

ПОПУЛЯРНАЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И СУДОВОЖДЕНИЕ

Издательство «Транспорт», 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Анализ аварийности мирового транспортного флота, постоянно проводимый Ливерпульской ассоциацией страховщиков, показывает, что, несмотря на высокий уровень судостроения и развитие навигации, гибель судов из-за природных факторов весьма велика. Так, только в 1975 году по причине непогоды из состава мирового транспортного флота выбыло 31 судно, или 16% всех погибших судов; из-за посадки на мель, зачастую связанной с природной обстановкой, погибло 53 судна (27%).

От природных факторов зависят как безопасность плавания, так и экономический эффект рейса. При неблагоприятной обстановке увеличивается время перехода судна, ухудшаются условия плавания для экипажа и пассажиров, возможны повреждения палубных и трюмных грузов, а во время стоянки в порту возрастает продолжительность разгрузки и загрузки судна, усложняются условия его обработки, возникает опасность для судна.

В высших инженерных морских училищах, институтах соответствующего профиля и мореходных училищах читается специальный курс навигационной гидрометеорологии. Это дает судоводителям, работникам торговых и рыбных портов знания о гидрометеорологических условиях плавания в открытом море и прибрежных районах, швартовки и стоянки судов как неотъемлемой части навигационной обстановки. В навигационной гидрометеорологии выделено несколько направлений океанографии и метеорологии, где детально рассматривается влияние природных условий на деятельность морского флота. Например, описываются явления природы, прямо воздействующие на корпус судна и влияющие на условия плавания: ветер, волнение, грозы, постоянные течения, приливы, льды и пр. Судоводители хорошо знают, чем грозят эти природные факторы в неблагоприятной навигационной обстановке.

На земном шаре все природные явления существуют во взаимной связи. Так, природные явления в атмосфере и океане непосредственно влияют на морские суда в виде ветра и давления воздуха, течений и волнения поверхности воды; косвенно же они воздействуют на суда и экипажи в виде обширных по району действия, многообразных, зачастую неожиданно проявляющихся и внешне незаметных природных феноменов. Таких факторов множество: меандрирование постоянных течений, свечение моря, непериодические колебания уровня воды, сейши, сулои, мертвая вода, апвеллинг и др.

Эти явления природы, изменяя гидрометеорологическую обстановку в отдельных районах, определяют таким образом условия судовождения и влияют как на безопасность плавания, так и на экономику судоходства. Они могут играть решающую роль в навигационной обстановке и при стоянке судна на рейде или в закрытой гавани, и при переходах в открытом море или в прибрежных районах. Именно эти природные явления не входят в круг наших понятий. Они до сих пор не описаны в учебниках и справочниках, предназначенных для судоводителей, не отражены в навигационных пособиях.

Основная причина этого заключается в слабой изученности природных феноменов. Наука пока не выяснила до конца причин возникновения многих из них, а некоторые не смогли даже зафиксировать и точно описать. В связи с этим возможности определения их влияния на деятельность морского флота, а тем более прогноза ограничены.

Но вина мореведческой науки в этом небольшая. Развитие любой отрасли знания состоит из ряда стадий. На первой стадии определяют основные факторы, влияющие на жизнь человека и экономику, осмысливают их и в дальнейшем обращают на благо цивилизации. Только после этого можно перейти к следующей стадии познания; углубиться в тонкости изучаемых природных явлений, определить вероятность их воздействия на различные стороны жизни и развитие человеческого общества. Мореведческая наука сейчас еще не вышла из первой стадии. К настоящему времени она располагает лишь описанием основных природных явлений в океане и качественной оценкой воздействия этих явлений на условия его транспортного освоения.

Заметим, что воздействие природных явлений на другие виды использования океана: добычу биологических ресурсов, освоение минеральных богатств — находится на еще более низком уровне. Причину этого следует искать в исторических корнях освоения океана. Морское пространство земного шара издревле рассматривалось как главный путь «в другие страны и народы», поэтому транспортное освоение морских просторов

продвинулось дальше, чем добыча биологических ресурсов и освоение минеральных богатств.

Однако техническое совершенствование судов, развитие судовождения вследствие появления новых навигационных средств породили среди моряков пагубную эйфорию, основанную на убеждении, что теперь морской флот стал независим от сил природы. Однако из-за увеличения числа судов, их тоннажа и скорости, из-за освоения новых районов океана, особенно в связи с эксплуатацией постоянно действующих платформ в районах добычи нефти, газа и других полезных ископаемых, число аварий судов не только не уменьшилось, но и возросло за последние годы.

В настоящей книге сделана попытка собрать воедино многие слабо изученные природные явления, на которые мореплаватели обращают мало внимания, но которые прямо или косвенно влияют на навигационную обстановку и условия судовождения. Что касается феноменов, о которых наука пока не располагает строго обоснованными сведениями, то приведены гипотезы и научные предположения по поводу природы этих явлений. Описание каждого природного явления завершается советами мореплавателям: схемой расчета или прогноза явления, описанием географии его распространения, возможностями учета в практике плавания. Последнее дается в форме, удобной для пользования.

Книга состоит из двух разделов. В первом разделе показано воздействие природных явлений на суда во время их стоянки в порту, на рейде или при плавании в прибрежных водах.

Вблизи берегов даже всем знакомые явления резко изменяют свои внешние признаки и воздействие на берега, портовые сооружения, суда. Как меняется, например, волнение? При подходе к берегу волны становятся круче, их подошва тормозится о дно, вершина начинает догонять основание и волна обрушивается, ударяясь многотонным прибоем в стоящие на ее пути препятствия. А течения? При подходе к берегу изменяются их направление и скорость, глубина проникновения и мощность потока.

Вблизи берегов образуются и новые природные феномены, вызванные именно своеобразием этого района как зоны контакта суши, воды и атмосферы. Это особенно сильно проявляется в ограниченных акваториях: заливах, бухтах, портах и гаванях. При этом многое зависит и от действующих внешних природных сил (прилива, ветра, атмосферного давления), и от очертания берегов и характера глубины бухты, и от резонанса — совпадения периода и интенсивности воздействия сил со стороны моря с собственными движениями среды в акватории. Действие многих не приметных факторов возрастает до значений, при которых они способны сильно влиять на деятельность порта, судоходство, навигационную обстановку, условия стоянки и загрузки-разгрузки судов.

Вблизи берегов наиболее заметно и воздействие хозяйственной деятельности человека на природу. Сооружение портов и каналов, изъятие морского песка для строительства приводят к изменениям конфигурации берегов и дна. Крупномасштабное вмешательство человека в режим речного стока ведет к изменению условий существования устьев рек и целых морей. А ведь именно в береговой зоне условия плавания естественным образом наиболее осложнены.

Второй раздел книги посвящен описанию природных явлений в открытом океане, их воздействию на условия плавания, в том числе безопасность, продолжительность рейсов, способы навигации.

За последние десятилетия развития океанологии как самостоятельной науки были выявлены различные океанские феномены планетарного и локального масштабов. Многие из этих явлений (вихри, смерчи, противотечения, гидрофронты) прямо воздействуют на судно, некоторые же (свечение моря, мутьевые потоки, перемешивание вод) лишь косвенно влияют на условия навигации.

Вблизи океанских островов, побережий эти явления изменяют и внешние признаки, и влияние на судоходство. Знать это судоводителям необходимо, поскольку сейчас суда советского морского транспортного и промыслового флота плавают во всех районах Мирового океана: от высоких широт Арктики до широт Антарктики, заходят в порты и гавани, которые ранее ни одно судно под флагом СССР не посещало.

Автор будет считать свою работу оправданной, если эту книгу прочтут не только судоводители, работники портов, прогнозисты-океанологи, но и все желающие расширить свои знания об океане.

ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И СУДОХОДСТВО В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ

НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

...Вечер 5 октября в Тикси, казалось, не предвещал ничего необычного. Неожиданно погас свет, и поселок погрузился в темноту. Оказалось, что начался быстрый стгон воды и водонасосная станция перестала подавать воду. Уровень воды снизился на 2,5 м по сравнению со средним многолетним... Такой редкий по величине и скорости падения (35 см в час) спад воды был связан с появлением над морем Лаптевых ложбины низкого давления, которая вызвала по всей поверхности моря стгонные штормовые ветры юго-восточного направления.

Природа, 1961, № 4

Два раза в сутки могучая волна океанского прилива поднимает уровень моря на высоту многоэтажного дома,

заливая прибрежные островки и осушки, а затем вновь отступает, обнажает мели и перекааты, препятствуя движению судов.

Амплитуда прилива в различных точках океана различна: она зависит от района моря, конфигурации берегов, глубины и прочих факторов. Максимальная амплитуда прилива в Мировом океане — в заливе Фанди на восточном берегу Канады, где уровень воды поднимается на высоту 19 метров. В морях, омывающих Советский Союз, прилив также значителен: от 3,5 метра на Баренцевом море в районе Мурманска и 7,5 метра в Лумбовском заливе Белого моря до 9 метров в устье реки Кулой и 13 метров у м. Астрономический в Пенжинской губе Охотского моря.

Астрономические причины таких периодических колебаний уровня воды неплохо изучены, и океанологи пред-вычисляют величину прилива во многих пунктах Мирового океана на годы вперед. Результаты этих расчетов ежегодно публикуются в издаваемых «Таблицах приливов».

Да и сами мореплаватели, пользуясь простым «штурманским методом», могут приближенно определить величину прилива, зная «прикладной час порта», значения главных составляющих прилива.

Однако в практике судоходства нередки случаи, когда рассчитанные по «Таблицам приливов» значения уровня воды вполне достаточны для прохода судов в акваторию порта, канал или устье реки, а фактические глубины не позволяют это сделать. Такие же ситуации возникают и на непривливых морях, когда снятый с карты средний уровень воды отличается от реального в данный момент времени.

Как известно, уровень моря (или глубина места) на навигационной карте в морях с приливами отсчитывается от минимального уровня в сизигию, а в непривливых морях — от среднего многолетнего уровня. Однако в каждый конкретный момент времени на положение уровня моря воздействует целая гамма факторов. Изменение положения уровня моря происходит вследствие его так называемых неперидических колебаний, обусловленных различными сторонами атмосферной деятельности.

Многообразные проявления действия атмосферы приводят к многообразию видов колебания уровня моря. В общем режиме уровня моря можно выделить следующие главные неперидические составляющие.

Сгонно-нагонные колебания уровня моря. Они связаны с движением вод, возникающим в результате так называемого тангенциального трения между воздушным потоком и водной поверхностью, ограниченной береговой чертой. Эта составляющая колебаний уровня моря наиболее значительна по абсолютному значению. В памяти человечества навсегда останутся воспоминания о катастрофических наводнениях, вызванных внезапным повышением уровня моря в тех или иных пунктах побережий. Пожалуй, из всех нагонов наиболее знаменито Гал-вестонское наводнение в штате Техас (США) в 1900 году. Тогда ураганный ветер, скорость которого доходила до 60 метров в секунду, вызвал повышение уровня моря у берегов Мексиканского залива на 4,5 метра более обычного уровня прилива. На город Галвестон двинулись штормовые волны высотой до 8 метров, и он был стерт с лица земли, погибло до 5000 человек.

Нагоны воды под действием штормового ветра не раз были причиной затопления берегов Нидерландов, ФРГ, Великобритании, Японии, США, СССР и других стран. Только в США убытки от наводнений, происшедших с 1946 по 1960 годы, оцениваются в 4,2 миллиарда долларов.

Колебания уровня моря в мелководных портах нарушают их работу, а суда, стоящие у причалов, получают повреждения.

Так, 19 июня 1971 года в итальянском порту Чивитавеккья в результате резкого падения уровня на 50 сантиметров на некоторых судах были порваны швартовы, а несколько судов оказались на мели.

Наиболее велики ветровые колебания уровня воды в мелководных морях, где они представляют особую опасность.

