в тысячу тонн. Сваи прочно установили на дне, и когда вода, прибывая, подпирала снизу причал, он по сваям скользил вверх, когда убывала — возвращался вниз. Тяжелая машина приобретала почти такую же подвижность, какая бывает у обыкновенного поплавка.

Но этим задача еще полностью не решалась. Нужна была надежная, устойчивая связь между причалом и берегом. Такую связь могли обеспечить плавучие пирсы. Они были проложены от причалов к берегу. Плавучие пирсы собирали из понтонов, достаточно прочных, чтобы стоять под нагрузкой на суше, и достаточно легких, чтобы всплывать и держаться на воде во время прилива. С наступлением отлива часть длинного пирса, обращенная к суше, опускалась на грунт, во время прилива она снова поднималась. На металлические понтоны уложили гибкие сходни, получился своего рода настил, по которому можно перебрасывать грузы на берег. А чтобы сильные приливо-отливные течения не относили понтоны в сторону от причалов, пришлось каждый понтон поставить на якоря.

Сооружение двух искусственных портов (один в американском секторе нормандского побережья, другой в английском) потребовало огромных затрат и усилий. Достаточно сказать,

что понадобилось уложить гибкие сходни общей длиной в десять километров. Акватория каждого порта составляла около пяти квадратных километров и равнялась акватории гавани Гибралтара.

Однако случилось так, что американский порт прожил всего несколько дней. И вовсе не потому, что его разбомбила немецкая авиация. Молодчиков Геринга опередил небывалой силы шторм, совпавший с большим приливом. Шторм бушевал целых три дня и нанес союзникам невосполнимый ущерб; американский порт был разбит вдребезги.

Поврежден был и порт в английском секторе, но он уцелел благодаря тому, что находился под прикрытием прибрежного рифа.

По свидетельству генерала Брэдли, возглавлявшего американские сухопутные войска в Нормандии, участок „Омаха“ был завален судами, потерпевшими аварию. Изуродованные части порта „Малбери“ море вышвырнуло на берег. Буря нанесла американским десантным войскам больше потерь, чем фашистская артиллерия за две недели боев. Погибло двадцать тысяч машин, сто сорок тысяч тонн грузов. Только лишь в американской зоне задержалась высадка восьмидесяти тысяч солдат.

Природа сыграла злую шутку с командованием союзников. Прошло ровно четырнадцать дней после совещания в Плимуте, когда решался вопрос о переносе дня „Д“. Именно на такой срок и думали тогда отложить высадку, чтобы снова дожждаться больших приливов. Но как только они наступили, в Атлантике разразилась небывалая буря, разрушившая „Малбери“. Если бы генералы в Плимуте решили перенести день „Д“, его пришлось бы отложить второй раз и уже, вероятно, надолго.

Многим еще, вероятно, памятна трагедия, разыгравшаяся в Атлантическом океане. Американцы были потрясены таинственной гибелью атомной подводной лодки „Трешер“. Причины гибели расследовались два года, в поисках участвовало около тридцати военных и гражданских кораблей. По официальной версии, „Трешер“ затонула из-за неисправности трубопровода. Но некоторые океанологи ставят эту версию под сомнение. По их мнению, расследование не раскрыло истинную картину катастрофы, не выявило действительные причины и обстоятельства, которые могли вызвать гибель подводного корабля и всей его команды. Эти ученые предполагают, что лодка потерпела аварию от удара, нанесенного ей внутренней волной.

Важное значение, как полагает океанолог К. Айслин, имело то обстоятельство, что за несколько дней до исчезновения „Трешера“ на северо-востоке Америки разразилась сильная буря. Под ее натиском вошли в залив Мэн поверхностные воды океана. Когда наступило затишье, они устремились обратно в Атлантику. Там столкнулись два потока: один шел из залива Мэн, другой — вдоль побережья Новой Шотландии. По соле-



Рис. 15. Десант готовится к высадке.



Рис. 16. Высадка на французский берег.

ности и плотности потоки заметно отличались друг от друга. Близкое соседство таких слоев воды и создает благоприятные условия для возникновения внутренней приливной волны. Вероятно, „Трешер“ оказалась в слое менее плотной воды и от столкновения с внутренней волной погрузилась на глубину, из которой ей не суждено было подняться. Вместе с лодкой погибло сто тридцать человек.

Наука пришла к выводу, что внутренние волны встречаются ничуть не реже, чем поверхностные. Объясняется это вот чем. Водная масса не однородна, с глубиной ее плотность возрастает и если представить себе разрез океана по вертикали, он будет похож на слоеный пирог. Между двумя слоями возникает граница, ее называют „слоем скачка“. Так же, как на границе между водой и воздухом, здесь наблюдаются колебания, и для того, чтобы вызвать их, достаточно очень небольших сил.

В океане встречаются внутренние волны высотой в сто метров и больше, длиной в несколько десятков, а иногда и сотен километров.

Самые мощные, а значит, и самые опасные внутренние волны ведут свое происхождение от приливов. Эти волны — такое же постоянное и обычное явление, как приливные колебания уровня моря. Там, где приливы бывают один раз в сутки, у приливной внутренней волны суточный период, там, где дважды в сутки, — полусуточный. Встреча с такой волной несет угрозу подводному кораблю. Возможно, „Трешер“ — это только одна из первых жертв приливных внутренних волн.

Подводные лодки не избавлены от угрозы даже на самых, казалось бы, „исхоженных“ морских путях. Гибралтарский пролив видел, пожалуй, мореходов всех времен и народов. Каждый день его минуют десятки кораблей. И никто из моряков, уверенно прокладывающих курс через пролив, не подозревал, насколько обманчиво спокойствие Гибралтара.

Давно известно, что в этом проливе встречаются два противотечения. Воды Средиземноморья текут в Атлантику, а оттуда, навстречу им, устремляются воды океана. Средиземноморская вода, более соленая и плотная, движется вниз, ближе ко дну, атлантическая — легче, она остается на поверхности.

Океанологов заинтересовало, что происходит в глубинах пролива, там, где соприкасаются оба противотечения, — в слое „плотностного скачка“. И тут обнаружилось нечто неожиданное. Датское исследовательское судно „Дана“, проводившее измерение в слое скачка, вдруг потеряло его. Нашли его гораздо ниже — он упал на сто метров. Повторные наблюдения показали, что это происходит постоянно, через четыре часа после полной воды в Кадиксе, расположенном на атлантическом побережье Испании. Так „ныряет“ на дно внутренняя волна, возникшая у слоя скачка под действием приливообразующих сил. А затем выяснилось, что у входа в Гибралтар волна „ныряет“ еще глубже — на сто семьдесят метров.

Глава 5

ЛУННЫЕ РИТМЫ



Науке давно стало ясно, что Мировой океан — это и океан энергии. Прилив дважды в сутки затопляет берега — ему же, как говорится, на роду написано вращать турбины электростанций.

Правда, покорить его энергию нелегко. Но если недавно проекты приливных электростанций выглядели едва ли не такими же утопическими, как проекты вечного двигателя, то теперь их уже не назовешь утопией: приливная энергетика, энергетика „синего угля“, входит в жизнь.

Достоинства этого „топлива“ бросаются в глаза. Его не надо добывать из земных недр, не нужны ни шахты, ни тысячекилометровые трубопроводы. Нет необходимости устраивать водохранилища, затопляя тысячи гектаров пашен и лесов, как приходится делать при строительстве речных электростанций. Нет и забот, которые сопутствуют атомной энергетике, — забот о захоронении отходов горючего. И наконец, еще одно, неоценимое достоинство „синего угля“: запасы его не иссякнут никогда, во всяком случае до тех пор, пока есть на Земле океан и прилив.

Миллиард киловатт

Когда приливная волна обегает Землю, вода устремляется по двум направлениям: по горизонтали и вертикали. Горизонтальное движение приливных морских течений создает кинетическую энергию, вертикальный подъем уровня моря дает энергию потенциальную. Как ни заманчива мысль овладеть силой приливных течений, она не сулит больших приобретений. По горизонтали движется и речной поток. Но, если бы Волгу и Ангару не перегородили плотины, эти реки ничего не смогли бы дать энергетике страны. Для того и строят плотины, чтобы заставить воду падать сверху вниз, заставить ее отдать потенциальную энергию, которую турбины гидроэлектростанций превратят в электрический ток.

Ширина приливной волны, идущей в океане, измеряется сотнями, если не тысячами, километров. Это не река, ее не перегородишь плотиной. Для электростанции, использующей кинетическую энергию течения, понадобилось бы грандиозное сооружение, чтобы загнать приливный поток в какое-то подобие русла, понадобились бы турбины с рабочими лопастями сверхгигантских размеров. А мощность на квадратный метр лопасти была бы совсем невелика, в лучшем случае около четырех лошадиных сил.

Иное дело вертикальные колебания воды. Они куда „удобнее“, чем горизонтальные. Тут счет идет всего-навсего на метры. Выше восемнадцати метров прилива на Земле нет. Отобрать энергию у приливной волны при подъеме уровня возле берега гораздо проще, а эффективность работы турбин несравненно выше. Подобно турбинам речной ГЭС, они будут преобразовывать потенциальную энергию движения воды в электрическую. Ученые пришли к выводу, что приливная волна Мирового океана способна обеспечить работу электростанций общей мощностью до миллиарда киловатт.

Запасы „синего угля“ особенно велики в обширных морских бассейнах. В семьсот пятьдесят миллионов киловатт определяется приливный энергетический потенциал Берингова моря, в пятьдесят пять миллионов — потенциал Ла-Манша, тридцать пять — Северного моря, в двадцать миллионов — Охотского моря.

Но строить приливные станции можно далеко не везде. Сооружать их у открытого берега океана никто не станет: это потребует такого объема работ, что энергия обойдется втридорога. С очень серьезными трудностями столкнутся строители и там, где слишком велики глубины. Поэтому внимание энергетиков привлекают вдающиеся далеко в сушу обширные и сравнительно мелководные заливы и бухты или устья рек, впадающих в море. Выбор и здесь зависит от ряда условий: достаточно ли велик прилив, надежно ли берега защитят станцию от штормовых волн. Словом, на карте Мирового океана пока не так уж много мест, которые можно отметить как районы будущихстроек. Все это, однако, не помешало бы созданию приливной энергетики, не будь других, более серьезных препятствий. Они вызваны самой природой прилива, многочисленными неравенствами, которые создаются космическими силами и никак не согласованы с земными потребностями человека.

С самого начала усилия ученых и инженеров были направлены на поиски средств, способных преодолеть недостатки, которые порождаются непрерывной пульсацией энергии прилива.

Если изобразить графически ход приливных колебаний в каком-либо пункте побережья океана, вырисуются бесконечные затухания и нарастания, спады и подъемы. За шесть часов двенадцать минут уровень моря поднимается, затем за такое же

время опускается. Течение реки имеет одно постоянное направление. В море прилив то наступает на сушу, то отступает, направление потока меняется четыре раза в сутки.

Но прерывистость — не единственный недостаток энергии прилива. День ото дня меняется его величина, эти нарастания и падения тоже отразятся на работе станции. Она не сможет равномерно снабжать электрическим током своих потребителей. Напомним, что в первую и последнюю четверти прилив почти в три раза меньше, чем в новолуние и полнолуние. Мощность станции страдает от этого еще больше — она сократится в восемь раз. Окончательно путают карты лунные сутки, из-за которых постоянно меняется время прилива: то он приходится на вечер, то на утро, то на ночь... Короче говоря, прилив подчиняется ритмам Луны. А энергия его сможет принести людям пользу только в том случае, если удастся „вписать“ ее в солнечный ритм, в котором живут наши города и села, электростанции и заводы, — в ритм Земли.

«Экономическое безумие»

„Кводди“... Миллионы американцев ничего не слышали о проекте, носившем такое название, пока президент Франклин Рузвельт не разрешил израсходовать тридцать семь миллионов долларов на строительство большой приливной электростанции. Америка в те годы была охвачена кризисом, и газеты шумно рекламировали это решение как вклад в борьбу с безработицей.

Вскоре в заливе Фанди, на границе между США и Канадой, развернулась стройка. Две бухты этого залива обладают мощным энергетическим потенциалом. Одна из них принадлежит Канаде, другая — США. Сначала было задумано создать межнациональную станцию и объединить в общий гидроузел обе бухты, но затем были вынуждены отказаться от первоначального проекта и разработать другой вариант. От прежнего проекта осталось лишь название — „Кводди“ (сокращенное название канадской бухты Пассамокводди), а строительство решено было вести только в американской бухте Кобсук.

Нужно было возвести несколько плотин, прорыть канал, устроить шлюз. Предполагалось установить двадцать турбин, мощность станции в зависимости от приливных неравенств должна была изменяться в течение месяца от тридцати тысяч киловатт до ста шестидесяти тысяч.

Прошло около года, и слово „Кводди“ снова запестрело в газетных заголовках. Но теперь уже проект предстал в ином, мрачном свете. Он попал под огонь ожесточенной критики, его объявили „экономическим безумием“.

Неужели люди веками ошибались, когда верили, что прилив станет их помощником?