Например, в Азовском море в октябре 1969 года под действием ураганного ветра у юга-восточного берега уровень воды поднялся на 3 метра выше среднего, в то же время у северо-западного берега он упал на 2 метра.

Осенью 1952 года ветер от востока-юго-востока был причиной подъема уровня воды почти на 2,5 метра во всей западной части Северного Каспия.

В сентябре 1958 года под действием западного ветра силой до 35 метров в секунду в районе мыса Святой Нос в море Лптевых уровень воды поднялся на 5,2 метра.

Можно привести изрядное количество таких примеров. Поэтому рассмотрим сгонно-нагонные колебания уровня воды подробно.

В результате действия ветра на водную поверхность возникают ветровые, то есть вызванные ветром, течения, направление которых под действием силы вращения Земли (силы Кориолиса) отклоняется от направления ветра. Это явление было впервые обнаружено знаменитым норвежским исследователем Ф. Нансеном в конце прошлого века. Попытки дать ему теоретическое обоснование ни к чему не привели до тех пор, пока в 1905 году Ф. Нансен не попросил своего друга профессора математики Стокгольмского университета В. Экмана заняться этим вопросом. В. Экман математически блестяще решил задачу.

Основные выводы теории Экмана сводятся к следующему:

а) скорость v - t ветрового течения (в метрах в секунду) на поверхности моря пропорциональна скорости $v_{вет}$ (в метрах в секунду) ветра $v_t = (0,0127 \cdot V \sin \phi) v_{вет}$, где ϕ — широта места в градусах (V - кв.корень);

б) направление ветрового течения на поверхности отклоняется от направления ветра на 45° вправо в северном полушарии и на столько же влево — в южном;

в) с увеличением глубины скорость течения уменьшается, а его направление в северном полушарии все больше отклоняется вправо от направления ветра и течения на поверхности;

г) на некоторой глубине D (В. Экман назвал ее глубиной трения) направление течения противоположно направлению поверхностного течения;

д) суммарный полный поток воды, создаваемый ветром, следует в направлении, перпендикулярном действию ветра.

В. Экман вывел свою теорию для глубокого моря. В мелководных же морях угол отклонения направления течения от направления ветра зависит от соотношения глубины моря и глубины трения и потому может быть различным; в совсем мелководных районах направление поверхностного течения совпадает с направлением ветра. Отсюда ясно, что наибольший нагон в глубоком море в северном полушарии бывает при направлении ветра, параллельном береговой черте (берег находится справа, если смотреть по направлению ветра), а в мелководном море — при ветре, дующем с моря на берег.

Следовательно, картина развития процесса нагона такова. Трение между воздухом и водой при ветре создает поток воды, движущийся в направлении действия ветра в мелководных районах моря или под углом до 90° относительно направления ветра — в глубоководных. Принесенная ветром вода скапливается у берега. Повышение ее уровня у берега создает перепад давления в водной толще, который в свою очередь вызывает отток воды. Повышение уровня моря происходит до тех пор, пока сила, вызванная разностью уровней у берега и в море, не компенсирует силу ветрового потока. Наступает явление установившегося нагона, которое существует до тех пор, пока не изменится сила, вызвавшая нагон.

Но ветер вызывает не только перемещение вод: его первое и наиболее эффективное следствие — ветровое волнение. Выяснилось, что в результате волнения возникает также движение поверхностных вод по направлению ветра — так называемый волновой поток, или стоксово течение (названное по имени Джеймса Стокса, известного английского физика и математика). Этот волновой поток накладывается на дрейфовое течение (а на мелководье их направления совпадают!) в такой мере, что в отдельных случаях прирост уровня воды вследствие стоксова потока составляет до 50% его общего превышения (особенно в глубоководных районах).

Изменение атмосферного давления. По известному закону «обратного барометра» повышение атмосферного давления над морем на 1 миллибар приводит к понижению уровня воды на 10 миллиметров и, наоборот, при понижении давления на 1 миллибар уровень моря повышается на 10 миллиметров. Примечательно, что этот закон действует по всей акватории морей независимо от глубины, рельефа дна и т. п.

Естественно, эта составляющая колебаний уровня моря полностью находится во власти барических образований — циклонов и антициклонов, и может достигать больших значений.

Так, в юго-восточной части Баренцева моря вследствие изменения атмосферного давления возникают нагонные явления, вызывающие повышение уровня воды на 0,6 метра.

Однако было бы неверным определять изменения колебания уровня воды в каком-либо порту как производные от атмосферного давления в этом пункте: уровень воды здесь зависит от распределения давления в целой области (или на всем море, или на значительной его части).

Но и прямое действие закона «обратного барометра» справедливо лишь тогда, когда мы имеем дело с неподвижным или медленно перемещающимся циклоном. При движении барических систем со значительной скоростью, как это часто бывает в реальных условиях, изменения уровня воды у берегов перестают соответствовать их статическому значению и большую роль начинают играть явления резонанса, то есть совпадения скорости перемещения циклона со скоростями движения воды в море.

Действие длинных волн. Как правило, эта составляющая является производной от барического эффекта. Наилучшей его иллюстрацией служат ленинградские наводнения.

Представим, что глубокий циклон перемещается через Северное и Балтийское моря. В центре циклона, где давление понижено, водные массы как бы подтягиваются внутрь. Передвигаясь над Балтикой, циклон выходит на сушу. При этом собранная им вода растекается, обрушивается в море, образуя, подобно камню, брошенному в пруд, длинную волну.

В зависимости от глубины циклона, места и скорости его выхода с акватории образованная волна либо перемещается вдоль моря, либо дает толчок формированию стоячей волны (сейши). Эта волна, проникая в узкий и длинный Финский залив, под влиянием формы залива, ветра над ним, мелководья изменяется и при благоприятных условиях может поднять уровень воды в вершине залива на 5 метров.

4. *Неравномерность в процессе влагооборота.* Колебания уровня моря, вызываемые испарениями, осадками, речным стоком, образованием и таянием льда, многие исследователи относят к незначительным. Но это далеко не так. Например, в Красном море слой воды, испаряющейся за год, достигает 2,5 метра. Есть и противоположный пример: на восточном берегу полуострова Индостан в среднем за год выпадает примерно 13000 миллиметров осадков. Отдельные ливни вызывают кратковременные резкие подъемы уровня воды в том или ином порту. Дождь в Генуе 21 октября 1882 года дал за сутки 810 миллиметров, осадков, а ливень, прошедший в индийском городе Черапунджи 14 июня 1876 года, — соответственно более 1000 миллиметров осадков.

Большие подъемы уровня воды происходят также вблизи устьев рек во время половодий.

Колебания уровня воды, вызываемые неравномерностью в процессе влагооборота, носят непродолжительный характер: время их существования не превышает нескольких суток, в отдельных случаях, например в половодье, — нескольких недель. Однако некоторые виды неперiodических колебаний уровня воды весьма долго-временны.

Таковы колебания уровня, вызванные изменением плотности воды: при увеличении плотности воды ее уровень понижается, при уменьшении плотности воды повышается. Плотность морской воды, как известно,

меняется при изменении ее температуры и солености.

Установлено, что непериодические колебания уровня моря у западного побережья Соединенных Штатов Америки почти полностью зависят от плотности воды в поверхностном 500-метровом слое. Плотность воды в этом слое определяется динамическими причинами: сменой направления течений. При течениях с юга происходит подток теплых вод и уровень моря поднимается, при потоках с севера температура падает, плотность воды увеличивается, уровень ее снижается.

Но еще большие колебания уровня воды, прежде всего в замкнутых морских бассейнах, определяются хозяйственной деятельностью человека, то есть антропогенным фактором. Вмешательство современного человека в сток рек: изъятие пресной воды на орошение, промышленные и бытовые нужды, изменяет и облик бессточных морей.

За период с 1930 по 1978 год уровень Каспийского моря вследствие уменьшения стока рек, в первую очередь Волги, упал более чем на 2,5 метра. Сокращение волжского стока происходило под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов. Установлено, что прямые изъятия воды привели к падению уровня на 50 — 60 сантиметров.

Уровень Аральского моря с 1961 года по настоящее время упал более чем на 13 метров вследствие действия антропогенного фактора.

Наконец, особенно длительные колебания вызываются геологическими и геофизическими причинами. По данным съемки Океанографического управления США, за последние 40 лет наблюдается общее повышение уровня океана. Рекордное повышение в 22 сантиметра отмечено в порту Юджин-Айленд штата Луизиана. В качестве основной причины этого называют отступление льдов Арктики и Антарктики. За последние годы из-за некоторого потепления климата Земли увеличилась скорость их таяния. В ряде пунктов одновременно с повышением уровня моря происходит опускание участков земной коры. Например, в Галвестоне (штат Техас, США), видимый уровень моря только с 1940 по 1965 год повысился на 11 сантиметров, хотя в действительности это частично объясняется опусканием земной коры.

Перечисленные виды колебаний уровня воды в природе в чистом виде не наблюдаются. Обычно фиксируется суммарный эффект различных причин. Однако между различными видами колебаний уровня воды небольшой продолжительности существует связь, вызванная их анемобарической природой. Рассмотрим это подробнее.

Представим, что в северном полушарии над глубоким морем мгновенно возник циклон. В его центре, где давление наименьшее, вода по закону «обратного барометра» должна подняться на 10 миллиметров на каждый миллибар падения давления. Воздушные потоки под действием градиента атмосферного давления направлены приблизительно под углом 70° относительно градиента давления (рис. 1). При этом отклонение морских течений, вызванных ветром, составляет 45° вправо от направления ветра, и, следовательно, ветер не нагоняет воду по направлению к центру циклона, а наоборот, «выкачивает» ее, так как ветровые течения направлены от центра циклона.

Такой же вывод можно сделать, учитывая полные потоки воды. И действительно, суммарный перенос вод происходит в направлении, перпендикулярном направлению ветра. Следовательно, полные потоки направлены от центра циклона к периферии. При движении циклона уровень воды не успевает занять установившееся положение. Ветер также не успевает сформировать постоянный уровень воды, соответствующий его скорости и направлению, в силу инерции водных масс. Кроме того, проходя над поверхностью глубокого моря, циклон порождает длинные волны (высота и период волны зависят от скорости циклона). Поэтому в каждый момент времени положение поверхности моря является результатом сложения многих составляющих.

Рис. 2 иллюстрирует процесс повышения уровня воды вблизи восточного побережья Черного моря. Понижение атмосферного давления над морем вблизи берега сочетается с нагонными по отношению к берегу ветрами, что способствует привлечению к побережью более легких поверхностных вод с близлежащей акватории. Ветер вызывает штормовое волнение и волновой поток. Быстрый выход циклона из центральной части моря к его восточному побережью формирует длинную волну, гребень которой в отдельные моменты накладывается на уровень. И, наконец, при прохождении теплого фронта зачастую выпадает много осадков.

Все эти явления имеют одну направленность — повышение уровня моря.

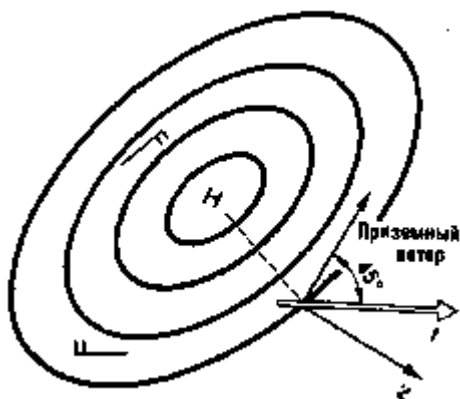


Рис. 1. Направление поверхностного течения 1 и полный поток 2 при движении циклона над по-

верхностью глубокого моря

Резкие колебания уровня воды в прибрежных районах представляют серьезную опасность для мореплавания. Предотвратить и погасить эти природные явления человеку не под силу, поэтому все внимание ученые сосредоточили на прогнозе краткосрочных колебаний уровня моря. Современные методы прогноза строятся на основе определения преобладающей причины колебаний уровня воды.