Еще тысячу лет назад человек впервые „подобрал ключи“ к приливу. Обязанности, которые на него возложили, были не слишком обременительными: вращать колеса мельниц. Судя по записям, сделанным в 1170 году, услугами такой мельницы пользовались крестьяне Вудбриджского прихода в Англии. В XVI веке предприимчивый голландец Питер Морис взял в аренду северную арку Лондонского моста и построил на ней приливную водокачку. Аренда сроком на пятьсот лет обошлась ему в десять шиллингов ежегодно. Наследники Мориса расширили предприятие, их машины работали уже на четырех арках, снабжая водой жителей английской столицы.

В Италии, Франции и других странах прилив помогал перемалывать зерно, дробить камни, пилить бревна, подавать воду для орошения полей. До наших дней дошли описания русских приливных мельниц, построенных на Белом море, в Соловецком монастыре.

Интерес к приливным силовым установкам не был временным увлечением. Проходили столетия, рождались новые технические идеи, а энергия прилива по-прежнему привлекала к себе умы изобретателей. В XVIII веке в Англии был объявлен конкурс на лучший проект приливной мельницы, из девяти его участников пять получили премии. Изобретатели находили для прилива и другое применение. Изготовьте большие поплавки, но не слишком тяжелые, чтобы прилив их свободно поднимал. Установите поблизости на берегу механизмы. Через систему передач поплавки заставят их вращаться. Или поступите так. Соедините поплавки с поршнями. Приливная волна, толкая их, будет сжимать воздух, а он приведет в действие двигатель.

Во Франции, возле Дюнкерка, до последнего времени продолжала действовать мельница, построенная несколько столетий назад. Она осталась такой же, какой была,— простейшей установкой с одним бассейном, работающей всего несколько часов в сутки.

В XVIII веке француз Белидор в своем трактате о гидравлических сооружениях выдвинул проект, имевший серьезное техническое обоснование. Он был первым, кто предложил создать систему из двух сообщающихся бассейнов, позволяющую удлинить время непрерывной работы приливных мельниц.

Шли годы, от тихоходных мельничных колес техника переходила к турбинам, электромоторам. Начался век электричества, а с ним появились и новые планы покорения прилива. Не много осталось на побережье Франции заливов и крупных бухт, для которых не были бы составлены схемы и проекты электростанций. На листах ватмана возникали контуры энергетических установок Англии, Германии. Перспективы строительства приливных станций изучал известный русский инженер профессор Ляхницкий. Но ни соотечественникам Белидора, ни их коллегам из других стран до недавнего времени не пришлось испытать радость удачи.

В истории техники это, пожалуй, случай, не знающий себе равных: с 1856 по 1939 год было выдано почти триста патентов на создание приливных энергетических установок, однако ни один не оправдал возлагавшихся на него надежд. Источник неудач у большинства проектов был, в сущности, общий: стремление во что бы то ни стало „перевоспитать“ приливную энергию, „исправить“ свойства, которые даны ей природой.

Выигрыши и потери

Какую бы из схем ни взять, основа одна и та же: плотина отсекает от моря в районе сильных приливов бухту или речное устье. Образуется бассейн, который заполняется в часы полной воды.

С неиссякаемой творческой изобретательностью инженеры искали способы улучшить эту схему, повысить эффективность системы. Были проекты установок одностороннего действия: турбины приводит в действие вода, поступающая из моря, либо вода, которую выпускают из бассейна при отливе. Были проекты, рассчитанные на двустороннее действие: турбины работают и от потока, идущего из моря в бассейн, и от обратного потока. Предлагались варианты, предусматривающие два бассейна. Один из них принимает поток из моря, другой вступает в действие, когда воду возвращают в море. Таким образом удлиняется рабочее время турбин.

Появились и такие схемы, которые делили бухту на три бассейна. Это требовало сооружения ряда плотин, в том числе плотины, окружающей станцию со всех сторон. Открывая или закрывая затворы, можно было бы обеспечить работу турбин и на потоке из одного бассейна в другой, и на приливном напоре из моря.

И все-таки самые напряженные усилия не приносили успеха. На любые ухищрения прилив отвечал черной неблагодарностью. Каждый выигрыш обязательно сопровождался потерями.

Приливную энергию не удавалось „приручить“, как ни изошрялись авторы многочисленных проектов. Они так и не были реализованы. Но был среди них проект, в котором была заложена идея, выдержавшая испытание временем. В новом техническом воплощении она стала одной из основных идей современных проектов.

Эта идея еще полвека назад была выдвинута французским инженером Клодом. С его именем связан „насосный эффект“. Суть его вот в чем. Станция оснащается мощными насосами. Часть электроэнергии, полученной от моря, не уходит в жилые дома, в заводские цехи, а затрачивается на самой станции, приводит в движение эти насосы. Когда заканчивается прилив, их включают: они накачивают воду из моря, повышая ее

уровень в бассейне. После отлива они откачивают воду из бассейна, понижая ее уровень. От этого увеличится высота падения воды, возрастет напор, а значит, и турбины дадут больше электрического тока. Но не получится ли так, что прибыль только покроет дополнительный расход энергии, ушедшей на насосы? Нет, этого не произойдет, потому что расход значительно меньше прибыли. Например, насосам придется поднять воду всего на полметра, а пойдет она обратно через турбины при отливе, когда перепад между верхним и нижним уровнями будет около трех метров. Вода отдаст больше, чем возьмет. „Припек“ энергии весьма ощутимый — двадцать пять процентов.

Однако цена „припека“ была слишком высокой. Техника того времени позволяла осуществить идею Клода, но для этого вместе с приливной электростанцией надо было построить и насосно-аккумулирующую станцию со своим вспомогательным бассейном.

Разные страны, разные проекты — и всюду неудачи... Над чудачками, верящими в создание приливной энергетики, начали посмеиваться. Пессимисты призывали предать забвению эту „безумную идею“. Оптимисты продолжали поиски, исследования. И выход из тупика был найден. Как это ни парадоксально, инженеры вернулись к тому, с чего все начиналось, — к схеме первых, примитивных установок с одним бассейном. Вернулись инженеры и к идее Клода, но теперь насосный эффект достигается иными средствами.

Электростанция на буксире

Серая гладь залива, мертвые берега, ни дорог, ни жилья. Когда ставили опоры линии электропередачи, пришлось призвать на помощь вертолеты — в скалах не пройдет ни автомашина, ни трактор. Внизу, у входа в губу Кислую, взлетали пенистые столбы воды, грохотали взрывы. Там выравнивали морское дно, туда каждый день опускались водолазы, готовили для здания приливной электростанции (ПЭС) площадку, ровную, прочную и водонепроницаемую.

Высота прилива здесь не очень велика, около четырех метров, но зато есть и немалые преимущества. Природа сама подготовила хорошие условия для строительства ПЭС. В Кислой возводить плотину не нужно. Через тесную скалистую горловину шириной в тридцать метров прилив посылает в губу стремительный морской поток. В этом проходе и встало здание станции, воде остался один путь — через лопасти турбин.

Но вот что было странно, непривычно. Пока здание станции строилось, в Кислой не было ни бетонщиков, ни сварщиков, ни монтажников. Все они работали в котловане на берегу Кольского залива, недалеко от Мурманска, на мысе Притыка. Когда было закончено сооружение здания и водослива ПЭС, смонти-

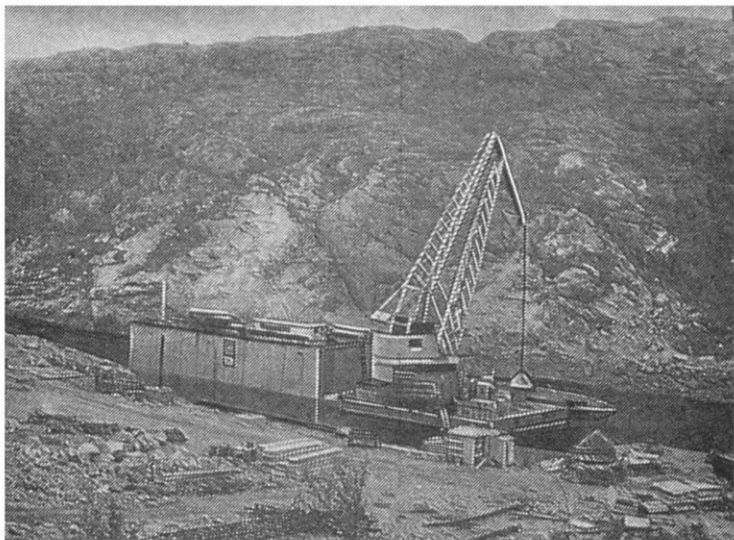


Рис. 17. Мыс Притыка. Строительство наплавного блока.

рованы гидроагрегаты и пульт управления — строители пустили в котлован воду. И тогда здание всплыло... Его пустотелая сквозная конструкция напоминает железобетонные плавучие доки, которые уже не раз переправляли за тридевять земель, по морям и океанам. Мощные буксиры вывели наплавной блок электростанции, весящий пять тысяч тонн, из котлована в море и потащили к Кислогубскому створу. Когда блок был установлен точно над приготовленным для него основанием, пустые полости заполнили балластом, и блок опустился на дно узкого прохода из губы в Баренцево море. Осталось построить дамбы, соединить здание с берегами протоки — и станция готова...

Первая советская приливная электростанция сооружена по проекту, разработанному под руководством автора известных научных трудов Л. Бернштейна.

Когда плавучий корпус опустился и отделил губу от моря, она стала бассейном энергетической установки двустороннего действия. Мощность станции невелика, но большая пока и не нужна. Кислогубская ПЭС построена как опытная. Много надо выяснить, проверить, уточнить — и проектные решения, и теоретические расчеты. Прежде всего — испытать гидроагрегаты и сооружения, исследовать, как отразятся на ПЭС природные условия Севера. Уникальное здание станции сооружено из прочно армированного железобетона. Но что произойдет с ним зимой на Мурмане, когда дважды в сутки, с приливом и отли-

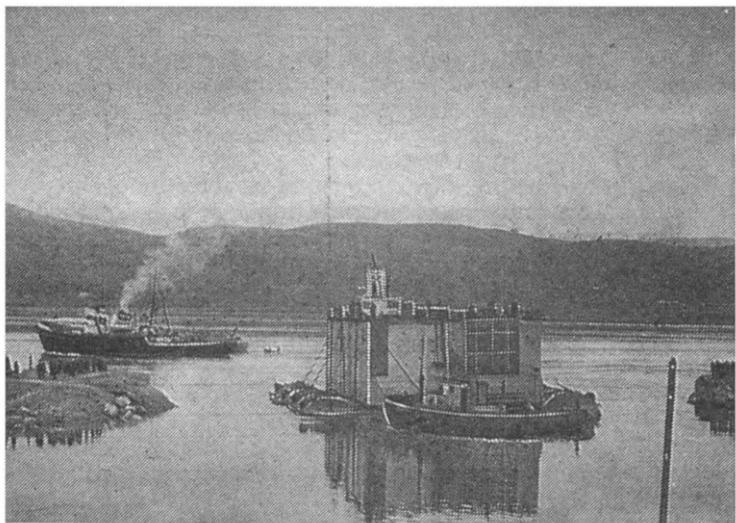


Рис. 18. На пути в Кислую губу...

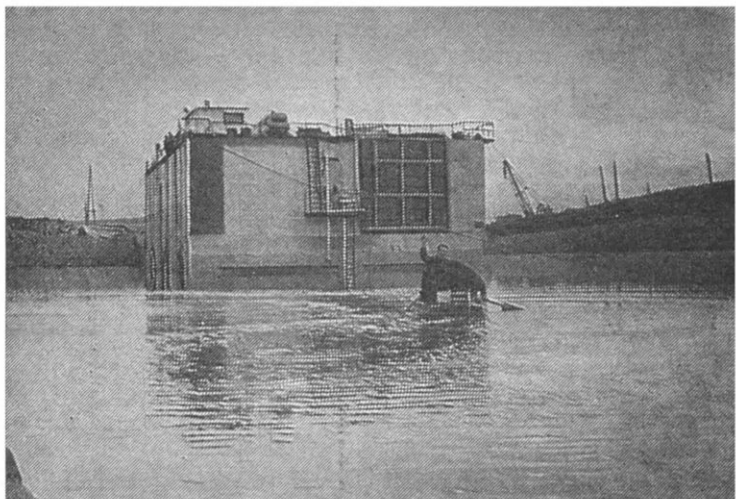


Рис. 19. Рейс мыс Притыка — Кислая губа благополучно завершен.

вом, он будет то оттаивать, то замораживаться? Выдержит ли такое жестокое испытание даже особый, „морской“ бетон, над которым долго трудились ученые по заданию проектировщиков Кислогубской ПЭС? Надводные части станции утеплены — защитит ли „шуба“, покрытая стеклянной тканью, от северной стужи?

Но и это еще не все. Надо выяснить, хорошо ли защищена станция от штормовых волн, натиска ледяных полей, изучить, какие изменения произойдут в бассейне ПЭС, его берегах, рельефе дна.