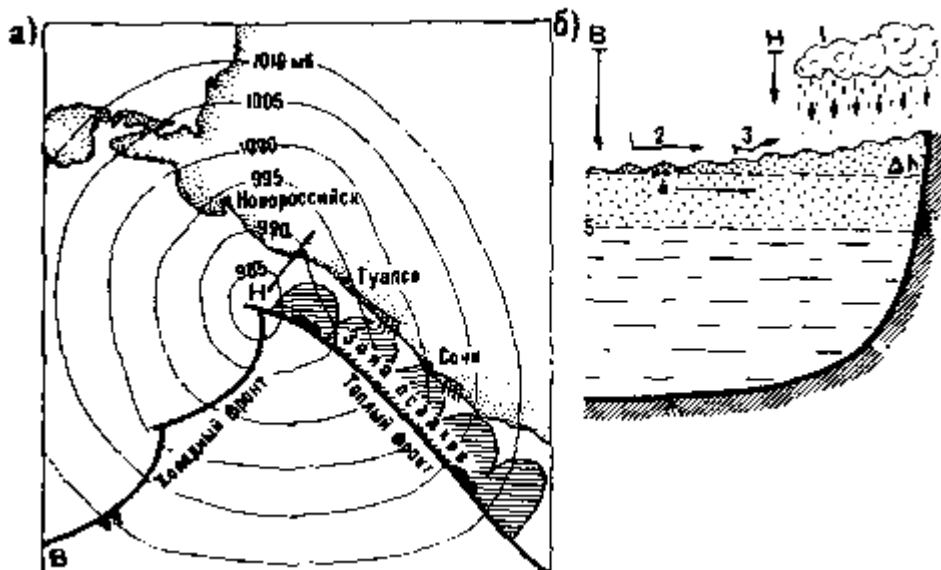


Рис. 2. Образование повышенного уровня ДА воды вдоль восточного побережья Черного моря: а — метеорологическая карта; б — схема; 1 — осадки; 2 — ветровой нагон; 3 — стоков волновой поток; 4 — приток легкой поверхностной воды; 5 — слой «скачка»; В — высокое атмосферное давление; Н — низкое атмосферное давление (центр циклона)

В случае преобладания сгонно-нагонных колебаний, порождаемых ветром, течения, перемещая воду в направлении к берегу или от него, создают сгон или нагон через некоторое время после возникновения ветра. Действие ветра предшествует изменению уровня воды, на чем и строится так называемый инерционный прогноз. Ныне для многих морей и отдельных их районов разработаны численные схемы расчета ветровых нагонов, основанные на решении уравнений движения воды. Такие прогностические задачи решаются на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ). В основу расчета заложен прогноз метеорологических условий: ветра и атмосферного давления.

Когда колебания уровня моря являются результатом прихода длинной волны, ветер не имеет прямого отношения к изменению уровня. Тогда прогноз строится на анализе атмосферных процессов, происходящих над большим регионом, с учетом положения циклонов относительно берега, скорости и направления их перемещения, глубины. При этом расчет колебаний уровня моря производится также путем численного решения на ЭВМ уравнений распространения длинных волн.

Не забыты и эмпирические зависимости. В частности, получил положительную оценку метод прогноза высоты уровня воды в Ленинграде, учитывающий предшествующий уровень моря в Таллине и скорость ветра, дующего над Финским заливом.

Наконец, в том случае, когда первопричиной изменения уровня моря является атмосферное давление, прогноз строится на основе зависимостей между уровнем воды в порту и градиентом давления над определяющей акваторией. Так, для Двинской губы Белого моря определяющим фактором является градиент атмосферного давления на гидрометеорологических станциях Канин Нос — Цып-Наволоки и Соловки — Зимнегорск.

Местными прогностическими органами разрабатываются и передаются организациям морского флота прогнозы колебаний уровня 24- и 12-часовой заблаговременности, а также штормовые прогнозы особо опасных колебаний уровня: нагонов и сгонов.

Мореплаватели, анализируя передаваемые по радио обзоры синоптических процессов и прогнозы погоды, могут сами качественно оценивать сгонно-нагонные колебания уровня моря. При этом необходимо учитывать следующее:

в северном полушарии в глубоком море максимальные сгоны или нагоны происходят при ветрах, направление которых близко к направлению береговой черты;

когда берег находится справа относительно направления ветра, наблюдается нагон воды, когда берег находится слева — соответственно сгон;

в мелководном море сгоны происходят при ветре с берега, нагоны — при ветре с моря;

изменение атмосферного давления на 1 миллибар соответствует изменению уровня на 1 сантиметр;

для окраинных морей Советского Союза формирование ветрового и барического полей обычно опережает

формирование сгонов и нагонов воды в среднем на 12 — 16 часов, для внутренних морей — соответственно на 4 — 6 часов;

сгон (нагон) достигает наибольших размеров при скорости (в километрах в час) движения барического образования, близкой к скорости распространения свободной длинной волны: $C = 11,3 \sqrt{H}$ (H — средняя глубина моря в метрах).

Тщательный учет всех факторов формирования положения уровня моря позволит свести к минимуму возможности аварийных ситуаций при прохождении судов.

НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ

Течения, возникающие при юго-западном ветре, вызывают значительный нагон воды в Таганрогском заливе. После прекращения ветра в заливе на некоторое время устанавливаются сильные компенсационные течения скоростью до 1,5 узла и более.

Лоция Азовского моря

На всех приливных картах, в атласах и таблицах приливных течений особым образом отмечены или прямо приведены периодические приливные течения. Практически приливные течения — единственный вид периодического движения вод, природа которого известна, и его расчет и прогноз не вызывают трудностей.

Но, как правило, несмотря на точное обозначение скорости и направления приливного течения на карте или в таблице, значения этих величин не всегда совпадают с реальными. Дело в том, что приливные течения вычислены путем фильтрации и исключения непериодической составляющей, а ведь последняя может в десятки раз превышать скорость периодического течения и менять его направление вплоть до противоположного. Исключают ее из расчета лишь потому, что значение этой составляющей наперед трудно рассчитать.

Основная причина возникновения непериодических течений — ветер. Все изменения скорости и направления ветра в каждой точке моря, пространственная и временная неоднородность поля ветра над акваторией мгновенно отражаются на поле течений во всем бассейне. Поэтому ветровые течения наиболее сложны для расчета.

В главе «Непериодические колебания уровня моря» мы немного остановились на теории дрейфовых течений Экмана. В 1905 году, решая задачу о ветровом течении в открытом море, Экман сделал ряд важных допущений. Им было принято, что: а) вода несжимаема, ее плотность постоянна; б) сгона и нагона, воды не происходит и поверхность моря горизонтальна; в) глубина моря бесконечно большая. Решив начальные уравнения движения воды, Экман пришел к уже рассмотренным нами выводам относительно ветровых течений, которые в общем неплохо согласуются с данными многочисленных наблюдений в открытом океане.

Однако вблизи берега, т. е. там, где судоходство наиболее осложнено, основные допущения теории Экмана не соблюдаются, то есть эта теория не приложима к явлениям, происходящим в прибрежной зоне моря. Идеальная картина, нарисованная математиком, начинает изменяться.

В результате переноса воды к береговой линии уровень моря повышается (или понижается — при оттоке вод). При этом создается наклон уровенной поверхности, который вызывает течение, называемое градиентным. Из теории дрейфовых течений следует, что направление потока воды относительно направления ветра сильно зависит от глубины воды в этом месте. При достаточно большой глубине вблизи берега нагон или сгон, а значит, и градиентное течение возникают только в том случае, если ветер дует под некоторым углом к берегу, поскольку в глубоком море полный поток при дрейфовом течении направлен вправо относительно ветра (см. рис. 1). Очевидно, что в условиях большой глубины нагона или сгона у берега не происходит, если ветер дует перпендикулярно береговой линии. И наоборот, нагон достигает максимального значения при ветре, дующем вдоль берега, находящегося справа (если смотреть по направлению ветра).

В соответствии с этим меняется и скорость градиентного течения. Это течение в прибрежной зоне охватывает всю толщину воды от поверхности до дна, накладываясь на дрейфовое течение. В результате возникает так называемое суммарное прибрежное течение, скорость которого определяется как геометрическая сумма скоростей градиентного и ветрового течений.

У приглубого отвесного берега наблюдается картина течений, представленная на рис. 3. В слое воды толщиной D развивается поверхностное течение, которое является суммой течений: изменяющегося по глубине ветрового и постоянного градиентного. Ниже глубины D скорость дрейфового течения практически равна нулю, и до глубины D' потоки глубинного течения определяются только градиентом уровня: здесь наблюдается чисто градиентное течение, направленное вдоль берега.

В придонном слое от глубины D' до дна скорость течения начинает убывать, а поток отклоняется влево от направления общего переноса воды. В этом случае рельеф дна оказывает значительное влияние на скорость воды. Вследствие трения между дном и водой ее поток тормозится.

В природных условиях, как правило, не существует стено-образного берега да еще с большой глубиной вблизи. Поэтому реальная картина ветровых течений у берега, по наблюдениям океанологов, иная.

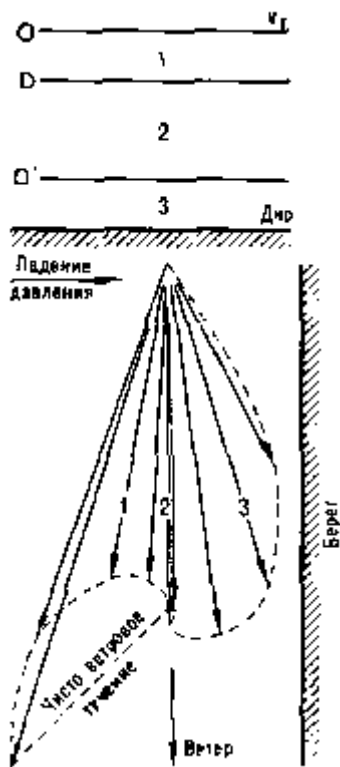


Рис. 3. Схема течений у приглубого прямолинейного берега:

1 — поверхностное течение; 2 — глубинное течение; 3 — придонное течение

Во-первых, угол отклонения ветрового течения от направления ветра не остается постоянным, а зависит от глубины моря и силы ветра. С уменьшением глубины (при неизменной силе ветра) угол α отклонения направления течения от направления ветра уменьшается, направление течения приближается к направлению ветра. При неизменной же глубине моря угол α уменьшается с увеличением силы ветра.

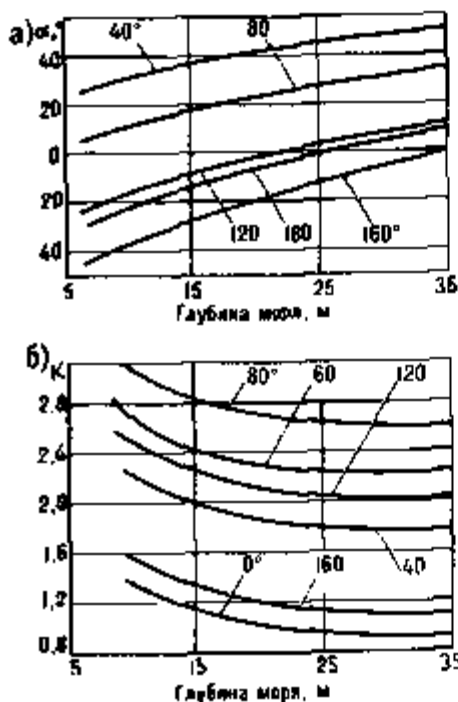


Рис. 4. Изменение угла α отклонения направления поверхностных течений (а) и ветрового коэффициента K (б) в зависимости от направления ветра относительно берега и глубины моря (прибрежная мелководная зона)

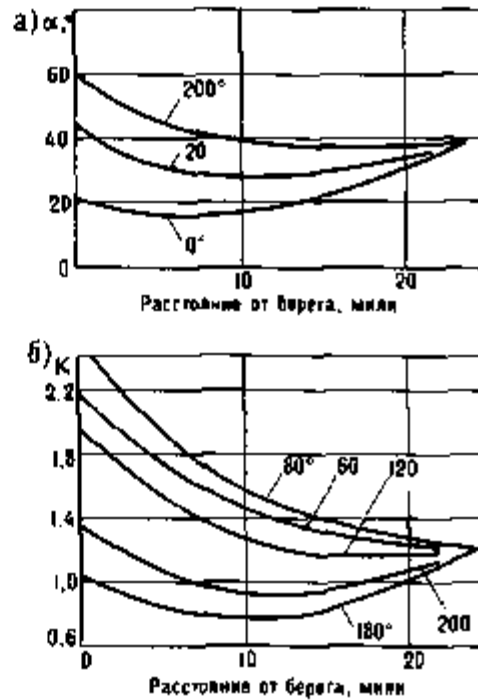


Рис. 5. Изменение угла α отклонения направления поверхностных течений (а) и ветрового коэффициента K (б) в зависимости от направления ветра относительно берега и расстояния от него (приглубая зона)

Во-вторых, скорость течения при одной и той же силе ветра увеличивается с уменьшением глубины воды в данном месте. Для удобства практических расчетов океанологи ввели понятие ветрового коэффициента K , ко-

торый представляет собой отношение скорости V_T поверхностного течения к скорости $v_{вет}$ вызвавшего его ветра. Приведенные наблюдения показали, что значения K и α также сильно зависят от азимута ветра, т. е. от того, какое направление относительно береговой черты имеет ветер, если отсчитывать по часовой стрелке от нормали к берегу (если смотреть со стороны моря), и от того, приглубый или мелкий берег в данном районе. При глубинах 35 — 40 м море уже можно считать глубоководным, при меньших глубинах оно является мелководным.

На рис. 4 и 5 даны значения угла α отклонения направления поверхностных течений от направления ветра и ветрового коэффициента K при различных азимутах ветра соответственно для мелководной зоны и приглубого берега. Интересно, что при ветрах, дующих вдоль берега или по направлению, близкому к этому, ветровой коэффициент достигает максимальных значений. Противоположная картина наблюдается при ветрах, дующих по нормали на берег или от берега. В этом случае ветровой коэффициент имеет минимальные значения. Исследования показали, что ширина зоны влияния берега на ветровые течения в редких случаях превышает 35 миль. Следует отметить, что при вычислении значений ветрового коэффициента, приведенного на рис. 4, 5, скорость ветра выражена в метрах в секунду, а скорость течения — в сантиметрах в секунду.

Приведенные результаты получены главным образом для ветров средней силы (4 — 7 баллов), однако установлено, что значения ветрового коэффициента практически не зависят от силы ветра, а угол α лишь немного уменьшается с усилением ветра. Следовательно, данными графиками можно пользоваться при любых скоростях ветра — вплоть до штормовых. Только при очень слабых ветрах (1 — 2 балла) можно ожидать некоторой погрешности при определении значений K и α по графикам, но при таких ветрах течения ввиду их малых скоростей не представляют практического интереса.

Большого внимания заслуживают изменения значений ветрового коэффициента K и угла α при различной продолжительности действия ветра. Многочисленные наблюдения над развитием течений в прибрежной зоне моря позволили сделать вывод, что в мелководных районах время установления скорости значительно больше, чем в глубоководных: интервал времени, необходимого для полного развития скорости течения в глубоководной зоне, составляет 3 — 4 часа, в мелководной же он доходит до 16 — 18 часов. На рис. 6 коэффициент T характеризует отношение мгновенной скорости течения к скорости установившегося потока. Удивительно, что время достижения скоростью течения максимального значения не зависит от скорости ветра.

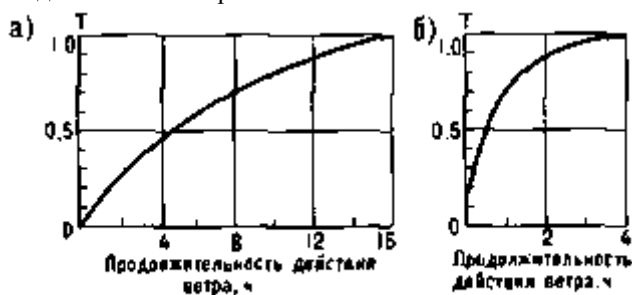


Рис. 6. Изменение коэффициента T в зависимости от продолжительности действия ветра в прибрежной мелководной (а) и глубоководной (б) зонах моря

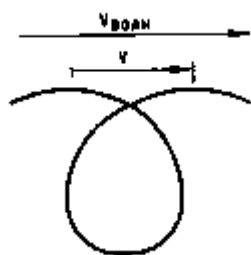


Рис. 7. Характер траекторий движения частиц воды в реальной волне:
 $u_{волн}$ — скорость распространения волны;
 v — скорость переносного движения

Данные на рис. 4 — 6 значения величин K , α , T получены для Балтийского моря, поэтому применительно к другим морским бассейнам ими нужно пользоваться с известной осторожностью, но общие закономерности явления свойственны всем мелководным морям. Эти закономерности можно сформулировать так: на поверхности потоки воды направлены по ветру и обусловлены собственно ветровым течением, а в придонном слое — против ветра и определяются градиентным течением. Для приглубого берега основной нагон или сгон создается ветром, дующим вдоль береговой линии. Для мелководного побережья ветер, дующий параллельно береговой черте, не создает наклона уровня и градиентных течений. Максимальный нагон и вызванные им градиентные течения наблюдаются при ветре, дующем перпендикулярно берегу.

В суммарное прибрежное течение известную долю вносит и волновой поток — переносное движение водной массы в поверхностном слое, вызываемое ветровым волнением. Волновой поток направлен вдоль направления распространения ветровых волн. Причиной его возникновения является петлеобразный характер траекторий частиц воды в реальной ветровой волне (рис. 7). Скорость переносного движения воды одинакова для всех частиц, лежащих на одной глубине; она зависит от высоты и периода волн и очень быстро затухает с увеличением глубины. Поэтому течения в поверхностных слоях воды вблизи берегов являются сложной композицией многих факторов.

Немаловажное значение имеют рельеф береговой зоны, наличие островов и впадин. Так, мореплавателям не

раз приходилось сталкиваться с одним, на первый взгляд, удивительным фактором. При ветре, дующем с моря вблизи островов, уровень воды падает не только с подветренной, но и с наветренной стороны. Это кажущееся парадоксальным явление объясняется довольно просто: ветер сгоняет всю воду из того района моря, где находятся эти острова, к другим наветренным берегам, то есть вода перераспределяется не только вблизи рассматриваемых островов, но и во всем водоеме.

Понятно, что при плавании вблизи островов весьма важно знать направления и скорости потоков. В мелководных районах при общем переносе воды ветром острова обтекаются со всех сторон, как обычное препятствие. Скорости и направления потоков воды вблизи берега острова зависят от глубины моря, размеров и конфигурации острова и его расположения относительно потока. Изменение течений происходит непосредственно вблизи острова.

В штормовую погоду вблизи островов на мелководье судоводители плавать не рискуют. Иное дело — плавание в океане, где большие острова могут служить естественным укрытием от штормового волнения. И действительно, с подветренной стороны острова можно надежно укрыться от сильного шторма.

Но при этом нужно учесть, что проведенные океанографические наблюдения указывают на существование замкнутой аномальной циркуляции вокруг океанических островов. Например, направление течений вокруг островов Тайвань, Исландии, Курильских противоположно направлению общей циркуляции вод в прилегающей области океана. Одной из причин, приводящих к возникновению такой аномальной циркуляции, является завихренность ветрового поля над большой океанической областью. В большинстве случаев аномальная циркуляция течений вокруг острова в северном полушарии направлена по часовой стрелке, т. е. имеет антициклонический характер, в то время как общая циркуляция в области океана, включающей остров, имеет направление против часовой стрелки.

Завихренность и неоднородность ветрового поля в пространстве и изменения интенсивности и направления ветра по сезонам года приводят к появлению в отдельных районах моря локальных циркуляционных образований, отличающихся по направлению от течений во всем море. Таковы течения, образующиеся вследствие воздействия бризовых и муссонных ветров. Время их действия, направления потоков определяются периодом и скоростью действия ветра. Эти же периодические ветры могут служить причиной возникновения более интересных явлений.

Примером является аномальная циркуляция в юго-восточной части Черного моря. Поверхностные течения в Черном море, как и во всех морях северного полушария, чаще всего направлены против часовой стрелки и, прижимаясь к берегам, охватывают прибрежную зону шириной примерно 20 миль. Основной причиной возникновения таких течений служит система ветров над морем и интенсивный сток речных вод.

В юго-восточной части Черного моря в 1937 году было открыто круговое течение противоположного направления, то есть по часовой стрелке. Центр его расположен примерно в 40 — 50 милях от Батуми, и оно тесно соприкасается с прибрежным течением. Детальное изучение его показало, что течение обладает интересными свойствами. Прежде всего это система течений, в которой летом температура поверхностного слоя воды значительно выше, а промежуточного слоя — ниже, чем средняя температура воды по разрезу от Батуми на Ялту. Соленость воды здесь ниже средней.

Усиление штормовой деятельности над Черным морем способствует усилению прибрежного течения, с одной стороны, и вызывает ослабление течений в антициклонической области — с другой. Зимой в период максимальной интенсивности атмосферной деятельности северо-восточные ветры вызывают усиление циклонического прибрежного течения.

В том случае если воды с низкими значениями температуры и солености поднимаются к поверхности, антициклонический круговорот может исчезнуть, и на этом месте возникает циклоническая циркуляция. Таким образом, направление течения здесь становится противоположным. Однако антициклоническая область летом выражена в этом районе значительно резче (скорость течения доходит до 1,5 узла), чем циклоническая зимой (скорость течения не превышает 0,4 узла).

Дрейфовые течения, возникающие в море под воздействием атмосферной циркуляции, — чрезвычайно сложное для изучения явление. Изменение картины течений даже в очень небольшом водоеме происходит под воздействием неоднородности поля ветра, различных глубин, конфигурации берегов, наличия островов и банок и пр., поэтому для исследования необходимо одновременно провести большое число наблюдений в различных точках бассейна. Для таких исследований требуется огромное число судов, приборов, людей.

Учитывая эти сложности в проведении научных наблюдений, океанологи пошли по пути использования математических моделей для расчета ветровых течений. Потоки воды в море описываются системой гидродинамических уравнений, которые решаются для большого числа узлов регулярной сетки, «вписанной» в географический контур моря. Эта система позволяет задавать и учитывать скорость ветра в каждой точке моря, глубину, потоки на жидких границах (в проливах) и уровень на твердых (у берегов).

Расчеты проводятся на современных ЭВМ с временным шагом 5 — 10 минут. Расстояние между смежными узлами сетки составляет несколько километров, то есть она густо покрывает всю акваторию моря. Это позволяет с большой точностью уловить изменения течений в море и уровня воды у берега.

Однако сложность уравнений, большое число задаваемых начальных и граничных параметров приводят к тому, что время счета даже на современных быстродействующих ЭВМ с большим объемом памяти велико. Оно составляет 5 — 6 часов для одной ветровой ситуации на таком, например, бассейне, как Азовское море. Ясно, что в целях прогноза течений такие расчетные схемы не используют. Кроме того, в основу расчета нужно

заложить прогноз ветра, который имеет собственную ошибку. Поэтому расчетные схемы широко применяют при определении режимных характеристик течений: для этого в качестве полей ветра используют более обоснованные осредненные характеристики ветрового потока. Расчетные схемы течений публикуются в атласах, справочниках, гидрометеорологических картах.