Не соперник, а союзник

Во второй половине XX века конструкторы и строители, решившие запрячь Луну в упряжку турбины, уверенно смотрят в будущее. Выросли технические возможности, изменилась энергетика, двинулась вперед инженерная океанология — пришло время для создания крупных приливных электростанций. В наши дни никто уже не тешит себя иллюзиями, будто можно заставить прилив „перевести часы“ с лунного на земное время. На него смотрят теперь другими глазами: раньше подчеркивались его недостатки, сегодня на первый план выходят его достоинства.

Да, несомненно, говорят специалисты, приливная энергия пульсирует, если вы ограничиваете ее рамками суток, недели, месяца. Но подсчитаем другую величину — среднемесячную. Она всегда неизменна. Не знает она больших колебаний в течение года, ряда лет.

Прежде в приливной энергии видели конкурента тепловой и речной энергии, конкурента, который непременно должен доказать свое превосходство над ними. Новый подход привел к полному отказу от такого противопоставления. Прилив — не соперник, а союзник, надежный и дельный партнер остальных источников энергии. В кооперации с ними его исключительная энергетическая гибкость может стать очень полезной. И вот почему. Одна из сложнейших проблем современной энергетики — проблема „пиковых нагрузок“. В различные часы суток потребление электричества не остается постоянным. Ночью спрос значительно меньше, утром возрастает, к концу дня падает, вечером снова увеличивается. В Ленинграде, например, одни только телевизоры поглощают мощность Волховской ГЭС.

Тепловым станциям трудно подстраиваться под прихотливые запросы потребителей. Энергетикам удобнее и выгоднее всего ровная работа в постоянном режиме, с максимальной мощностью. Но что делать с избытком энергии, который образуется ночью? Куда его девать? Тут и может пригодиться очень

кстати такой потребитель, как ПЭС: ее гидроагрегаты примут излишки электрического тока и накачают дополнительный запас воды в бассейн. А через какое-то время, днем, когда тепловая станция не будет справляться с нагрузкой, приливная вернет долг, перекроет своей энергией пиковый спрос. Или поможет речной ГЭС экономить воду, тем более что изменения нагрузки на такой станции проходят без всяких затруднений — турбины включаются и выключаются автоматически. В свою очередь и ГЭС, когда Луна на ущербе, выручит приливную, восполнит недостаток ее энергии.

Возникает резонный вопрос: а есть ли вообще надобность в этих перебросках энергии, когда уже наступила эпоха, принесшая человечеству господство над неиссякаемыми силами атома? Раздавались голоса, что рождение атомной энергетики лишает всяких перспектив энергетику приливную, что в соревновании с атомом прилив заведомо обречен на поражение. Опыт показал, что для станций, работающих на ядерном горючем, так же как и для тепловых, важно сохранить постоянный режим и не снижать мощность. Им тоже нужна помощь прилива.

Пройдя через лабиринт поисков, наука нашла решение. Впрочем, его и нельзя было найти, пока не достигла высокого развития электрификация, не сложились объединенные энергосистемы. Пока не выросла сеть крупных речных ГЭС, необходимых для надежного регулирования работы приливных станций. И пока не появились новые гидроагрегаты — обратимые турбины.

Когда были созданы эти совершенные машины, которые называют сердцем приливных электростанций, отпали многие затруднения. И первое из них — высокая стоимость насосного эффекта. Теперь он достигается без всяких дополнительных затрат. Нет надобности строить специальные станции с многочисленными агрегатами, вспомогательные бассейны. Новые турбины трудятся за двоих: дают электроэнергию и перекачивают воду. И делают это постоянно — и в прилив, и в отлив.

В отличие от обычной турбины, приливный агрегат действует в горизонтальном положении. Появлению обратимых турбин помогли труды французских исследователей, изучавших проблему приливной энергии. Был использован опыт наших конструкторов, создавших речные горизонтальные турбины для Камской и Череповецкой ГЭС.

Гидроагрегат сконструирован так, что в поток погружается не только турбина, но и генератор. Лопasti турбины автоматически поворачиваются, когда меняется направление потока. Если необходимо, генератор превращается в мотор. Соседние электростанции в часы малой нагрузки питают его своей избыточной энергией. Он приводит в движение турбину, которая обращается на это время в насос, и либо накачивает в бассейн воду, либо откачивает. А затем, при пиковой нагрузке, мотор

снова превратится в генератор, насос — в турбину и в сеть пойдет электрический ток приливной станции, при этом ПЭС отдаст энергии больше, чем взяла.

Великан начинает работать

Повторяем опыт! Давайте прилив...

Такие команды можно было услышать полвека назад в гидротехнической лаборатории Института инженеров путей сообщения. Гудел электромотор, приливная волна медленно входила в устье Северной Двины. Конечно, это была только модель, но она точно повторяла в длинном лотке рельеф русла и берегов реки, движение ее вод.

Профессор Ляхницкий, один из пионеров энергетики „синего угля“, воспроизводил на установке приливо-отливные колебания в устьях Териберки и Северной Двины и уточнял расчеты будущих гидротехнических сооружений.

В Ла-Манше уместится добрая дюжина таких рек, как Северная Двина. Но и он тоже очутился в лаборатории. В предгорьях Альп, вдали от моря, в стенах Гренобльского университета ученые создали огромную модель пролива, отделяющего Францию от Англии. Каждый, кому довелось побывать в лаборатории, мог собственными глазами увидеть, как вращение Земли влияет на прилив, как воздействуют на него силы Кориолиса. Когда модель вращалась, прилив у ее французских берегов был больше, чем у английских, — в точном соответствии с теорией и с картиной, которая наблюдается в действительности. Там же, в Гренобле, была построена модель устья реки Ранс и сооружений французской приливной станции. Над проектом этой электростанции около двух десятилетий работала группа инженеров во главе с Робером Жибра, автором математической теории использования приливной энергии.

Однажды Роберу Жибра попался на глаза доклад об использовании энергии прилива в устье реки Ранс, составленный в 1920 году. Жибра увидел, что проект ошибочен в своей основе. Все должно быть иным — теоретические предпосылки, методы расчета, технические приемы. И тогда в устье Ранса будет построена электростанция, работающая на энергии прилива! „В какой-то миг я понял, — вспоминал позднее Жибра, — что осужден в течение всей моей дальнейшей жизни быть поборником энергии приливов, что я никогда не перестану в нее верить“.

Во Франции построена первая в мире приливная электростанция. От старого проекта, который Жибра извлек из архива, не осталось ничего, кроме места станции — устья реки Ранс, впадающей в Сен-Мало, один из заливов Ла-Манша. По всей ширине, на семьсот пятьдесят метров, она перекрыта сооруже-

ниями гидроузла: шлюз, земляная дамба, водопропускная плотина и здание ПЭС. На четыреста метров протянулся машинный зал, где установлено двадцать четыре обратимых гидроагрегата. Управление станцией автоматизировано, обслуживает ее сорок четыре человека. ПЭС Ранс может давать в год свыше пятисот миллионов киловатт-часов электроэнергии — это лишь небольшая часть приливного потенциала Франции, который оценивается в сто тридцать миллиардов киловатт-часов.

Экспедиции уходят на Север

В море, к месту, где намечено строительство приливной электростанции, первыми выходят океанологи. Они „бурят скважины“ в толще воды, берут пробы, измеряют скорость течений и ветра, высоту волн, величину приливных колебаний.

В северные моря приливная волна приходит из Атлантического океана. Она „выбрасывает“ на берега миллионы киловатт энергии. В Лумбовском заливе прилив достигает в среднем четырех метров, в устьях рек Мезень и Кулой у выхода из горловины Белого моря — шести метров.

Советские океанологи провели детальные исследования энергии приливов Белого моря. Автоматические приборы регистрировали направление и скорость течений, посты на берегу учитывали колебания уровня. Затем наблюдения были обработаны методом гармонического анализа. По подсчетам, через входные ворота между мысами Канин Нос и Святой Нос приходит из Баренцева моря поток мощностью в тридцать четыре миллиона киловатт. Минуя воронку, он проникает в Мезенский залив и Белое море. Семь с половиной миллионов получает Мезенский залив, около девяти миллионов уходит в Белое море, остальная энергия теряется в его воронке. Она расходуется на перемешивание воды, а главное — на трение о неровности дна, на перемывание „кошек“ — обширных песчаных отмелей, которыми изобилует воронка. Будь их меньше, а глубины больше, потери энергии были бы не так велики.

К любопытным выводам пришли океанологи, сравнив Белое море с заливом Фанди, приливным „рекордсменом“ земного шара. Глубины входа у них одинаковые, но воронка Белого моря на 60 километров длиннее, а вертикальные колебания уровня у американских берегов больше. И хотя залив Фанди удерживает первенство по запасам „синего угля“, Белое море немногим ему уступает — их запасы почти равны.

Станции Мезенского залива пока остаются на второй линии наступления на энергию прилива. А первая проходит через Лумбовский залив. Его очередь наступит после Кислой губы. Проект станции, которая в сто пятьдесят — двести раз превзойдет мощность Кислогубской, разрабатывается коллективом под руководством Л. Бернштейна. В Лумбовском заливе, восточнее

Мурманска, намечается строительство плотины, отсекающей от моря бассейн площадью в семьдесят квадратных километров. Даже в студеные полярные зимы дыхание Гольфстрима проникает сюда. Здесь мало ледяных полей, которые могли бы затруднить работу станции. Она даст Кольской энергосистеме примерно семьсот миллионов киловатт-часов в год.

Еще шире технические замыслы приливных электростанций в Мезенском заливе Белого моря. Бурные приливо-отливные течения в устье Мезени размывают берега, заносят русло. Река мелеет, фарватер ее блуждает. Строительство ПЭС позволит сделать Мезень судоходной для крупных морских лесовозов, создать глубоководный порт. Длина плотины Устьевской станции достигнет десяти километров, двести обратимых турбин смогут дать в год около двух с половиной миллиардов киловатт-часов.

Возглавляет перечень гигантов приливной энергетики Беломорская ПЭС, у которой должно быть 2000 турбин. По замыслу, плотина длиной сорок пять километров отсечет прибрежную часть Мезенского залива и создаст бассейн площадью две тысячи квадратных километров.

Океанский прилив начинает работать на человека.

Глава 6

ЛАБОРАТОРИЯ В ОКЕАНЕ



Как открывали острова?

Вспоминаются имена путешественников, первопроходцев, мореплавателей. Годы их странствий, неудачи, опасности, трагедии.

Все это было. А как открывают острова в наше время?

Острова в наш век открывают за рабочим столом, в кабине.

В 1932 году советский океанолог Вс. Березкин заштриховал на карте Карского моря два участка. И хотя ученый никогда не был там, он взял на себя смелость утверждать: в этом месте должна быть суша.

Вс. Березкин изучал приливы Северного Ледовитого океана. Проблема эта имеет свою историю, ее не раз исследовали ученые, и русские, и зарубежные. Высказывалось предположение, что приливная волна приходит в Арктический бассейн из Атлантики. Была гипотеза, что приливы тут не „привозные“, а местные и что вызывают их самостоятельные колебания водных масс этого бассейна. Наконец были выявлены в океане две волны: одна из них атлантического происхождения, другая — из центральной части Арктики.

После плавания на гидрографическом судне „Таймыр“ Вс. Березкин обработал материалы наблюдений и пришел к заключению, что приливная волна из Атлантического океана через Баренцево море попадает в Карское, но здесь ее движение на восток прекращается, она поворачивает на юг. Полярная приливная волна встречается с атлантической у острова Уединения. А дальше к северу что-то мешает встрече и слиянию этих двух волн. По той же причине, видимо, атлантическая волна устремляется на юг.

Ученый выразил твердое убеждение, что помехой может служить земля или мелководье, и в 1933 году опубликовал свои выводы и карту, о которой мы говорили выше.

Летом 1935 года ушла в плавание высокоширотная экспедиция на ледокольном пароходе „Садко“. От Новой Земли

„Садко“ взял курс на север. Корабль преодолел полосу тяжелых льдов и, продолжая плавание, повернул на северо-восток, к местам, которые еще не посещал ни один человек.

Густая мгла заволакивала горизонт. Приходилось идти на ощупь, то и дело измеряя глубину. „Садко“ осторожно шел по мелководью. Пароход продолжал идти по курсу, когда с палубы увидели ледяной купол, поднявшийся над морем на двести с лишним метров. Это была земля. Это был остров, тот самый остров, который Вс. Березкин заочно обозначил на своей карте.

«Преследование приливов»

Мысль о неведомом острове появилась у ученого попутно, в итоге обстоятельного изучения котида льных линий Карского моря. Они-то и подсказали океанологу, что между Землей Франца-Иосифа и Северной Землей лежит суша, еще не открытая людьми.

Если вы возьмете обыкновенную географическую карту, все равно — Карского моря или Индийского океана, котида льных линий вы не увидите. У них свое, строго определенное назначение: они показывают движение приливной волны в море или океане. И карты, на которые нанесены эти линии, называются котида льными картами.