Но вернемся к прибрежной циркуляции. Как мы уже установили, в результате действия ветра и волнового переноса образующиеся течения могут вызывать повышение уровня воды у берега. С увеличением уровня воды начинают развиваться так называемые компенсационные течения, направленные от берега, скорость которых с ростом уровня воды увеличивается. Эти компенсационные течения являются как бы звеном, замыкающим цикл перемещения масс воды. В конечном итоге наступает установившийся режим, при котором количество воды, поступающей к берегу, равно количеству воды, уходящей в море.

Компенсация нагона в природе может идти двумя путями: в виде противотечений и разрывных течений. Гипотетически противотечение можно представить себе так: поверхностное течение, образованное ветром, дующим к берегу, создает подъем воды у береговой линии. Образовавшаяся вследствие этого подъема уровня воды разность давления заставляет воду в придонном горизонте двигаться от берега в сторону открытого моря.

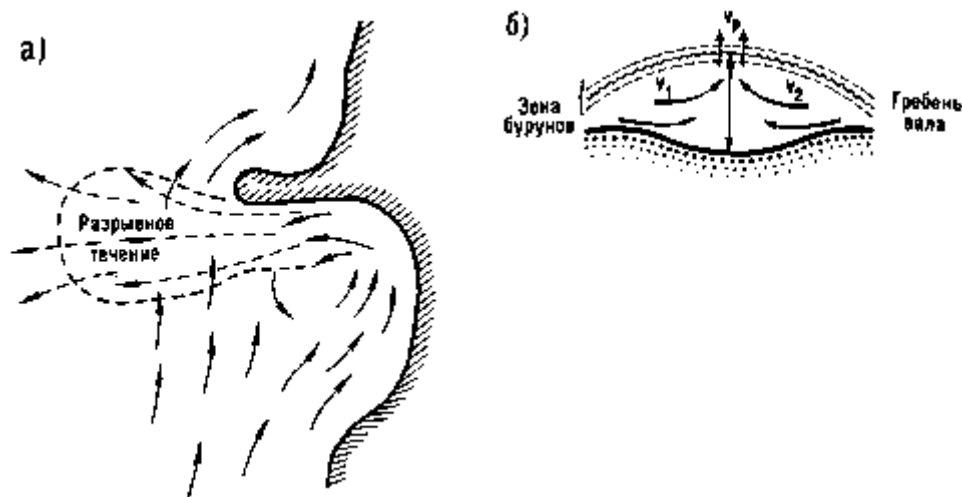


Рис. 8. Схема образования разрывного течения:
а — вблизи естественных препятствий; б — при разнонаправленных потоках

В реальных условиях в мелком море под противотечениями понимают не обратный поток в чистом виде, а ту тенденцию к обратному переносу частиц воды, которая создается наклоном уровня, т. е. перепад давления создает препятствие для поступательного движения воды при нагоне: оно замедляется и может совсем прекратиться. Если рассматривать береговую зону в целом, то это представление вполне допустимо, однако в приузловой зоне оно нарушается эффектом разрывных течений.

Разрывные течения в отличие от компенсационных противотечений являются ярко выраженными узкокаллизованными потоками, которые могут охватывать всю водную толщу от поверхности до дна. В природе они наблюдаются в виде узких струй, затухающих по мере удаления от берега.

Основная причина возникновения разрывных течений — извилистость береговой черты и неравномерность нагона воды вдоль берега. При этом в процессе нагона создается сильный вдольбереговой поток: вода накапливается в неровностях рельефа дна, вблизи мысов и кос, являющихся естественными препятствиями ее движению. В этих зонах образуется участок повышенного уровня, и в момент, когда сила, вызванная разностью уровней у берега и в море, превышает силу потока, возникает разрывное течение (рис. 8,а). И действительно, в природе разрывные течения в большинстве случаев наблюдаются у выступающих точек берега. Вместе с тем, у отмелей берегов картина возникновения противотечений может быть иная: сложность топографии подводного берегового склона даже у берега с правильно изрезанной береговой линией приводит к тому, что направление вдольбереговых течений неодинаково на смежных участках берега. Возникают разнонаправленные потоки, которые при встрече создают разрывные течения (рис. 8,б).

Разрывные течения сравнительно легко обнаруживаются по завихрениям на границах их мощных струй, разрывам в линии прибрежных бурунов и резко выделяющейся мутности главной части. На малых глубинах разрывные течения захватывают всю толщину воды от поверхности до дна. На больших глубинах, как и все сточные течения, они переходят в поверхностные слои. Максимальные скорости разрывных течений на поверхности составляют примерно 1 метр в секунду.

На интенсивность разрывного течения сильно влияет показатель вогнутости бухты или залива (отношение его длины к ширине входного створа). Чем больше этот показатель, тем значительнее ветровой нагон, а значит, струя разрывного течения мощнее и поэтому дальше проникает в море.

В силу локальности и больших скоростей эти течения представляют для мореплавателей в прибрежной зоне серьезную опасность. Судно, оказавшееся в зоне разрывных течений, может быть снесено с курса, а при следовании вдоль берега по судоходному каналу — выброшено на бровку. Эти факторы необходимо учитывать

при плавании в зонах, опасных с точки зрения условий формирования разрывных течений.

И еще одну опасность несут с собой разрывные течения: в отдельных районах эти течения наблюдаются в виде сильных струй придонных течений, их скорость достигает 10 метров в секунду. При этом донный поток сглаживает неровности рельефа даже в прочных коренных породах, а со временем вырабатывает желоба, отходящие от берега на несколько миль, вызывает разрывы в теле подводных вдоль береговых валов, разрушает стенки судоходных каналов. Такие резкие послештормовые изменения морфологии прибрежных районов препятствуют сложившейся схеме перемещения наносов и приводят к образованию мелей и банок в самых неожиданных местах.

Наконец, в морях и океанах, помимо ветровых, могут существовать течения, обусловленные процессами проникновения воды через границу раздела вода — воздух. Эти течения, называемые течениями поверхностных разделов, определяются в основном осадками, испарением, конденсацией. Собственная скорость этих течений, как правило, не превышает 1 — 2 сантиметра в секунду, то есть не является препятствием для плавания, но такие течения служат своего рода спусковым механизмом других явлений.

В частности, при безветренной погоде эти течения способствуют интенсивному перемешиванию вод и образованию водных масс с различной плотностью. После этого вступает в действие самая мощная сила движения вод в океане — сила градиента плотности, и возникает крупномасштабная циркуляция, в которую вовлекаются большие и малые массы воды.

При увеличении или уменьшении массы воды в каком-либо водоеме, соединенном с другим узким проливом, в этой узкости возникают сильные течения. Например, в реальных условиях выпадения осадков и испарения в Азовском море вследствие изменения разности уровней воды Азовского и Черного морей в Керченском проливе могут возникать течения со скоростями 20 — 30 сантиметров в секунду, что представляет опасность для плавания. В недалеком прошлом в заливе Кара-Богаз-Гол ежегодно испарялось до 5 миллиардов кубических метров и компенсирующий поток воды в одноименном проливе достигал скорости 2,5 метра в секунду.

Следовательно, такие процессы нельзя сбрасывать со счетов при следовании вдоль берега вблизи узких гирл больших заливов и лиманов.

СЕЙШИ И ТЯГУН

Уже почти три столетия было известно, что вода в Женевском озере может подниматься и падать на несколько дюймов, иногда неправильно, а иногда с большей или меньшей закономерностью: тот же самый род колебаний воды наблюдается и в других швейцарских озерах. При этом бывают ложные приливы, названные «сейшами»; еще недавно думали, что они наступают только в бурную погоду, теперь же известно, что небольшие сейши происходят почти каждый день.

Д. Г. Дарвин. Приливы и родственные им явления в солнечной системе

Во многих портах и бухтах иногда наблюдается удивительное природное явление. В спокойную погоду при отсутствии видимых внешних причин в закрытой акватории порта начинаются резкие подвижки судов, ошвартованных у причалов или стоящих на якоре. Горизонтальные перемещения судов, достигающие 5 — 7 метров, и вертикальная качка бывают настолько резкими и сильными, что нередко суда срываются с якорей, рвутся швартовные канаты, вырываются причальные тумбы, перегрузочные работы при этом прекращаются, возникает опасность аварий. Даже при очень малых ускорениях в движении судов возникают ударные силы, способные повредить их обшивку.

Например, осенью 1965 года в порту Неаполь (Италия) наблюдалось интенсивное «таскание» судов, при этом одно судно получило пробоину и затонуло у причала. Такой же случай произошел в порту Кейптаун (ЮАР), где судно водоизмещением 14,2 тысячи тонн получило серьезные повреждения правого борта и было поставлено на ремонт в док.

Еще в 1895 году известный швейцарский физик Ф. Форель опубликовал результаты исследования колебаний Женевского озера. Ему удалось с помощью специально сконструированного мареографа записать колебания уровня с широким диапазоном периодов. Проанализировав эти записи, исследователь смог выявить самостоятельно существующие затухающие колебания уровня воды, причем в этих колебаниях нет поступательного движения формы волны, а только перемещения поверхности уровня: поднятия и опускания. Форель сохранил за этими явлениями известный с XVII века в Швейцарии термин «сейши».

Колебания уровня воды во время сейш отличаются важной особенностью: относительно некоторой узловой линии, в которой колебаний воды нет, движение частиц по каждой из сторон этой линии происходит в одной фазе, но в противоположных направлениях. Точки или линии, вдоль которых наблюдаются наибольшие колебания уровня, называются пучностями. Форелем было впервые научно установлено, что взаимное расположение узлов и пучностей в каждом водном бассейне не меняется.

Однако характер движения частиц воды на отдельных участках сейш различен: в узлах частицы перемещаются в горизонтальном направлении, в пучностях — в вертикальном. Направление перемещения изменяется на противоположное с периодичностью, равной периоду сейши. Наглядное представление о

природе сейш может дать обыкновенная тарелка с водой. Если тарелку слегка наклонить и резко вернуть в первоначальное горизонтальное положение, то вода в ней будет совершать колебательные движения.

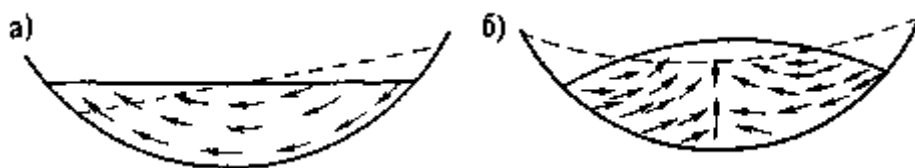


Рис. 9. Одноузловая (а) и двухузловая (б) сейши

Сейши могут быть различными. Самый простой вид их характеризуется тем, что уровень воды поднимается у одного края бассейна и опускается у другого. В середине бассейна образуется узловая линия, в которой все частицы воды движутся горизонтально (рис. 9,а). Сейши этого вида называются одноузловыми. При двухузловых сейшах колебательное движение воды характеризуется тем, что в то время, как в середине водоема ее уровень повышается, у краев он опускается, и наоборот (рис. 9,б). Сейши бывают также трех-, четырехузловые и т. д. Известно о существовании шестнадцатинузловой сейши.

Основными элементами сейши, как и любой стоячей волны, являются период, амплитуда, высота и длина. Период — время, в течение которого масса воды совершает полное колебание. Амплитуда — наибольшее отклонение уровня воды от положения в состоянии покоя. Высота — разность между высшей и низшей отметками. Длина волны — расстояние между двумя соседними пучностями. В реальных морских водоемах сейши имеют самые различные значения периода и амплитуды.

Так, амплитуда морских сейш в порту Нагасаки (Япония) достигает 60 сантиметров, период составляет от нескольких минут до нескольких часов. Известны стоячие волны в проливе Эврика (Греция). Здесь течение меняет направление до 20 раз в сутки. В Алжирской бухте сейши достигают амплитуды 1 метр при периоде 1 — 3 минуты.

Стоячие волны наблюдаются и в более обширных частях морей. Так, колебания уровня у острова Мальта обусловлены, по-видимому, многоузловыми сейшами между островом Сицилия и Африкой. На южном берегу Сицилии в районе Сиракуз часто наблюдаются колебания уровня, амплитуда которых достигает 1 метра, при этом со дна поднимаются частицы ила, придающие воде красноватый оттенок.

И на морях Советского Союза из-за сложности очертаний берегов и рельефа дна сейши отличаются большой изменчивостью. На Каспийском море в районах Баку и Махачкалы отмечены сейши высотой примерно 70 сантиметров с периодом 3 — 4 часа. В открытой части Балтики наблюдаются сейши высотой 7 — 8 сантиметров с периодом приблизительно 20 минут. На Азовском море отмечены сейши с периодами 6 — 7 и 23 часа. Наибольшая высота сейши зарегистрирована в порту Ейск — примерно 80 сантиметров. На Черном море в зависимости от местных условий отмечены сейши с периодами от 10 минут до 2 часов.

Интересной особенностью сейш является их возникновение и существование даже под сплошным ледовым покровом.

Таким образом, можно сказать, что свободные колебания водной массы — сейши — являются обычным состоянием любого водоема, и если они не всегда заметны, то лишь вследствие преобладания малой амплитуды колебаний.

Для образования сейш необходимы какие-либо внешние воздействия. В большинстве случаев вначале они создают беспорядочные возмущения, которые впоследствии трансформируются в правильные стоячие волны. Так, если по какой-либо причине происходит накопление воды в одной части водоема, то после исчезновения этой причины возникает колебательный процесс.

Основной причиной, порождающей сейши, является ветер. Действуя над водоемом в течение длительного времени, он нагоняет массы воды у одного берега. После прекращения ветра вода под действием разности уровней стремится к положению равновесия, вызывая колебательные движения в водоеме. Например, ветровой эффект является главной причиной сейш в Азовском море.

Изменения атмосферного давления также часто вызывают колебания уровня воды в водоеме. По закону «обратного барометра» понижение давления на 1 миллибар вызывает повышение уровня на 1 сантиметр. При выходе барического образования с морской акватории на сушу вода, оказавшись без внешнего воздействия, приходит в колебательное движение. Известен случай, когда при резком изменении давления на 8 миллиметров уровень воды в Севастопольской бухте стал колебаться с начальной амплитудой 58 сантиметров и периодом 50 — 60 минут.

В качестве вероятных причин возникновения сейш можно назвать шквалы, резкие порывы ветра, атмосферные фронты, то есть воздушные волны. Наконец, причиной образования сейш могут быть землетрясения, а также вызываемые ими цунами. Так, Лиссабонское землетрясение 1775 года сопровождалось сейшами в ряде швейцарских озер. В бухте Паго-Паго (острова Самоа) после прохождения там 22 мая 1960 года цунами образовались сейши высотой 180 сантиметров с периодом 20 минут.

Через некоторое время после возникновения сейш их амплитуда уменьшается и колебания затухают. Время затухания определяется силой трения воды о дно и сильно зависит от глубины водоема и конфигурации берегов, тем не менее сейши продолжают длительное время. Так, известный советский океанолог Л. С. Берг наблюдал на Аральском море сейшу, продолжавшуюся 22 суток.

Конфигурация сейши, число узлов, расстояние между ними зависят от средней глубины бассейна, рельефа дна, наличия бухт и проливов. Чем больше глубина моря, тем на большем расстоянии один от другого располагаются узлы сейши. В замкнутом бассейне узлы располагаются в центре. Если бассейн соединен с морем длинным проливом, то узлы располагаются на его концах. Если же пролив короткий, то узел, как правило, один и расположен в середине пролива. Узловая линия сейши в открытом заливе располагается на выходе из него. В заливах с широким выходом в океан характер сейш меняется. Здесь обычно наблюдаются одноузловые сейши, период их возрастает, а высота и амплитуда уменьшаются.

В связи с тем что сейша представляет собой маятниковое колебание, энергия, которую нужно затратить, чтобы привести в действие ее механизм, очень незначительна. Ее запасы всегда существуют в природе, поэтому и вероятность образования сейш очень велика.

При образовании сейш с аномально большой амплитудой основную роль играет явление резонанса. Период (в секундах) собственных колебаний воды в бассейне определяется по известной формуле Мерриана $T = 2L : (nVgH)$ где L — длина бассейна в метрах; n — число узлов; H — глубина в метрах; g — ускорение свободного падения в метрах на секунду в квадрате. Если период действия вынуждающей силы совпадает с циклом собственных колебаний воды в водоеме, то возникают аномально высокие сейши. Так, циклон или атмосферный фронт, продвигаясь над водной поверхностью со скоростью, близкой к значению VgH , формирует высокие нагоны воды у берегов, переходящие затем в сейши с большой амплитудой колебаний уровня.

Сейши по большей части, хотя и не несут в себе какой-либо угрозы имуществу и безопасности населения прибрежных районов, представляют некоторую опасность для мореплавания.

Во-первых, узлы сейш располагаются у выхода из заливов и портов. В этих узлах происходят горизонтальные перемещения воды, которые при больших периодах сейш ($T > 0,5$ часа) способствуют возникновению в этих местах довольно сильных, быстро изменяющих свое направление течений, которые отрицательно влияют на управляемость судов, входящих в порт или выходящих из него.

Во-вторых, низкочастотные колебания воды в гаванях вызывают внезапные подвижки судов, стоящих у причала или на якорях. Явление, с которым связаны такие внезапные перемещения судов в защищенных бухтах, получило название *ягуна*.

Это природное явление наблюдается почти на всем Тихоокеанском побережье Северной и Южной Америки: в чилийских портах, портах полуострова Калифорния. Особенно большой силы оно достигает около атолла Мидуэй, Японских островов и у восточных берегов Новой Зеландии.

Интенсивный тягун существует и на побережье Атлантического океана, а также окружающих его морей: в портах Касабланка, Дакар, Кейптаун, Гавр, Алжир, Тулон, Неаполь и др. На Черноморском побережье Кавказа тягун наблюдается в портах Батуми, Туапсе, Поти, Сочи и др.

В бассейне Индийского океана явление тягуна наблюдается в портах Мадрас, Бомбей, Таматаве (остров Мадагаскар), а также у западных берегов Австралии.

Таким образом, действию тягуна подвержены берега всех материков, кроме Антарктиды, и бухты внутренних и окраинных морей. Характерно, что большинство районов, подверженных воздействию тягуна максимальной интенсивности, расположены на западных берегах материков и морей. У южных и восточных берегов это явление возникает редко и его действие обычно оказывается слабым. Это обстоятельство, по-видимому, объясняется тем, что в направлении движения циклонов обычно преобладает восточная составляющая, обусловленная направлением вращения Земли.

Тягуны неблагоприятно влияют на условия стоянки судов не только у стенки, но и на внешнем рейде. Так, 4 декабря 1967 года французский танкер «Русильон», стоявший на якоре на внешнем рейде порта Туапсе, в результате воздействия умеренного тягуна был сорван с якоря и выброшен на берег.

Тягуны отрицательно воздействуют на устойчивость портовых сооружений и ритмичность работы портов. Перегрузочные операции во время тягуна прекращаются. Простой судов приносит ощутимые убытки морскому флоту.

Например, в Батумском порту в отдельные годы из-за тягуна суда простаивают до 28 суток.

Бывают случаи, когда тягун уничтожает портовые сооружения. Так, в январе 1968 года в результате сильного тягуна в порту Туапсе были завалены два огромных бетонных массива мола, образовался пролом в парапете волнолома, одновременно были разрушены три причала.

Проведенные океанологами исследования показали, что причиной тягуна является совпадение (резонанс) периода собственных колебаний воды в акватории порта с периодами вынуждающей силы, как правило, сейши на входе в порт. Поскольку для образования тягуна нужно, чтобы период действия силы совпадал с периодом собственных колебаний небольшой (относительно всего моря) акватории порта, сейши, сопровождаемые тягуном, имеют малые периоды и высоту (до 30 сантиметров).

В результате развития и затухания ветровых волн возникает долгопериодная зыбь с периодами, измеряемыми минутами. Эта зыбь возникает вместе с обыкновенной зыбью короткого периода, а поскольку скорость ее перемещения значительно больше скорости средних волн зыби, она приходит от источника волнения раньше и носит название «предвестник зыби».

При подходе к порту долгопериодная зыбь начинает играть роль внешней силы, вызывающей колебания уровня акватории. Как внешняя сила могут выступать и внутренние волны, которые образуются под действием штормов в открытом море. Приходя на мелководье, такие волны выходят на поверхность и проникают в

портовую акваторию.

И если период внешней силы, действующей на воду в бассейне, близок к периоду собственных колебаний воды портовой акватории, то в последней возникают сейшевые колебания. Они быстро нарастают и достигают максимально возможного значения. После прекращения действия внешней силы колебания, подобно маятниковым, постепенно затухают.

Во время тягуна вода в бассейне колеблется так, как показано на рис. 9. В зависимости от того, в какой точке находится судно, оно испытывает в большей мере или горизонтальные перемещения, или вертикальную качку. При этом размах колебательных движений различных судов сильно различается. Применительно к одному судну он во многом зависит от способа швартовки.

Объясняется это достаточно просто. Различная инерция судов разных размеров с неодинаковой загрузкой и различной осадкой может быть причиной их неодинаковой реакции на явление, длящееся несколько минут. Наибольшие колебания судов и вызванные этим обрывы швартовых канатов и якорных цепей наблюдаются тогда, когда период собственных колебаний судна совпадает с периодом вынуждающей силы — сейш в гавани. Но при этом рядом может находиться судно, практически не испытывающее воздействия тягуна. Это судно отличается от первого размерами, массой, периодом качки и периодом собственных колебаний.

Учеными проведено экспериментальное изучение колебаний пришвартованных судов. В лабораторных условиях измеряли смещения судов и усилия, возникающие при этом в швартовых концах. Оказалось, что силы, действующие при тягуне на судно, увеличиваются с ростом высот длиннопериодных волн, слабины швартовки, водоизмещения судна, а также угла подхода волн. Наибольшие усилия возникают в том случае, если волны подходят под прямым углом к диаметральной плоскости судна. Исследования тягуна на моделях подтвердили его резонансную природу. Так, при исследовании на гидравлической модели Батумского порта возникали устойчивые сейши, как только период вынуждающих колебаний (длиннопериодной зыби) становился близким периоду одно-или двухузловой сейши модели порта. Во всех других случаях наблюдались только исходные или отраженные волны.

Однако были случаи, когда при воздействии длиннопериодной зыби устойчивых сейш в порту не возникало, в то время как наблюдения показали, что пришвартованные суда совершают значительные колебания. Ученые полагают, что в таком случае тягун вызывается воздействием волны с периодом примерно 1 минута (совпадающим с периодом собственных колебаний судов), хотя период этих волн не совпадает с собственным периодом колебаний воды портовой акватории и сейш здесь они не вызывают.

Итак, тягун — весьма сложное явление, возникающее при совместном резонансе двух взаимосвязанных систем: колебаний сейши в море и собственных колебаний воды в бухте, собственных колебаний воды в акватории и собственных колебаний судна. Первая резонансная система — чисто природное явление, хотя человек может существенным образом варьировать ее характеристики, меняя конфигурацию и глубину порта, расположение входных молвов, глубины в подходных каналах.

Изучением возникновения и затухания сейш в портовых акваториях занимаются прогностические органы Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Исследования колебаний уровня воды в бухтах и гаванях позволили выявить факторы возникновения этих колебаний и признаки появления сейш, разработать методы прогноза.