Перед океанологом лежит сводка данных о том, когда в различных пунктах Белого моря наступает полная вода. Он выбирает пункты, где это происходит в один и тот же час, наносит соответствующие точки на карту и соединяет их общей линией. Каждая линия фиксирует положение гребня приливной волны, а вся карта в целом дает представление об особенностях распространения приливной волны, о том, где ее гребень будет через час, через два и т. д. Но часы это не земные, а лунные. За исходное время условно принимается момент прохождения Луны через меридиан Гринвича.

Говоря о сводке, лежащей перед океанологом, мы, признаться, чуть погрешили перед истиной. Не так-то это все просто... Чтобы точно изобразить движение приливной волны, надо иметь очень много данных о колебаниях уровня у берегов и вдали от них. А наука еще не располагает средствами, которые обеспечивали бы измерения в открытом океане, да и на побережье наблюдения ведутся далеко не всюду. И когда рассматриваешь котида льную карту, понимаешь, что даже приближенная картина прилива, которую она дает, это результат большого труда, кропотливых измерений и расчетов.

Вот уже полтора с лишним века создание котида льных карт остается одной из самых сложных, до конца не решенных задач океанологии. Первым, кто попытался справиться с ней, был

англичанин Томас Юнг, на редкость одаренный, разносторонний ученый.

Он работал в Бюро долгот, издавал „Мореходный календарь“. В 1807 году Томас Юнг составил котидальную карту для морей, омывающих берега Великобритании, положив начало новому разделу океанологии.

Видимо, опыт Т. Юнга натолкнул У. Уэвелла, другого английского ученого, на мысль о котидальной карте Мирового океана.

После Лапласа, показавшего исключительную сложность такого явления природы, как прилив, никто не надеялся, что найдется какое-то волшебное уравнение, по которому можно будет точно вычислить прилив в любом месте и в любое время. Чисто теоретическими методами общую картину распространения приливной волны в океане не получишь. Выход один: взять за основу наблюдения, исходить из них в расчетах. Мы увидим тогда общую картину приливов в океане, не безукоризненно верную, но все же близкую к действительности.

Впервые в истории океанологии Уэвелл добился, чтобы одновременно в 666 пунктах побережья Северной Атлантики были проведены наблюдения. Они начались в июне 1835 года и продолжались более трех недель. Это было, по тем временам, много, но гораздо меньше, чем требовала задача, которую поставил перед собой Уэвелл. По прибрежным районам Южной Атлантики и других океанов у него было очень мало сведений, а измерений в центральной зоне, в открытом океане, не было никаких. Тем не менее ученый считал, что свой замысел он сумеет осуществить.

Уэвелл исходил из предположения, что приливная волна Мирового океана рождается в южном полушарии. Сама карта нашей планеты наводит на это предположение. На южной половине Земли больше воды, чем на северной. В южном полушарии четыре пятых площади заняты морями и океанами, а в северном — три пятых. Важно еще то, что на юге земной шар охвачен широким океаническим поясом. Оттуда, по гипотезе Уэвелла, поступательная приливная волна идет на север.

Ученый составил карту, где каждая котидальная линия показывает момент полной воды, а промежутки между линиями соответствуют расстоянию, которое полусуточная приливная волна проходит за один час. Работа Уэвелла была встречена с интересом в научных кругах. Но через несколько лет выяснилось, что гипотеза не только не подтверждается наблюдениями, но и опровергается новейшими теоретическими исследованиями. Нечасто случается, чтобы ученый добровольно и открыто признал свои взгляды ошибочными. Уэвелл нашел в себе мужество именно так и поступить.

В сороковых годах прошлого века первая котидальная карта появилась и в России. Ее автором был выдающийся мореплаватель и ученый Ф. Литке. Он составил первую схему ко-

тидальных линий Баренцева и Белого морей. Позднее, после плавания на шлюпе „Сенявин“ у Алеутских, Каролинских и Марианских островов и у Камчатки, Литке опубликовал котидальную карту северной части Тихого океана.

Морепоплаватель подчеркивал, что его выводы надо считать предварительными. Он сетовал на то, что слишком малое количество наблюдений не позволяет дать истинное описание приливов.

На Руси, как говорят летописи, наблюдения за уровнем воды начались много веков назад. В „Каталоге“, изданном в 1744 году, наряду с астрономическими данными, было уже уделено место и приливам. В таблице сообщалось значение прикладных часов для восьми пунктов побережья Белого моря и Мурмана.

Наблюдения за приливами вели русские моряки и в первые десятилетия XIX века. П. Анжу и Ф. Врангель собрали сведения о колебаниях уровня моря у северо-восточного побережья Сибири, а П. Пахтусов и А. Цивилька — о приливах в Баренцевом и Карском морях. Материалами этих экспедиций и пользовался Ф. Литке, составляя первую русскую котидальную карту.

Он не обольщал себя надеждой, что его карты принесут заметную пользу морепоплавателям. Ведь в его распоряжении был все-таки очень небольшой запас наблюдений: по пятидесяти двум пунктам в Белом и Баренцевом морях, по двадцати шести — в Тихом океане.

Как же расширить сеть пунктов? Литке было ясно, что этого не добиться, если не изменить способ измерений. Все оборудование поста состояло тогда из водомерной рейки.

Нужен был решительный шаг, чтобы изменить положение. Он принялся за разработку прибора, какого еще никогда не бывало на морях. Это был механический приливомер.

Литке посвятил в свой замысел выдающегося русского ученого академика Э. Ленца. Совместными усилиями физика и океанолога был создан прибор, получивший название „приливомер Литке — Ленца“, — автомат, который вел непрерывный учет приливов и отливов.

Конструкция, предложенная Литке и Ленцем, оказалась на редкость долговечной. К схеме их приливомера близки по своему устройству мареографы, которые и сегодня применяются в нашей стране. Прибор Литке и Ленца был значительно усовершенствован механиком Главной физической обсерватории К. Рорданцем. Записями его мареографов пользуется уже не одно поколение океанологов, изучающих приливы.

В конце прошлого века, когда наблюдения приняли сравнительно широкий размах, англичанин Р. Гаррис предпринял новую попытку составить котидальную карту и опубликовал ее в 1900 году. У него были немалые преимущества перед предшественниками, он имел в своем распоряжении точные результаты

гармонического анализа приливных волн по ста восьмидесяти трем пунктам, расположенным на берегах Мирового океана. Но ошибочный путь, избранный Гаррисом, обрек его попытку на неудачу. Он строил карту так, чтобы доказать, будто бы приливы вызываются стоячими волнами, возникающими под воздействием лунно-солнечного притяжения.

Гаррис разделил океан на районы, в которых полные колебания возникающей волны должны были совпадать с периодичностью приливообразующих сил. Но этот раздел был сделан им произвольно, без учета особенностей дна и берегов. Видные океанологи, среди них и Дарвин, подвергли карту критике и доказали теоретическую и практическую несостоятельность работы Гарриса.

Новые имена, новые попытки... Поиски продолжались, они продолжаются, в сущности, и по сей день.

Океан уже не делили на „ломти“, подобно Гаррису. Рассматривали прилив как сумму стоячих волн, вносили поправки на трение и отклоняющую силу вращения Земли. Привлекли на помощь гидродинамику — науку о движении жидкости, приобрели мощного союзника — электронную вычислительную технику.

Во второй половине двадцатого века сотни мареографов контролируют морскую поверхность, изо дня в день записывают колебания уровня у берегов. Но открытый океан все еще никем не „открыт“ для приливных наблюдений, особенно в морских глубинах. На глубине десяти километров столб воды давит с силой, равной тысяче атмосфер. Вам надо измерить приливные колебания, которые составляют всего лишь десятки сантиметров, а то и меньше. Давление такого столбика воды не достигает и десятой доли атмосферы. Отыскать ее при этих условиях — почти то же самое, что найти иголку в стоге сена.

Но глубоководные самописцы „встанут на вахту“ в Мировом океане не сегодня и не завтра. Пройдет немало времени, прежде чем они поделятся с наукой своей информацией. А работу над котидальными схемами откладывать нельзя. Они нужны и для мореходной практики, и для теоретических исследований.

Недавно в нашей стране создана новая котидальная карта трех океанов — Атлантического, Индийского и Тихого. Она свободна от недостатка, свойственного некоторым картам, опубликованным раньше. До тех пор, пока это касалось побережья материков или островов, за каждой котидальной линией стояли ряды наблюдений. Не имея таких же наблюдений для открытого пространства, авторы карт заполняли пробелы интерполяцией.

Советский океанолог К. Тирон от логической интерполяции полностью отказался. Вместе с группой сотрудников он составил котидальную карту большей части Мирового океана, целиком построенную на сложных математических расчетах.

Свои достоинства есть и у карт, рассчитанных в Институте океанологии Академии наук СССР известным исследователем К. Богдановым совместно с В. Магариком. Они вычислены электронными машинами, решившими для этого сложные гидродинамические уравнения.

Недавно океанологи Г. Пекерис и И. Аккада опубликовали более подробную карту.

Если открытый океан с его течениями, внутренними волнами можно, условно говоря, считать направлением главного удара науки о приливах, то успех наступления зависит и от флангов, нацеленных на побережье. И тут советские ученые тоже продвигаются вперед.

Потомки «Персея»

Экспедиция готовилась в тайне. Ее называли „Экспедицией о возобновлении китовых и других звериных и рыбных промыслов“. Истинная же ее задача состояла в том, чтобы пройти через Северный Ледовитый океан в Берингов пролив и достигнуть Камчатки, иначе говоря — проложить Северный морской путь.

Ломоносов не дожид до того дня, когда корабли под командованием Василия Чичагова оставили за кормой Кольский залив и взяли курс на Шпицберген. Но и замысел экспедиции, и ее подготовка связаны с его именем.

Для экспедиции Василия Чичагова Ломоносов написал инструкцию „к поисканию пути на Восток Северным океаном“. Примечательно, что в этой инструкции он уделит заметное место приливам. Он подчеркивал, что по приливам можно судить, находятся ли корабли поблизости от берега или в открытом море: „...чем больше приливы с Луной сходятся, тем паче уверяют о пространстве моря“.

Учение о приливах только начинало входить в жизнь, еще не была создана динамическая теория, наука нащупывала методы изучения колебаний уровня моря. А Ломоносов уже видел необходимость экспериментов, предугадывал, что без исследования приливов нельзя будет проникнуть в законы жизни океана.

Выдающийся деятель русского флота, мореплаватель, ученый-океанограф С. О. Макаров многими достижениями обогатил мировую науку. Названия десяти экспедиционных кораблей, вошедших в историю исследований океана, написаны на фронтоне Океанографического музея в Монако. Среди них и русский корвет „Витязь“, на котором Макаров совершил кругосветное плавание.

Когда „Витязь“ посетил Лиссабон, Макаров провел исследование приливных течений в устье реки Тахо. За тысячи миль

от Лиссабона, у берегов Южно-Китайского моря, его тоже заинтересовали приливные явления. Используя время полной воды, океанские суда проходят в Хо Ши мин, который стоит на реке Сайгон. Чтобы выяснить, в какой связи находятся воды реки и моря, здесь были проведены наблюдения за приливами.

Подводя итог своим исследованиям, он показал, что приливо-отливные течения имеют важное значение для перемешивания морских вод. Он пришел к такому выводу в итоге наблюдений в Ла-Манше, Формозском и Курильском проливах.

Достижения Макарова и других исследователей океана обобщил в своей книге „Океанография“ известный русский ученый Ю. М. Шокальский.

В своем главном исследовании и в отдельной книге, изданной позднее, Шокальский изложил стройное, законченное учение о приливах в его историческом развитии, от древних времен до начала двадцатого века, от первых наблюдений до проблемы использования приливной энергии.

Развитие советской океанологии началось после декрета, подписанного В. И. Лениным в марте 1921 года. Ленинский декрет заложил основы научного учреждения, какого никогда не было в стране. Был организован Плавучий морской научный институт.

Через год был спущен на воду „Персей“ — первое специальное экспедиционное судно Плавучего научного института. „Персеем“ открывается перечень советских кораблей, ставших лабораториями в морях и океанах.

Наследники традиций Ломоносова и Макарова — океанографы, гидрологи, гидробиологи, гидрофизики и гидрохимики — заново „переписали“ карту морей, омывающих берега нашей страны.

Впервые в истории изучения Арктики были проведены одновременные наблюдения за приливами в семнадцати пунктах северных морей. Ученые обследовали все прибрежные районы страны, где отмечаются колебания уровня моря. За первые два десятилетия после Октября в семь раз увеличилось число пунктов, по которым имелись подробные сведения о приливах. Были всесторонне исследованы приливо-отливные явления в Ледовитом океане и северной части Тихого океана. Моряки, уходящие в далекие плавания, получили приливные таблицы и для советских, и для зарубежных портов. Используя обширный материал наблюдений, океанологи обратились к нерешенным проблемам теории приливов и приливо-отливных течений.