Однако прогноз тягуна зависит от знания второй резонансной системы: портовая акватория — судно. И здесь мореведы пока бессильны, поскольку второе звено этой системы столь же многообразно, сколь разнообразны типы судов. Кроме того, большую роль играет загрузка судов. Если судно находится в порту, подверженном действию тягуна, капитан должен знать особенности тягуна в нем, период колебаний воды в акватории, правила и обычаи порта, связанные с действиями портовых властей и капитанов судов в случае возникновения тягуна. Кроме того, судоводитель должен хорошо знать маневренные качества своего судна, период его собственных колебаний, уметь прогнозировать его реакцию на тягун, наконец, привести судно в готовность для выхода в море. Тщательный учет судоводителем всех факторов позволит уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

ПАДАЮЩИЕ ВЕТРЫ

В некоторых прибрежных районах в разное время года при определенных метеорологических условиях воздух с большой скоростью срывается с вершин гор и всей своей мощью обрушивается на побережье, ломая деревья, нанося повреждения зданиям, срывая суда с якорей и швартовов...

Морской флот, 1980, №11

Общим названием «падающие ветры» объединены прибрежные ветры, наблюдающиеся в предгорных районах некоторых морей. Как и другие локальные явления природы, эти ветры в различных местностях и у разных народов называются по-разному: фен, бора, мистраль, сарма. Их объединяют такие качества, как внезапность, большая сила и характер воздействия на суда. Немало судов терпело аварии во время боры вблизи Новоземельских берегов, у берегов Гренландии, на рейдах таких крупных портов, как Триест, Марсель, Новороссийск.

Например, в январе 1963 года в Новороссийском порту во время жестокой боры два крупных сухогрузных судна: ливанское «Айлос-П» и греческое «Бендита» — были сорваны с якорей и выброшены на берег.

Скорость падающих ветров достигает у поверхности моря 40 метров в секунду, а при порывах 50 — 60. Естественно, они представляют большую опасность для прибрежного судоходства, для стоянки судов на рейде и у причалов, для работы портов.

Так, в Новороссийске в среднем 69 дней в году бывает с борой с максимумом в октябре, из них одна треть дней с ветром скоростью не менее 20 метров в секунду, а наибольшая скорость ветра при боре здесь достигает 50 метров в секунду. Продолжительность новороссийской боры составляет 1 — 3 суток, иногда она доходит до недели. Во время боры в порту практически прекращаются все работы.

При изучении этого явления исследователи обратили внимание на то, что бора бывает, как правило, зимой, причём в тех местностях, где невысокий горный хребет граничит с морем. Бора известна прежде всего на адриатическом побережье Балканского полуострова (в Истрии и Далмации), где она падает исключительно сильными порывами с крутых склонов прибрежных гор. Не менее сильная бора бывает на северо-восточном побережье Чёрного моря, у западных берегов Новой Земли.

Во всех этих местностях прибрежные горы ограничивают довольно высокую равнину, которая зимой сильно выхолаживается. Над равниной часто образуется область высокого давления, в то время как над морем сохраняется циклоническая область. Из-за этого возникают большие горизонтальные градиенты, которые приводят в движение огромные массы холодного воздуха. Вследствие действия силы тяжести скорость движения воздуха резко возрастает при его перевале через хребет.

Хотя воздух при падении немного нагревается (вследствие адиабатического эффекта, а именно: расширения при увеличении давления во время движения от вершин гор к поверхности моря), однако его первоначальная температура очень низка, горы невысоки, поэтому он приходит вниз сравнительно холодным. Бурное падение холодного воздуха на поверхность бухт создает сильное волнение в прибрежной зоне, при отрицательных температурах водяные брызги вызывают обледенение судов и портовых сооружений. Ледовая броня доходит до 4 метров, что нередко вызывает катастрофические последствия.

Так, 8 февраля 1976 года в результате жестокой боры и низких температур в районе Каботажного мола Новороссийской бухты утонули три научно-исследовательских судна: «Академик Вавилов», «Адмирал Нахимов», «Профессор Арнольди» и погибли три человека.

Интересно, что по вертикали бора распространяется на 200 — 300 метров, а по горизонтали — всего на несколько километров от берега.

Пытливый глаз моряка давно подметил основные черты этого природного явления, и не случайно, что авторами первых печатных работ о боре были моряки. Так, причины происхождения новороссийской боры впервые были исследованы русским моряком-гидрографом капитан-лейтенантом Ф. Ф. Врангелем и опубликованы в 1876 году. Эта работа замечательна тем, что в ней автор, хотя и не совсем точно, дал физическое толкование одной из причин возникновения боры как низвергающегося с гор потока воздуха.

Но можно ли сказать, что бора — сугубо местное явление, наблюдающееся исключительно зимой?

Из газетных сообщений мы узнаем следующее: «15 — 17 мая 1966 года в Анапе, Новороссийске, Геленджике и Туапсе порывы ветра достигали 35 — 40 метров в секунду. Были повреждены плодовые деревья, виноградники, линии электропередачи, сорваны крыши домов и т. п. Штормовой ветер и волны выбросили на берег Цемесской бухты греческое торговое судно, которое не приняло необходимых мер предосторожности». Оказалось, что и в теплое время года в районе Новороссийска ежегодно наблюдается 1 — 2 случая боры.

Анализ атмосферных процессов за эти периоды показал, что во всех случаях новороссийская бора усиливалась до урагана при прохождении через данный участок черноморского побережья холодных фронтов с северо-востока, то есть в это время как бы моделировалась зимняя ситуация: холодный ветер проходил над горным хребтом и падал на побережье. Анализ воздушных масс показал, что средняя разность температуры воздуха на небольшой высоте при прохождении фронта достигает 14-15° С. Но даже при таких сравнительно небольших перепадах температуры скорость боры на побережье возрастает до 30 — 35 метров в секунду.

Механизм образования фена немного иной. Собственное название ветра «фен» (теплый) дает ключ к пониманию природы явления, хотя вначале именно повышенная температура движущегося воздуха была причиной неверного его объяснения. В начале века фен, который часто наблюдался в Альпах, Апеннингах, горах Далмации и других горных районах Европы, считали порождением знойной Сахары.

Но с развитием метеорологии, увеличением сети наблюдательных станций пришло более точное понимание явления. Установлено, что фен образуется благодаря значительной разности между атмосферным давлением в глубине суши и над морем. При прохождении циклона над морем вблизи побережья, когда в глубине суши сохраняется ядро высокого давления, барическое поле формирует потоки воздушных масс, направленные со стороны суши к морю. И если на пути этих потоков (рис. 10,а) встречаются горы, то массы воздуха, накапливаясь за хребтом, начинают медленно подниматься. Температура воздуха (линия *AB* на рис. 10,б) при его подъеме падает, а влажность постепенно возрастает и в некоторой точке *B* достигает максимума.

При дальнейшем подъеме (линия *BC*) скорость понижения температуры воздуха меньше, чем на первом участке, так как здесь происходит выделение скрытой теплоты, освобождающейся при конденсации водяного пара. На вершине гребня, где воздух перенасыщен водяным паром (точка *C*), он начинает конденсироваться, образуя облачный вал, покрывающий весь горный хребет, — возникает характерная «феновая стена». С этой высоты воздух устремляется к морю, нагреваясь с такой же скоростью, с какой он охлаждался при подъеме на

участке *AB*, поэтому на побережье он приходит с более высокой температурой и небольшой влажностью.

Так, во время фена 28 февраля 1915 года на Зеленом мысу (под Батуми) температура воздуха поднялась от 10 до 24,4° С, а относительная влажность упала с 95 до 16% за 8 часов.

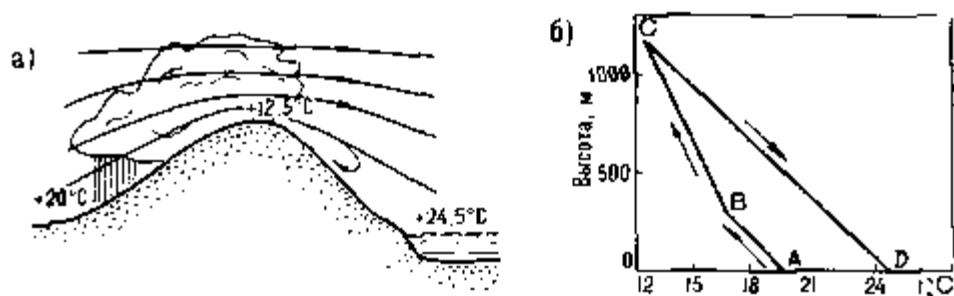


Рис. 10. Схема образования фена (а) и изменение температуры (б) в восходящем и нисходящем воздухе при фене

Во всем районе, захваченном нисходящим движением воздуха, наступает прояснение («феновый сегмент») и воздух приобретает исключительную прозрачность. Атмосферно-электрические наблюдения, проведенные во время фена, указывают на сильное уменьшение напряжения электрического поля и увеличение числа ионов в воздухе. При этом увеличивается дальность действия радиолокационных станций.

Приведенная выше картина образования фена сильно идеализирована; в действительности условия его возникновения отличаются от простых сухо- или влажноадиабатических изменений состояния воздуха, представленных на рис. 10. Большую роль играют реальные географические условия: высота гор, их удаленность от побережья, градиент атмосферного давления и т. п. Однако основной «спусковой» механизм фена ясен: это наличие горных хребтов вдоль побережья и соответствующее совпадение атмосферных условий — антициклона над сушей и глубокого циклона над морем. Поэтому фены наблюдаются во всех горных системах, хорошо выражены и часты в районе Черноморского побережья Кавказа, на Адриатике, у западных берегов северной части Южной Америки.

Своеобразной природой обладает еще одно проявление падающего ветра — так называемый стоковый ветер. Появление его связано с нарушением статического равновесия атмосферы вблизи ледяного склона, температура которого значительно ниже температуры в свободной атмосфере на такой же высоте.

Как известно, в нормальных условиях температура воздуха понижается с высотой, причем характер этого понижения зависит от широты места. Однако в отдельных районах созданный обычным градиентом давления ветер, двигаясь над большим пространством холодного плоскогорья, еще более выхолаживается и как бы проваливается ниже той отметки, на которой ему надлежит быть при нормальном профиле температуры.

Создается то самое неустойчивое состояние атмосферы, при котором скорость потока усиливается вследствие действия дополнительного горизонтального градиента давления, вызванного разностью температур воздуха на одной и той же высоте над ледниковым куполом и над поверхностью моря. Ветер приобретает дополнительное ускорение и ураганом обрушивается на побережье.

Такие стоковые ветры, носящие название ледниковых, в огромных масштабах наблюдаются в Антарктиде на склонах материкового плато и в Гренландии вдоль всего юго-восточного берега. Стоковый ветер, имеющий местное название «мистраль», часто наблюдается в Провансе на юге Франции, где воздух бурно и порывисто падает с холодного плоскогорья Севенн к теплему побережью Лионского залива. Интересно, что стоковые ветры могут наблюдаться не только зимой, но и летом, когда выхолаживание обширных равнинных пространств создает предпосылки для их возникновения.

Падающие ветры создают серьезные помехи мореплаванию и работе портов. В это время практически прекращаются перегрузочные работы, зачастую из-за обрыва линий электропередачи не работают некоторые предприятия.

Наиболее опасны падающие ветры для судов, стоящих на рейде, у причалов порта или входящих в гавань. Сильной волной и ветром их бьет о стенки причала, они могут быть сорваны с якорей и даже выброшены на берег. При отрицательной температуре воздуха суда начинают обледеневать, что также грозит неприятными последствиями. Так, в декабре 1970 года во время действия боры в Новороссийском порту греческий танкер «Тичи» длиной 170 метров при съёмке с якоря был выброшен на отмель. В каждом отдельном случае вопрос безопасности стоянки и движения судов в порту, подверженном воздействию боры, фена или других падающих ветров, решается по-своему.