Советская океанология начинала с недолгих экспедиций в ближние моря, ныне поле ее деятельности — весь Мировой океан. Потомки „Персея“ — это „Михаил Ломоносов“, „Витязь“, „Академик Курчатов“, это большой научный флот, насчитывающий десятки экспедиционных судов.

Нужно постоянно, непрерывно вести наблюдения, нужно бесперебойно получать информацию о приливных волнах, о все-

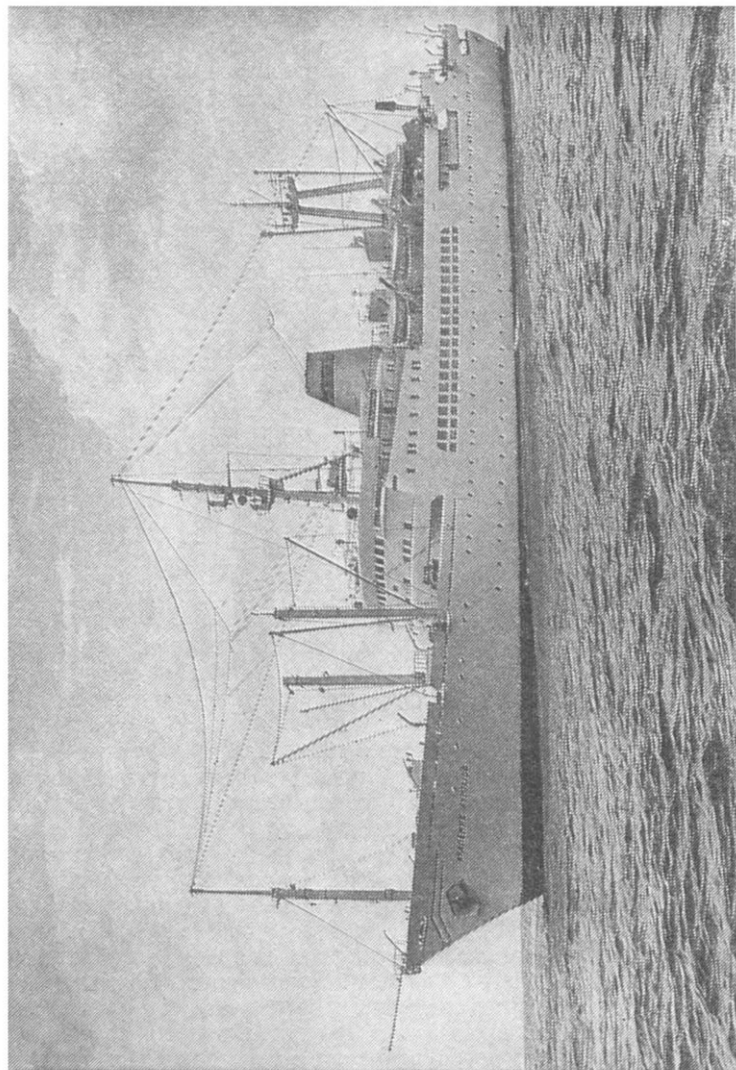


Рис. 20. Большой флот науки. Научно-исследовательское судно «Академик Курчатов».

возможных изменений, которые происходят с ними, когда они отклоняются от обычных направлений или нарушают свое постоянное „расписание“. Тогда от мореведов можно было бы ожидать обоснованных расчетов и долгосрочных прогнозов, как это делают метеорологи для воздушного океана.

На бескрайних пространствах Мирового океана сети постоянных океанографических наблюдательных станций еще нет, и это ставит океанологов в более сложные условия, чем те, в которых работают метеорологи. Ныне на помощь океанологам приходят автоматические буйковые станции.

На месте, где будет работать станция, останавливается экспедиционное судно. Грузовая стрела опускает за борт на стальном тросе якорь-кошку с цепью. Трос уходит под воду не сразу, а с остановками через каждые пятьдесят или сто метров. Остановили, прикрепили к тросу кронштейн, на нем подвесили прибор — и отправили в море. Так постепенно трос начинает напоминать этажерку с „полочками“ для разных приборов. Удерживает все это сооружение в вертикальном положении большой пластмассовый или стальной буй — оттого станция и называется буйковой.

Приливникам из всех приборов станции больше всего нужны буквопечатающие вертушки, с их помощью они „вылавливают“ в океане приливные течения.

Если вы опустили прибор, чтобы он вел записи каждый час, то можете два месяца не вытаскивать вертушку из моря, все это время она должна исправно действовать без всякой регулировки и осмотра.

Измерения, которые выполняют автоматические буйковые станции, снабжают науку о приливах сведениями из самых отдаленных тайников океана. Если бы такие станции были всюду, где они необходимы, да не временные, не на короткий срок, а постоянно действующие... Выигрыш был бы весьма ощутим, и не только потому, что наука получила бы не разрозненную, отрывочную информацию, а планомерную и систематическую, но еще и по той причине, что измерения автоматических станций точнее и надежнее тех, что делают с борта корабля.

Около двадцати лет назад начались рейсы „Михаила Ломоносова“ в Атлантический океан. Что ни плавание, то новые сведения для науки. Гирлянды самописцев на буйковых станциях сутки за сутками „дежурили“ в океане, аккуратно выполняя задания ученых. Особенно успешными были исследования течений Атлантики. В ряде районов были проведены наблюдения за скоростью и направлением течений на разных горизонтах, вплоть до придонных. Океанологи получили новые данные о приливных течениях, о внутренних волнах. В зоне Гольфстрима в Северной Атлантике выяснилось, в частности, что здесь наблюдаются и суточные, и полусуточные приливные течения и что скорость их меньше, чем у постоянных течений.

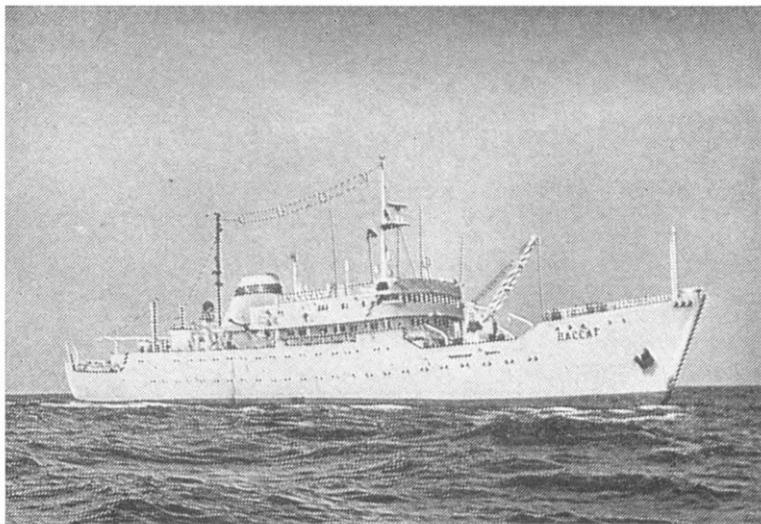


Рис. 21. Научно-исследовательское судно «Пассат».

Трудную вахту в океане несут и малые суда. А к делам этих младших собратьев „Академика Курчатова“ стоило бы присмотреться. Рядом с крупными кораблями научного флота „Айсберг“ и „Океанограф“ выглядят более чем скромно. Уступают, как говорится, по всем статьям. Размеры раз в пятнадцать меньше, скорость хода вдвое ниже, лабораторное оборудование небогатое. Но есть у „малышей“ преимущества: любой маневр можно выполнить быстрее и легче, ставить буйковые автономные станции удобнее, обходится экспедиция дешевле.

С палуб „Океанографа“ и „Айсберга“ уходили в глубину Северной Атлантики самописцы, подвешенные к тросу буйковой станции. Нелегко это сделать экипажу малого судна. Волны не дают ни минуты покоя, течение сносит с курса. Но участники экспедиции доказали, что и на малых судах можно решать серьезные научные задачи.

После ряда экспедиций больших и малых судов океанологи получили более полное и ясное представление о приливных явлениях в Северной Атлантике и о том, как влияют приливы на изменчивость течений в Фареро-Шетландском проливе. Ученые установили, что приливные течения в этом районе часто господствуют над остальными течениями.

Впрочем, все это только первые итоги. Исследования продолжаются.

А есть ли в океане прилив?

Не спешите с ответом, если даже, как мы надеемся, вы прочитали в книжке все ее главы, вплоть до этой страницы.

В самом деле, есть ли в океане прилив? Или наука его „придумала“? И принимает за прилив совсем другие, еще не известные ей явления?

Такие сомнения недавно появились у людей, долгие годы изучавших океан. Впору было повторить древнее изречение, которое, кстати сказать, нередко вспоминается исследователям в любой отрасли науки: „я знаю только то, что ничего не знаю“.

Поставьте себя на место инженера-океанолога, работающего, например, в Мурманске, в морском отделе обсерватории Управления по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Наш инженер-океанолог сидит у себя в отделе за столом, размышляет над таблицами с колонками цифр. Недавно вернулось экспедиционное судно. В Баренцевом море, в районе рыболовного промысла, велись наблюдения за течениями. Обследовали всеми способами — и с борта корабля, и с помощью самописцев многодневной буйковой автоматической станции. Теперь итоги наблюдений, обработанных на счетных машинах, лежат перед океанологом. Они-то и навели его на невеселые размышления.

Ошибка, что ли? Наверное, кто-то напутал, надо проверить... Но проверка не приносит ничего утешительного. Ошибок нет, цифры бесспорные. А между тем эти цифры — сплошная загадка. Ничего общего с прошлогодними.

Тот же район, то же время года, наблюдения ведутся систематически, и вдруг вы сталкиваетесь с таким фактом: гармонические постоянные не совпадают. Те самые гармонические постоянные, которые отражают только местные условия, а не причудливо, но закономерно меняющиеся силы лунно-солнечного притяжения. И вот эти-то *постоянные* потеряли свое постоянство.

Пришлось пересмотреть материалы экспедиционных наблюдений за несколько лет. Нынешние постоянные разошлись и с прошлым годом, и с позапрошлым, но совпали с теми, что были три года назад. По каким причинам — никому не ведомо...

Полбеда еще, если бы это случилось в одном Баренцевом море. Недоумевают океанологи, ведущие наблюдения и на Дальнем Востоке, и в районе Исландии, и в Северном море. Методы анализа вроде бы безупречны, испробованы на практике миллионы раз и всегда давали хорошие результаты.

Тогда и начали раздаваться голоса, спрашивающие: а наблюдаем ли мы приливные явления в океане? Да и вообще, есть ли там приливы? Давайте посмотрим правде в глаза. Морской прилив, как все мы знаем, вызывается космическими силами, тут спорить не о чем. Космические силы действуют по-

стоянно, это тоже бесспорно. Следовательно, и прилив должен быть явлением постоянным. Так это и есть, но только у побережья. Там у природы мало расхождений с теорией. Там, как известно, приливы большие, и наблюдаются они постоянно. Известно также, что они строго соответствуют астрономическим условиям.

А что мы имеем в открытом океане? Ничего постоянного, какой-то хаос случайных явлений. Не будем больше обманывать самих себя, не будем больше гоняться за призраком. Видимо, теория нуждается в пересмотре. Надо признать, что она верна лишь в известных пределах и что у берегов приливы, разумеется, есть, а в открытом океане их вообще не бывает.

Слышались и другие голоса. Откуда, говорили они, берутся приливы у побережья? Ведь приливная волна приходит к суше из океана. Нет, прилив в открытом морском пространстве — это не миф, не фантазия теоретиков, просто-напросто мы не можем его найти. Не можем потому, что в методах гармонического анализа выявился изъян. Десятилетиями их применяли, не подозревая об этом, а теперь ясно, что они далеки от совершенства, от универсальности. Для прибрежных районов они хороши, слов нет. А открытый океан требует других методов, мы их пока не знаем, и только когда они появятся, можно будет положить конец всем приливным недоразумениям и просчетам.

Забегая вперед, скажем, что приливная теория, созданная классиками океанологии, с честью прошла чистилище сомнений и споров. „Исследование истины“ показало, что приливы в океане были, есть и будут. И что математические методы гармонического анализа не заслуживают ни малейшего упрека.

Откуда же недоразумения и просчеты?

Взглянем снова на берега Кольского залива. В 1906 году на Мурмане, в Екатерининской гавани, был установлен ма-реограф, в следующем году — еще один, в Териберской губе. Приборы безотказно отмечали колебания уровня, серии наблюдений были обработаны методами гармонического анализа, и вскоре вышел из печати „Ежегодник приливов на Мурмане“. Минувло более полувека, наука ушла вперед, а гармонические постоянные, полученные тогда, не сданы в архив. До сих пор их используют для расчетов и предвычислений приливных колебаний у Мурманского побережья.

Затем наступило время, когда ученые занялись исследованиями прилива вдали от берегов. Первые наблюдения за приливными течениями в Баренцевом море тоже не давали повода для сомнений. Да и откуда было им взяться? Наблюдения велись изредка, в короткие сроки, обычно не больше суток. Чтобы сделать правильные выводы, океанолог должен иметь возможность сопоставить новые наблюдения с прежними. А если они только начинаются, сравнивать вам не с чем, материала за ряд лет у вас нет.

Так и шло, без сучка и задоринки, результаты считались удовлетворительными, пока экспедиционные исследования не расширились, охватили большие пространства морей и океанов и стали повторяться год за годом. После этого и начались неурядицы, математика принялась мстить за неверную физику.

На всем земном шаре не найдется места, где приливная волна оставалась бы в гордом одиночестве. У нее всегда есть попутчики, соседи, друзья и недруги. Порой они настолько назойливы и сильны, что в шумном, нестройном хоре тонет „мелодия“ приливной волны. Если вы не уловите ее, не очистите от посторонних примесей, облик этого физического явления предстанет перед вами в искаженном виде.

Без больших усилий вам удастся освободиться от помех у берега. На Мурмане приливные колебания в среднюю сизигию равны тремстам десяти сантиметрам, а на долю остальных колебаний приходится обычно не больше тридцати сантиметров. Здесь прилив так четко отграничен от попутчиков и соседей, его удельный вес так велик, что достаточно отбросить очевидные помехи — и вы получите наблюдения, верно отражающие действительность.

Прилив, обычно мощный и приметный у берегов, ничем особенно не выделяется в океане и некоторых морях. Скорость приливного течения зачастую невелика, другие течения его обгоняют. Но больше всего осложняют задачу исследователя внешние вмешательства во „внутренние дела“ волны, рожденной лунно-солнечным притяжением.

Приходится кропотливо очищать приливную волну от искажений. Мы расскажем дальше, как это делается, а пока — продолжим разговор о помехах.

Их создает и человек. Строит морские порты, прорывает каналы, начинает сооружать приливные электростанции. В тех местах, где вырастают волноломы и дамбы, меняется извечный ход прибрежных течений. Что принесет это людям, их сооружениям? Как будут действовать необузданные силы прилива — на пользу или во вред?

Газеты всего мира пишут о трагической судьбе Венеции, города ста восемнадцати островов и ста шестидесяти каналов, города, который Гёте называл „мечтой, сотканной из воздуха, воды, земли и неба“, чудесным символом победы разума и труда человека над природой. Наводнения угрожают Венеции всякий раз, когда штормы (особенно осенью и весной) совпадают с большими приливами. Это может привести к непоправимой беде. По подсчетам специалистов, если все силы, вызывающие наводнение, будут действовать одновременно и с полной мощностью, море целиком поглотит Венецию.

Море наступает на город широким фронтом. Венеция расположена на архипелаге в центре лагуны — большого соленого озера, отделенного от Адриатики узкой цепью островов и полуостровов. Через проходы между ними — Лидо, Маламокко и

Кьоджа — морские приливы проникают в лагуну и входят в лабиринт городских каналов.

На приливах лежит немалая доля вины за наводнения. Но еще больше виновата лагуна: дно ее оседает. Потому и возникла исключительная опасность для Венеции — она постепенно погружается в воду. А прилив? Иногда он угрожает городу гибелью. И он же изо дня в день его спасает.

У стен Венеции он несет необычную службу, очень важную для города. Прилив здесь и землечерпалка, и санитар.

Дважды в сутки отливные течения вычерпывают ил, уносят его из лагуны, помогают ей жить одной жизнью с морем, принимать корабли, помогают Венеции оставаться большим портом. Без приливов не могли бы существовать и каналы города. Для венецианцев родство слов „канал“ и „канализация“ — самое прямое и близкое родство. Туда, где проплывают гондолы с туристами, сливаются и городские стоки. А приливы два раза в сутки исправно очищают каналы, промывают их, заменяя загрязненную илистую воду свежей морской водой.

Но с тем же постоянством приливы наносят непоправимый ущерб Венеции. Течения, избавляющие город от эпидемий, подкапываются под прекрасные здания, разрушают мосты и набережные. „На совести“ прилива — и болотистые отмели лагуны, „барене“, которые затопляются в полную воду, и пляжи Лидо, теряющие свой бархатистый песок. И, наконец, высокая вода, как называют венецианцы большой прилив, когда волна, пришедшая с моря, врывается в город, заливая первые этажи его домов.

Шли годы, угроза возрастала, все громче раздавались в мире голоса, призывавшие отвести беду от Венеции. Но и среди ученых не было единодушия в том, какие меры надежно предохранят от разрушения город ста восемнадцати островов. Взгляды специалистов настолько противоречивы, что приводят к прямо противоположным выводам.

Новые сооружения не усмирят приливы, а сделают их еще более опасными, утверждают одни.

Другие эксперты уверяют, что страхи сильно преувеличены. Когда строительные работы изменят форму лагуны, уменьшится и сила приливного течения. Можно будет не опасаться за участь архитектурных памятников, прекратятся опустошительные наводнения. Венеция понесет только один урон: пострадает ее санитарная служба, приливы будут хуже очищать лагуну и каналы.

Пройдет немало времени, прежде чем выяснится, кто же прав. В Падуанском университете создана модель венецианской лагуны. Исследования должны дать ясное представление, какие последствия для лагуны будет иметь вмешательство человека — как изменится ее режим и, в частности, приливные и отливные течения.

Задолго до того, как морские буксиры привели в Кислую

губу наплавной блок электростанции, модель ее основных сооружений появилась в лаборатории научно-исследовательского института гидротехники. Приборы измеряли скорость водных потоков при различных условиях работы ПЭС. Эксперименты показали, какие нужны крепления в бьефах станции, чтобы избежать размыва.

Лаборатория может обеспечить исследователю любой прилив, который он „закажет“. Прозвучал сигнал, двинулась тележка со щитом, перегораживающим небольшой бассейн. Волнопродуктор заменяет в лаборатории Луну и Солнце. Под его нажимом вода из бассейна устремляется к модели порта точно так же, как и море во время прилива. В лабораториях работают приливные машины. По заранее заданной программе электронная аппаратура, приборы и механизмы автоматически регулируют колебания воды — моделируется прилив.

Широкие и сложные модельные исследования провели и французские специалисты, проектировавшие приливную электростанцию на реке Ранс. Потом занялись экспериментами, необходимыми для будущих энергетических строений на морских берегах. Опыты приняли такой размах, что была построена модель побережья Ла-Манша, на которой изучаются приливные колебания уровня в проливе от Северного моря до Атлантики.

Шаг за шагом

Ни в одной лаборатории нет модели Мирового океана. Даже при очень сильном уменьшении, в масштабе 1 : 100 000, у этой модели были бы чудовищные размеры: три тысячи шестьсот квадратных километров — площадь, на которой уместятся два Больших Токио.

Но без моделирования приливникам очень трудно обойтись. Однако для того чтобы проверить расчеты, далеко не всегда нужно иметь под руками миниатюрную копию, как „две капли воды“ похожую на телевизор или мост, прокатный стан или комбайн. И даже на океан.

В одной из лабораторий Ленинградского университета изучают приливы на модели Северного Ледовитого океана. Если вас не предупредят, вам и в голову не придет, что эксперимент имеет хоть какое-то отношение к морской стихии. Вы увидите пучки разноцветных проводов, сопротивления, электронные осциллографы. Включается ток, измеряется напряжение... На этой электромодели уже рассчитаны гармонические постоянные некоторых волн приливного спектра.

Электричество и приливы — что общего? Движение приливной волны в океане и тока в электрической цепи описывается одинаковыми уравнениями. При всем своем бесконечном многообразии природа наделила множество физических процессов

глубоким внутренним сходством. И математика наиболее полно и точно выражает важнейший закон природы — ее единство.

Вы поймете, почему это так, если вспомните, что движение в окружающем нас мире подчиняется единому закону, открытому Ньютоном. Футбольный мяч летит над полем стадиона... Снежная лавина сорвалась с горы... Лодка плывет по реке... Охотник выстрелил из двустволки... Для футбольного мяча, лавины или лодки одинаково верен принцип: „произведение массы тела на его ускорение в свободном движении равно сумме сил, действующих на тело“. Приливная волна не исключение, ее динамика основана на этом же законе Ньютона.

Математическая общность различных физических явлений и сделала возможным электро моделирование. Нет надобности ни в бассейне, ни в приливопродукторе, ни в приборах, измеряющих скорость водных потоков. Приливы в океане исследуются по сходству с закономерностями, связывающими силу и напряжение электрического тока.

Модель воспроизводит любые приливные колебания. Вы хотите знать, как повлияет на них изменение астрономических условий. Или неблагоприятная метеорологическая обстановка. Или уточнить, как отражается на ходе приливного течения тот или иной рельеф дна. Электро модель выдаст вам ответ с молниеносной быстротой.

Но есть и другие вопросы, их много. Допустим, из того района моря, который вы изучаете, вернулось экспедиционное судно. Вы знакомитесь с наблюдениями, сопоставляете измерения и видите, что тут температура выше, там ниже, тут соленость больше, там меньше. Что происходит с приливным течением, когда оно встречает на своем пути неоднородные водные массы? Известно, что при повышении температуры воды меняется направление приливных потоков, они как бы начинают блуждать. Но никто еще не нашел формулы этих изменений, никто не знает, какими числами выражается зависимость между температурой воды и неустойчивостью потока. И тут вам не поможет даже электро модель.

Не в меньшей мере, чем другие науки, океанология связывает свое будущее с электро моделями и электронными машинами. Они обеспечивают применение усовершенствованных методов расчета, ускоряют вычисления. Правда, приливные расчеты настолько сложны, что не всегда они „по плечу“ даже электронным машинами. Пока они справляются лишь с упрощенными схемами анализа приливных колебаний.

Но главное все же не в технике.

Пути в неизвестное прокладывают люди, а не вычислительные установки. Решающее слово остается за теорией, познающей природу. Теория приливов решила *труднейшие задачи*, проникла в сущность приливообразующих сил, установила законы их воздействия на водные массы, создала методы прогнозиро-

вания, отвечающие практическим запросам мореплавания и гидротехнического строительства. И в то же время теория пока не в состоянии распутать нехитрый, казалось бы, узелок: какая зависимость связывает температуру воды с переменной направления приливного потока. Не в состоянии прошупать все рычаги и шестеренки механизма, формирующего приливную волну в реальном, а не условном, морском бассейне.

И это не вина, а беда теории. Ходячее выражение „внешность обманчива“ звучит вполне уместно, когда речь идет о приливе. Его внешний облик подчас выглядит совсем простым. На ваших глазах повышается уровень моря, любой может взять рейку с делениями и узнать, на сколько поднялась вода. Но за этой простенькой внешностью скрывается такая „начинка“, над которой ломают голову поколения ученых. Почему же наука, одержавшая столько побед над природой, еще не сломила ее сопротивление на этом участке?

Раньше всех сдалась космическая „крепость“. Свои астрономические проблемы теория приливов решила успешно.

Более серьезные трудности ставит перед теорией планетарная „стратегия“ прилива. Он действует сразу на трех фронтах, приливные явления связаны со всеми тремя сферами Земли — водной, воздушной и твердой. В этом и коренятся причины исключительной сложности и многообразия приливов Мирового океана.

Едва лишь теория приливов покидала сушу и отправлялась в открытый океан, она вместо морского бассейна естественной неправильной формы, созданной самой природой, начинала изучать условный бассейн с простейшей геометрией, которая без затруднений согласуется с математической схемой.

Жесткие рамки этих схем ломают новейшие геофизические теории приливов. Они стремятся стереть грань между условным и реальным, между лабораторными расчетами и „правдой жизни“ океана.

Проблема номер один для современных мореведов-приливников — это открытый океан. Наблюдения там, как мы знаем, не отличаются ни полнотой, ни постоянством, хорошо изучены колебания уровня моря только у побережья. А задача состоит в том, чтобы исследовать движение приливных волн вдали от берегов. Геофизические теории и помогают решению этой задачи, сочетая углубленный анализ наблюдений с широким применением методов гидродинамики.

Расскажем подробнее, в чем новизна геофизического подхода к приливам. Океанолог собрал материалы наблюдений у побережья и на водных границах интересующего его бассейна. Он располагает, как говорят, только краевыми значениями. Теперь надо выяснить, как распространяются приливы по всему бассейну. Если у океанолога будут безупречно чистые исходные данные, то и далеко от побережья, в центре бассейна, расчеты подтвердятся. Но что такое чистые исходные данные?

Вернемся к инженеру-океанологу, размышляющему в Мурманске над таблицами. Он убедился, что гармонические постоянные теряют порой свое постоянство. Где-то приливная волна встретила сопротивление ледяного покрова. Где-то помешал ветер, где-то сток речных вод, вливающих в море. Нужно получить чистые данные, избавленные от всех этих помех.

Фильтруя, ученые пропускают материалы наблюдений через математические „сита“. Сначала отсеивается мелочь, колебания с коротким периодом, не превышающим несколько минут. Это ветровые волны. Потом наступает очередь более солидных колебаний с периодом в двенадцать и двадцать пять часов. К ним отношение самое почтительное, они-то и создают приливы. Наконец отделяют колебания с периодом в несколько суток, отголоски прошедшего над океаном циклона. Чистые наблюдения пройдут через спектральный анализ. Затем будут получены гармонические постоянные — исходные данные для расчетов по всему пространству бассейна.

Тут снова вступает в действие математика. Но прежде чем повести трудный разговор об уравнениях, скажем сначала о некоторых свойствах воды.

Если по воде в сосуде „ударит“ сильная электрическая искра, то прогремит взрыв — это известно уже давно. Вода может превратиться в заряд взрывчатки потому, что обладает редкостным свойством — она не сжимается. И есть у водной среды еще одно важное физическое свойство — неразрывность.

Само собой разумеется, что в воде не бывает, да и не может быть, никаких трещин, отверстий, пустот... Вам надо полить цветы. Вы берете обыкновенную лейку и опускаете ее в пруд недалеко от берега. Вода хлынет в нее со всех сторон, и через отверстие сверху, и через каждую дырочку решетки на ее носике. Допустим, вам захочется продлить этот простейший опыт. В наполненную до краев лейку вы начнете добавлять из ведра. Вода пойдет наружу тоже из всех отверстий, до единого. И что очень существенно, она не „припрячет“ ни капли, сколько вы добавите, столько и выльется. Водный поток неразрывен, это всегда сплошной поток, в его толще частицы вплотную примыкают одна к другой. Когда вы добавили в лейку воды, она не могла сжаться, потесниться, как пассажиры на скамейке трамвая. Добавка нарушила ее покой, вытолкнула ее частицы из лейки, началось движение водного потока.

Состояние воды повсюду — от самой прозаической лужи до Мирового океана — математика описывает двумя уравнениями гидродинамики — уравнениями неразрывности и движения. На эти уравнения и опирается наука о приливах, когда переходит от побережья к открытому морю. Узок круг ее наблюдений — только по краям, на границах бассейна. Но уравнения гидродинамики „видят“ далеко. Они обеспечивают океанологам расчеты приливных колебаний по всей площади бассейна.

Союз океанологии с математикой никогда не был таким

прочным и всеобъемлющим, как в наш век. И союз этот принес мороведам не только успехи, но и немалые заботы. Решение приливных уравнений сопряжено с такими математическими трудностями, которые и поныне до конца не преодолены.

Большой вклад в теорию приливов внесла группа советских ученых, возглавляемая известным исследователем Л. Сре-тенским. Его перу принадлежат фундаментальные труды, получившие мировое признание. Это и общая теория приливов в море с различной плотностью воды. И работы, посвященные приливам долгого периода, движению приливных волн в Полярном бассейне. И теоретические исследования, доказавшие применимость простых схем приливных расчетов для реального, а не фиктивного моря заданных геометрических форм.

Что бы ни предпринимал современный океанолог для изучения приливов открытого моря, он неизменно обращается к математике. Без нее он не сделает ни одного шага. Но пройти ведь надо пространство в тысячи и тысячи километров. Каким же шагом идти? Движение воды по дифференциальным уравнениям можно вычислить до мельчайших отрезков времени и расстояний. До секунд, до миллиметров, до их долей. Чем меньше отрезки, тем расчеты будут точнее, но и вычислений будет неопределимое количество.

Приходится так соизмерять шаги, чтобы добиться должной точности и не утонуть в потоке вычислений. А главное — сохранить равномерность, последовательность шагов, продвигаться шаг за шагом по следам приливной волны.

„Шаг за шагом“ — так и называют океанологи этот метод расчетов. В их лаборатории карта бассейна теряет свой привычный географический вид. Ее покрывает сетка, расчерченная на квадраты. Важно, конечно, выбрать правильный масштаб, если он будет слишком мелким, пострадает точность расчетов. А затем приступают к решению гидродинамических уравнений. От одного квадрата сетки к другому, соседнему, от него дальше, к следующему. Решая уравнения, „перешагивают“ сразу через десятки или сотни километров. Сетка дает лишь приближенное представление о движении приливной волны. Но зато метод „шаг за шагом“ позволяет охватить всю площадь бассейна.

После этого океанолог снова проходит по сетке. Теперь в расчеты включается время. Известно, когда гребень волны достигнет границ бассейна. А когда начнется отлив? Для каждого квадрата будут получены часы и минуты полной, средней и малой воды.

Даже для таких крупных шагов по пространству и времени необходимо проделывать очень много вычислений. Если бы не были созданы специальные методы решения уравнений, если бы на помощь не пришли электронные вычислительные машины, океанологи не смогли бы заполнить квадраты сетки достоверными сведениями. И все же это пока первое приближение к

цели. Сетка сообщает только средние характеристики приливов, срезая бесчисленные различия в скорости течений, величине колебаний у поверхности и в более глубоких слоях морской воды. А о том, чтобы точно выполнить приливные расчеты по всему Мировому океану, приступить к составлению детальных прогнозов, еще и говорить преждевременно.

Задача номер один

Тот, кто часто пускается в путь на самолетах, знает, как изматывает пассажиров болтанка. Самолет то подскакивает, то проваливается — специалисты называют это качкой. „Аэрофлот“ тут, конечно, ни при чем, все дело в воздушных течениях, в турбулентности атмосферы. Попали в зону, где участки повышенной турбулентности соседствуют с участками, где ее почти нет, — вот и болтанка.

Давно уже наука поделила движение газов и жидкостей на два основных вида. Когда вы переливаете из банки в банку растительное масло или мед, вязкая, тягучая жидкость движется спокойно, ровно, плавно. Так течет и кровь в сосудах живого организма...

Это движение называется *ламинарным*. В противоположность ему, турбулентное движение отличается хаотичностью, в жидкостях и газах появляются вихри, они возникают, перемещаются, затухают, распадаются, их скорость, направление, давление беспорядочно колеблются.

Классический опыт, поставленный еще в прошлом веке физиком О. Рейнольдсом, показывает, как ламинарное движение жидкости превращается в турбулентное. Два бака, один больше другого, он соединил круглой трубой, по которой текла вода. Затем по узкой трубке ученый ввел в поток краситель. При невысокой скорости течения, пока оно было ламинарным, краситель вытягивался в жидкости тонкой ровной струйкой. Но как только в большой бак добавили воды и скорость потока возросла, струйка красителя изогнулась, заметалась из стороны в сторону, начала расплываться. Движение стало турбулентным, потому что в противоборстве сил инерции и вязкости победа осталась за силами инерции.

Хаотичное движение жидкостей и газов — это один из самых распространенных видов движения в природе, да и в технике, к примеру в насосах, трубопроводах, аппаратуре химических предприятий и т. п.

Но какое все это, может спросить читатель, имеет отношение к приливам?

Повторим еще раз: океан никогда не знает покоя, впрочем, это же можно сказать о морях и реках. Кроме основного, „среднего“, более или менее равномерного движения, в их водах

приборы обнаруживают бесчисленное множество всевозможных струй и вихрей, у них какая-то своя, особая жизнь, свой „маршрут“, свой „нрав“.

Короче говоря, движение воды в океане, в том числе, разумеется, и движение приливных течений, происходит, как правило, в условиях турбулентности.

И когда мы убеждаемся, что самые тщательные теоретические расчеты движения приливной волны разошлись с тем, что происходит в действительности, то именно в турбулентности надо прежде всего искать сегодня причину ошибок.

Однако как найти ее в хаосе?

По единодушному мнению ученых, турбулентность — это одна из самых сложных научных проблем. Насколько она трудна, можно судить даже по шутке, приписываемой Теодору фон Карману, исследователю, занимавшемуся в свое время этой проблемой. Он говорил, что, по его мнению, существуют две большие неразгаданные тайны — общая теория поля и сущность турбулентности. И если, как он надеется, после смерти бог объяснит ему общую теорию поля, то относительно турбулентности он таких надежд не питает...

Добавим, что недавно известный ученый Ричард Фейнман назвал решение проблемы турбулентности задачей номер один современной физики.

Чтобы представить себе, каковы тут трудности, надо знать, что при изучении и ламинарного, и турбулентного движения пользуются уравнениями гидродинамики. Но если ламинарный поток вполне поддается строгому математическому описанию, то по отношению к турбулентности этого пока добиться не удалось. Математическая модель турбулентности требует шести новых членов, и тогда число неизвестных превышает число уравнений. Система уравнений становится незамкнутой, нерешаемой.

Проникая в законы турбулентности, наука расширяет теоретические исследования и накапливает большой экспериментальный материал. Именно в сочетании теоретических построений с нарастающим запасом опытных данных ученые видят верный путь, ведущий к решению „задачи номер один“.

Но уже сейчас, до того как окончательно выяснены законы турбулентности, океанология берет на вооружение то, что достигнуто в этой области знаний. В эпоху, когда Лаплас создавал динамическую теорию приливов, уровень развития науки не позволял учесть влияние турбулентности, ее воздействие на поступательное движение приливной волны.

Теперь океанология в союзе с математикой, с ЭВМ, восполняет этот пробел.

Свой вклад в решение проблемы вносят советские ученые, мы имеем в виду, в частности, капитальный труд „Океанские приливы“, созданный академиком Г. И. Марчуком и профессором Б. А. Каганом.

В наши дни перед океанологией открываются широкие возможности вплотную приблизить свои расчеты приливов открытого океана к действительным колебаниям его уровня, перейти от построений для упрощенных, условных бассейнов заданных геометрических форм к естественным, реальным морским просторам в том виде, в каком мы встречаемся с ними на земном шаре.

Лунный ход

Полвека назад в Арктике было холоднее, чем сейчас. Там, где советские корабли с грузами для зимовщиков свободно проходят в разводьях, тогда расстилалась необозримая белая равнина с торчащими здесь и там торосами.

А потом климат изменился, началось потепление. Зимняя температура повысилась на пять — семь градусов.

Углубившись в историю, ученые воспользовались показаниями свидетелей прошлого: летописей, исторических документов. Прямые и косвенные доказательства единодушно говорят, что Арктика на протяжении столетий не раз то согревалась, то замерзала.

Нельзя не заметить, что в этих длительных изменениях климата есть какая-то ритмическая повторяемость. Теплее — холоднее, прилив — отлив... Метеорологи объясняют: арктическая зима стала мягче потому, что усилилась циркуляция атмосферы. Но почему же она усилилась?

Вытащим из клубка причин и следствий только одну нить, по всей видимости, самую главную. Кратковременные колебания климата — к ним относится и потепление Арктики — идут от возмущений в атмосфере, вызванных Солнцем. И вековые колебания климата, как предполагают ученые, имеют тот же источник: наше дневное светило.

Но чем глубже наука проникает в природный механизм, „делающий“ климат и погоду на Земле, тем яснее, что на ход этого механизма, кроме деятельности Солнца, влияют также и такие явления планетарного масштаба, как изменение скорости вращения Земли, свободные и вынужденные колебания оси вращения Земли, космические приливные силы.

Тут нам снова понадобится астрономия. Квадратурные и сизигийные приливы, как известно, повторяются дважды в месяц. Это обычные неравенства, с коротким периодом. Но есть и другие сизигийные сроки, когда Солнце, Луна и Земля тоже оказываются примерно на одной прямой линии.

Космические встречи трех небесных тел — Солнца, Земли и Луны — настолько разнообразны, что пришлось поделить приливные неравенства на две группы: короткопериодные и долгопериодные. Если в первой группе счет идет на часы и недели,

то во второй — на годы и десятилетия. Сверх того, что прилив меняется день ото дня, от недели к неделе, он имеет обыкновение меняться и от года к году, от столетия к столетию.

Бывает это, например, оттого, что наклон лунной орбиты к плоскости экватора не остается постоянным. В течение почти девятнадцати лет он то увеличивается, то уменьшается. С таким же периодом изменяются приливные колебания.

Но даже эти колебания уровня моря уступают по своим размерам другим, имеющим более длительные периоды. Каждые восемнадцать — девятнадцать веков законы небесной механики предоставляют возможность приливообразующим силам проявить себя с наибольшим размахом. Им обеспечиваются наиболее „выигрышные“ позиции: небесные тела занимают сизигийное положение, Луна подходит ближе к Земле, а Земля — к Солнцу. Естественно, как только расстояние от Земли до Луны и Солнца становится короче, силы лунно-солнечного притяжения возрастают и в Мировом океане рождается большая приливная волна.

Долгопериодные колебания взяла на прицел наука, ищущая ключ к загадкам климата. Она идет по следам тысячелетий, сопоставляет, анализирует, выдвигает гипотезы. И в книге природы начинают говорить строки, веками хранившие молчание.

Вглядимся в одну из интереснейших ее „страниц“ — ледники. Они занимают десятую часть земной суши. Так не помогут ли ледники увидеть естественную „кривую“ вековых изменений климата.

Советскому гляциологу А. Шнитникову принадлежит оригинальная гипотеза. Он изучал ледники в горах Европы и Азии. И всюду, будь то Кавказ, Альпы или Тянь-Шань, исследователь находил почти равномерно повторяющиеся признаки изменений климата.

Горные долины, освобожденные ото льда, и стали предметом длительного исследования А. Шнитникова. Нагромождения валунов, камней, обломков... Если поднимаешься от того места, где когда-то кончался ледник, к его нынешней границе, то пройдешь через восемь моренных валов. И так почти повсюду, в разных горах.

Какая закономерность скрывается за цифрой, в которую укладываются морены и Кавказа, и Альп, и Тянь-Шаня? В поисках ответа А. Шнитников подверг анализу результаты собственных наблюдений, исследования многих ученых, обобщил итоги и указал на возможную связь загадочной восьмерки с долгопериодными приливными колебаниями.

Суть предположений ученого сводится к следующему. Время последнего, продолжающегося и поныне, отступления ледников исчисляется примерно в пятнадцать тысяч лет. Восемь ледниковых станций отмечают, разумеется, восемь изменений климата. Длительность промежутков между ними за пятнадцать тысячелетий составит в среднем тысячу восемьсот — тысячу де-

вятьсот лет. Не напрашивается ли вывод, что крупные климатические колебания идут в астрономическом ритме и что вызывают их идущие в том же ритме (тысяча восемьсот — тысяча девятьсот лет) долгопериодные приливные колебания?

Таких же взглядов придерживаются и некоторые океанологи. Да, приливный ритм климата, по-видимому, существует, считают они, и этот ритм сохраняется не только в чрезвычайно длительных колебаниях, но и в более коротких. Выявить приливное влияние очень нелегко, колебания воздействуют на климат через ряд передаточных „инстанций“. Когда подсказывает вверх кривая лунно-солнечного притяжения, возрастает мощь внутренних волн, выбрасывающих к поверхности холодную воду океанских глубин. Но главное — перемены, которые приносят приливные колебания основным морским течениям земного шара.

Электронные вычислительные машины помогли советскому океанологу И. Максимову обработать обширный материал, накопленный за многие годы. Ученый сопоставил и проанализировал два ряда наблюдений: в одном — изменения климата, в другом — изменения режима океанических вод в Северной Атлантике. Это позволило выявить новые закономерности, определяющие состояние климата, расширить теоретические основы климатических прогнозов.

В Северной Атлантике над температурой властвует Гольфстрим. Он приносит тепло, обогревающее Скандинавию, Баренцево море, берега Шпицбергена.

У Северо-Атлантической ветви Гольфстрима, как выяснил И. Максимов, весьма неуравновешенный „характер“. Скорость течения то возрастает, то уменьшается, основной поток смещается то к востоку, то к западу. У этих перемен, или, переходя к научным терминам, у этих неравномерностей, есть свой ритм.

Так, оказалось, что колебания температуры верхних слоев морской воды имеют четкие календарные рамки: девятнадцать лет. Знакомый ритм! Тот же период изменений типичен и для лунного прилива. Итак, опять лунный ритм...

Одним из результатов исследований И. Максимова явилась гипотеза о воздействии многолетнего лунного прилива на климат и погоду. Было бы неправильно, предупреждает ученый, преувеличивать значение приливных колебаний — они только звено в длинной цепи, — но и пренебрегать ими нельзя.

Многолетняя приливная волна — любопытный пример того, как малые силы становятся иногда участниками планетарных процессов. Скорость движения волны с девятнадцатилетним периодом совсем невелика — около двух сантиметров в секунду. Стоит ли эту „кроху“ принимать в расчет? Не будем торопиться. За девятнадцать лет волна движется и „вперед“, и „назад“. На проход в одну сторону она затрачивает половину срока, больше девяти лет. Простой расчет показывает, что за это время при скорости два сантиметра в секунду она преодоле-

вает громадное расстояние — около трех тысяч километров. Вот в какую даль забирается эта волна, несущая тепло южных широт на север.

Ученый исследовал ряды длительных наблюдений в четырех пунктах Северной Атлантики. Цифры четко отразили картину девятнадцатилетних колебаний среднего уровня моря.

Изменяя режим Гольфстрима, многолетние приливы вмещаются в ход теплообмена между океаном и атмосферой. И это тоже подтверждается анализом наблюдений. Подсчеты показали, что средняя величина девятнадцатилетних колебаний температуры поверхностных вод составляет шесть десятых градуса.

Снова перед нами величина, вроде бы несоизмеримая с масштабами планетарных процессов. Разве десятые доли градуса способны вызвать в Европе потепление или похолодание? Однако неправдоподобным это кажется только тому, кто не знаком с физикой моря. У тепловой мощи океана поистине планетарные масштабы. Даже одна десятая градуса, ничтожная часть его тепловых ресурсов, дает колоссальный эффект. Достаточно слою воды толщиной в сто метров охладиться на одну десятую градуса, и вся масса атмосферы, при сохранении ее объема, станет теплее на шесть градусов.

Продолжая сопоставлять ряды наблюдений, И. Максимов нашел, что в одинаковом лунном ритме происходят изменения и в уровне океана, и в температуре воды, и в давлении воздуха.

Приливы не раз заставляли нас обращаться к астрономии, устремлять взгляд в космос. Теперь переведем взгляд на земные полюса. Около двух веков назад Леонард Эйлер, исходя из теоретических соображений, доказал, что географические полюсы нашей планеты перемещаются по ее поверхности. Он пришел к выводу, что мгновенная ось вращения Земли описывает круговой конус за время, равное десяти месяцам. Впоследствии ученые установили, что Эйлер был неправ — движение полюсов имеет четырнадцатимесячный период. А вскоре Дж. Дарвин высказал предположение, что свободные колебания мгновенной оси вращения Земли должны сопровождаться четырнадцатимесячными колебаниями среднего уровня океана, и назвал это явление „полюсным приливом“.

Шли годы, но обнаружить „полюсный прилив“ в реальных наблюдениях никак не удавалось. Только в последние десятилетия современные методы анализа позволили найти следы невидимки. Одним из первых следопытов был И. Максимов.

Ученый обработал материалы наблюдений в ста семидесяти шести пунктах Северной Атлантики и получил убедительные доказательства того, что „полюсный прилив“ порождает многолетние изменения в состоянии Гольфстрима.

Так прокладывается тропинка к долгосрочным климатическим прогнозам.

В старину очень боялись лунатиков.

Средневековые астрологи объясняли: у Луны есть волшебная сила, она притягивает людей. Тот, кого Луна притянула, и становится лунатиком.

Давно уже наука доказала, что ночное светило тут ни при чем, что сомнамбулизм — это болезнь. Достоянием истории стали фантастические представления о приливах. Но не все, о чем люди когда-то думали, пытались понять или создать, погребено под пылью веков.

За всю историю человечества Луна не притягивала мысль ученых с таким постоянством и мощью, как сегодня. И не только тех, кто прокладывает дорогу в космос. В самых различных областях науки возникают гипотезы, связанные с лунным притяжением, приливами. Рождаются новые идеи, обновляются старые. Проблема лунного притяжения, приливов вышла далеко за пределы Мирового океана. Над ней размышляют, о ней спорят биологи и метеорологи, не говоря уже о геофизиках и астрономах.

Пулковский астроном Н. Козырев выдвинул гипотезу о „спусковом механизме приливного воздействия“ на Земле и Луне. Новые наблюдения астрономов различных стран обнаружили около трехсот „временных явлений“ — признаков вулканической деятельности на нашем естественном спутнике. И вот что показали дальнейшие исследования советского ученого. Н. Козырев проследил взаимосвязь между тектоническими процессами на Земле и на Луне. Выяснилось, что чаще всего „временные явления“ замечаются, когда Луна находится в перигее, на самом коротком расстоянии от Земли. От земного притяжения на Луне в это время образуется приливный выступ, достигающий шести метров. И можно предположить, что приливы способствуют истечению газов из ее кратеров, усиливают лунный вулканизм. Но существует, видимо, и „обратная связь“. Часто „временные явления“ на Луне происходят перед крупными землетрясениями. Не оказывают ли они влияние на земной вулканизм? Не пора ли признать, что взаимосвязь между Землей и Луной гораздо теснее, чем предполагала наука?

Теория „плавающих континентов“ появилась впервые более полувека назад. Ее автор, геофизик А. Вегенер, предложил гипотезу, согласно которой современные материки представляют собой распавшиеся части единого массива суши. Они разошлись, „дрейфуя“, подобно айсбергам, по базальтовому ложу, над которым залегает гранитный слой.

Потребовалась бы не одна страница, чтобы изложить доводы противников и сторонников гипотезы происхождения материков и океанов. Было время, когда она считалась окончательно отвергнутой. Но к старым гипотезам иногда возвращаются. Мысль о дрейфе материков нельзя считать полностью несостоятельной, говорят ученые. Теория „плавающих континентов“ получает в последние годы все большее признание.

Эта теория интересна и тем, что видит одну из причин дрейфа материков в приливо-отливных воздействиях и отклоняющей силе вращения Земли. И если гипотеза найдет подтверждение, наука еще шире раскроет значение лунно-солнечного притяжения в судьбах нашей планеты.

Случилось так, что почти одновременно пошатнулся авторитет другой старой гипотезы. Многие десятилетия не вызывало сомнений, что Земля из-за приливов замедляет вращение вокруг своей оси. Не вызвала сомнений и величина замедления: одна тысячная доля секунды за сто лет. Эти расчеты относились к приливам Мирового океана. Возник вопрос: а как сказываются на скорости вращения планеты приливы в твердой оболочке, литосфере? Итог был совершенно неожиданным: земные приливы должны замедлить ее еще на три тысячных секунды. Всего, вместе с морскими приливами, выходит четыре тысячных. Но в действительности этого нет. Астрономические измерения за длительное время подтверждали известную величину — тысячную долю секунды. Впрочем, показывали ли наблюдения именно постоянное падение скорости? Может быть, тут дело в случайных колебаниях?

До окончательных выводов еще далеко. Пока ученые только выдвигают гипотезы, нередко противоречивые. Есть среди них и предположения о том, что приливообразующее значение Солнца больше, чем принято считать. И даже о том, что эта ближайшая к нам звезда „повернет колесо“ и приливы изменят свое направление, пойдут в сторону вращения Земли. Земные сутки, после того как они удлинятся, будут опять уменьшаться, а Луна снова начнет сближаться с Землей.

Наконец, и в шутку, и всерьез, о тех, кто считает, что Луна, ее притяжение влияют на жизнь и поведение человека.

Вряд ли кто-нибудь примет на веру „открытия“ астрологов XX века, вроде того, что по фазам Луны можно будто бы предугадать пол ребенка заранее, до его рождения.

Но некоторые „лунные опыты“ заслуживают иного отношения. Американские биологи исследовали обмен веществ у мышей, крабов и в растениях, полностью изолированных от внешней среды. И получены были данные, что во время полнолуния обмен веществ замедляется, а если Луна в третьей четверти, то ускоряется. Почему? Может быть, говорят ученые, какие-то физиологические процессы идут в лунном ритме. В тысячах поколений он сохранился от той эры, когда вышли на сушу существа, родившиеся в океане, жившие в ритме его приливов и отливов. Может быть...

На смену догадкам придут гипотезы, теории. Предположения приведут к открытиям. Или окажутся ложными. И тогда начнутся новые поиски, трудные, долгие.

Иного пути у науки нет.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Первое знакомство 3

Глава 1 Дыхание планеты 5

Большая волна 7. От атома до галактик 10. Великая загадка 13. Волчок и гусиное перышко 14. Путь Луны 16. Самая мощная сила 20. Представь-те себе 21. Прилив по заказу? 26

Глава 2 «Семь футов под килем» 28

Катастрофа у «Семи камней» 28. Прилив и маятник 30. Что угрожало Одиссею? 34. Реки текут вспять 36. С приливом под килем 40. Ледовый час 43. Когда звонит колокол 46.

Глава 3 «Могила человеческого любопытства» 49

«Великое море заката» 50. Открытия и заблуждения 51. Секретные таблицы 52. Через тысячу восемьсот лет 54. Узник инквизиции 55. Шестьдесят в квадрате 56. Всеобщий магнетизм 57. Завеса поднимается 59. Воображаемый океан 60. Вечное движение 63. Свободные волны 65. «Поверил я алгеброй гармонию» 67. Предвычисляет машина 68.

Глава 4 С приливом — в атаку 73

Его звали Чан Хынг Дау... 73. Неожиданный противник 74. Корабли открывают огонь 76. Приливная тактика 78. «Люди-лягушки» и адмирал Кранке 80. Еще на две недели? 81. Гибралтар в Ла-Манше 83

Глава 5 Лунные ритмы 88

Миллиард киловатт 88. «Экономическое безумие» 90. Выигрыши и потери 92. Электростанция на буксире 93. Не соперник, а союзник 96. Великан начинает работать 98. Экспедиции уходят на Север 99

Глава 6 Лаборатория в океане

Как открывали острова? 101. «Преследование приливов» 102. Потомки «Персея» 106. А есть ли в океане прилив? 111. Шаг за шагом 115. Задача номер один 120. Лунный ход 122.

40 к.

В большом морском походе всякое может случиться. Но то, что произошло у острова Ванкувер, поразило даже видавших виды моряков. Корабль осторожно продвигался вперед по неширокому проходу между островами и берегом Канады. И вдруг с капитанского мостика послышались отрывистые команды, беспокойно зазвенел машинный телеграф.

Гидрометеиздат 1981