Например, существует ряд проектов ослабления и даже полной ликвидации новороссийской боры. По одному из них предполагается прорыть тоннель в горном хребте Варада, чтобы уравнивать атмосферное давление на Кубанской низменности и на побережье Черного моря. Но даже несколько таких тоннелей вряд ли могут повлиять на режим боры, так как приход огромных масс холодного воздуха с предгорий Кавказа не может быть компенсирован его оттоком через эти тоннели. Уместно заметить, что существование в общем-то довольно широкого (1 — 2 километра) пролива Маточкин Шар на Новой Земле не способствует заметному ослаблению боры в этом районе.

Существует также проект ликвидации боры путем подогрева воздуха с наветренной стороны хребта Варада на

участке, размеры которого составляют 10 километров по фронту и 3 — 5 километров по направлению действия ветра. Но какой режим возникает при этом в атмосфере, сколько необходимо энергии, каковы экономические основы проекта — эти вопросы пока не решены даже приближенно.

Пока все проекты защиты судов и портовых акваторий от падающих ветров ограничиваются использованием экранирующего эффекта сооружений: служебных зданий, складов — вдоль причальной линии. Эти строения создают небольшую зону затишья на расстоянии нескольких сотен метров от берега, в то время как наибольшая часть акватории и внешний рейд остаются в зоне действия ветра.

Например, строительство здания длиной 300 метров и высотой 50 метров вдоль восточного побережья Новороссийской бухты позволит создать зону ветровой тени площадью примерно 60 тысяч квадратных метров. На такой акватории бухты уже можно отстаиваться некоторым судам.

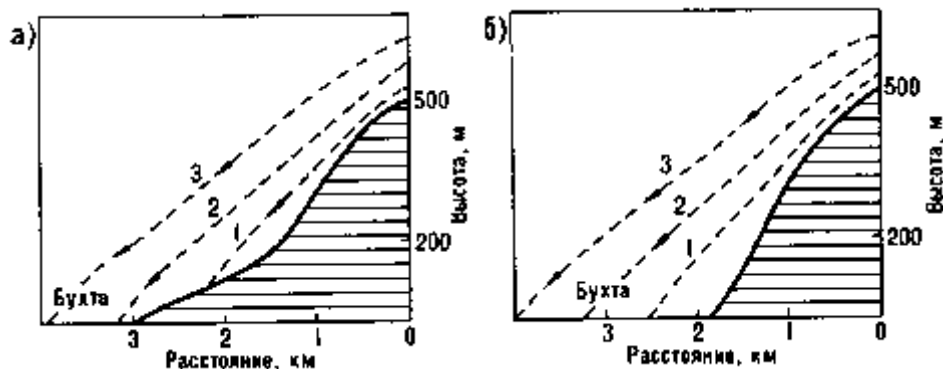


Рис. 11. Траектории частиц холодного воздуха при боре в районе Новороссийска (а) и в средней части Цемесской бухты (б): 1 — при скорости ветра над хребтом 20 м/с; 2 — то же 25 м/с; 3 — то же 30 м/с

Другой, наиболее удобный и распространенный способ предохранения судов от воздействия падающих ветров — это использование естественной защиты рельефа местности. В некоторых местах высокие горы близко подходят к берегу и при падающих ветрах создают зоны ветровой тени. Известно, что резкое увеличение скорости ветра при боре вызывается не столько вертикальным ускорением падающего с гор воздуха, сколько опусканием уже существующей над хребтом струи штормового ветра.

Подсчитано, что для условий Новороссийской бухты при скорости ветра 25 — 30 метров в секунду (типичной для бору) падающий воздух в силу инерции движения достигает поверхности воды на расстоянии 2,8 — 3,4 километра от вершины хребта.

На рис. 11,а видно, что в районе Новороссийского порта, где берег более пологий, струя холодного воздуха коснется поверхности бухты уже в районе восточных причалов. А при тех же скоростях ветра над хребтом на внешнем рейде порта в средней части бухты, где горы почти отвесные, существует пространство, защищенное от действия бору (рис. 11,б). Здесь штормовой ветер падает на бухту на расстоянии не менее 500 метров от берега.

Эту зону, находящуюся вне действия бору, можно использовать для отстоя судов во время шторма. Именно поэтому места подобных естественных укрытий обычно указаны в лоциях.

Например, в районе Новороссийска суда укрываются от бору вблизи поселка Южная Озерейка за полуостровом Мысхако. Здесь на расстоянии 400 — 500 метров от берега сила ветра бору намного слабее, чем в открытом море или в Новороссийском порту.

Детальные исследования причин возникновения бору в Новороссийске позволили выявить три ее основных типа: муссонный, стоковый и смешанный. Начало и прекращение бору муссонного типа происходит в результате движения клина холодного воздуха под действием прибрежной муссонной циркуляции ветра. Одновременно на поверхности раздела холодного и теплого воздуха возникают продольные волны, способствующие ускорению потока. Наступлению стоковой бору предшествуют постепенное выхолаживание воздуха на плоскогорье к северо-востоку от побережья и создание таких атмосферных условий, когда над сушей господствует гребень высокого давления.

В общем случае прогноз бору осуществляется в три этапа.

Первым этапом является прогноз угрозы бору, то есть того барического фона, который необходим для ее возникновения. Этот прогноз составляется синоптиками, как обычный суточный прогноз погоды. При возникновении ситуации, способствующей формированию бору, гидрометеорологи начинают рассматривать местные условия: степень выхолаживания суши, барические градиенты на высоте горного хребта, плоскогорья и над морской поверхностью. На третьем этапе прогноза уже даются ожидаемые скорости ветра на перевале, ее распределение по оси потока до моря, границы действия и скорость затухания.

Большую помощь при составлении прогноза оказывают эмпирические зависимости силы ветра вдоль склона хребта и над поверхностью моря от других атмосферных факторов. Поэтому для гидрометеорологов большую ценность представляют наблюдения на судах во время бору. Они позволяют уточнить локальные прогностические зависимости, и составленный на их базе прогноз бору, в частности в Новороссийске, довольно надежен.

Получив предупреждения об ожидаемых сильных ветрах с берега, судоводители обязаны принять меры к

укрытию судов в рекомендованных естественных убежищах, а при невозможности покинуть порт предпринять меры, гарантирующие нормальные условия стоянки судна: привести в готовность главный двигатель, проверить и укрепить швартовы, установить дополнительные кранцы, в общем выполнить все мероприятия, необходимые для обеспечения безопасности.

НЕНОРМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ

Тот, кто шел под парусом из Солента мимо мыса Нидс при отливном течении и шестибалльном противном ветре, отлично знает, какая чудовищная крутая волна там поднимается. Яхта попеременно то как бы встает на корму, то зарывается носом, черпая бортами массу воды. То же самое, но только в гигантских масштабах происходит у мыса Горн, когда восточный шторм встречается с течением, идущим мимо мыса на восток.

Ф. Чичестер. Кругосветное плавание на «Джипси-Мот»

Морякам, рыбакам, жителям морских побережий там, где наблюдаются сильные течения, хорошо известно, что размеры волн при одном и том же ветре существенно зависят от скорости и направления течения. Давно замечено, что в случае, если ветер и течение встречные, образуются крутые волны с пенящимися гребнями, которые непрерывно обрушиваются, создавая впечатление кипящей воды.

Ходить в таком районе на шлюпке или небольшом катере опасно, и практика знает много случаев гибели малых судов в таких районах. Эти районы хорошо известны: побережье Баренцева моря, горло Белого моря, Норвежские шхеры, западные берега Южной Америки, заливы и бухты Северной Америки и другие районы Мирового океана. Такое явление встречается и в устьях рек. В этом случае высота длинных пологих волн, приходящих с моря, при входе в устье реки увеличивается, волны становятся круче и также представляют опасность для плавания.

Понятно, что резкое увеличение высоты и крутизны ветровых волн, не связанное с воздействием ветра, может происходить при встрече волнения с любым, не обязательно приливным, течением.

О причинах гибели рыболовного судна, опрокинутого огромными волнами, которые возникли как бы из «ничего», японский океанограф М. Томинага писал: «Погода стояла благоприятная, дул только слабый ветер. Волнение в открытом море было около 2 баллов. Но в это время наблюдалось сильное стоковое течение, скоростью до 6 узлов, так как накануне прошли обильные дожди. Ясно, что высота волн, находящихся под влиянием таких сильных течений, увеличивается».

Предусмотреть возможность образования таких неправильных волн (их иногда называют в зарубежной печати freak waves, то есть ненормальные, уродливые волны) весьма сложно. Как показывает случай с японским рыболовным судном, эти волны могут возникнуть при взаимодействии ветрового волнения со случайно образовавшимся стоковым течением. Но, вместе с тем, в районах со сложившимися реверсивными или постоянными течениями такое явление наблюдается очень часто.

Так, у юго-восточных берегов Африки в районе между Ист-Лондоном и Дурбаном край континентального шельфа резко приближается к береговой линии. В этом месте одна из ветвей постоянного Агульсова течения подходит близко к поверхности океана. При сильном юго-западном ветре вызываемое им волнение движется под различными углами к течению и вступает с ним во взаимодействие. Высота волн возрастает вдвое сравнительно с высотой тех волн, которые образуются при обычном волнении.

Немалую роль при этом играют и другие океанологические факторы, присущие этому месту: обрывистый склон дна, резкие и внезапные усиления воздушных потоков, крупная зыбь с юга от Антарктиды. И поэтому в этом районе нередко образуются аномальные волны, которые моряки называют «ложбинами», «дырами» или «ямами» в океане. Характерная особенность этих волн — крутой передний склон и достаточно пологая ложбина. Высота волн может быть 15 — 20 метров и более, причем иногда при относительно спокойном море.

При встрече с такой волной судно проваливается во внезапно появившуюся на его пути яму и несется навстречу следующей волне. Удар следующей волны уже приходится не в носовую часть его корпуса, а в менее прочные надстройки. Такие удары приводят к попаданию воды в помещения, а иногда и к разрушению надстроек, шлюпок и т. п.

Подобный случай произошел в 1973 году с нефтерудовозом «Свиленд». Это огромное судно дедвейтом 282 450 тонн, длиной 338 метров, шириной 55 метров и осадкой 22 метра 25 сентября двигалось на юго-запад против встречного ветра силой 8 баллов и волн высотой 9 — 12 метров. В 16 часов 45 минут перед судном появилась глубокая ложбина, в которую провалился его нос. Прежде чем он успел подняться, огромная масса воды обрушилась на крышки двух передних трюмов, приоткрыв их. При этом были ранены два матроса.

Еще более опасны эти ямы, когда они возникают не прямо по ходу судна, а немного сбоку. Тогда судно скачивается бортом в эту ложбину и его крен может превысить критические значения.

Так, 21 августа 1964 года английский пассажирский лайнер «Эдинборо Касл» шел недалеко от юго-восточного берега Африки против зыби и юго-западного ветра. Судно вместимостью 28 600 регистровых тонн спокойно переваливало через волны длиной 50 метров при бортовой качке 10 — 15°. Внезапно, когда лайнер поднялся на очередную пятиметровую волну, перед ним возник гребень высотой в два раза больше обычного, а рядом — ложбина, в которую судно покатило правым бортом под углом 30° и более.

К счастью, судно смогло выровняться. Однако большое количество воды попало в пассажирские помещения; были повреждены лебедки, перила на палубе, трап. Легко можно представить, что судно меньших размеров в таких условиях могло бы перевернуться.

Громадные по размерам волны мореплаватели еще в XVIII веке называли «кейпроллерами», то есть волнами-убийцами. При определенной скорости судна воздействие таких волн может оказаться роковым.

Предполагается, что именно эти волны были причиной гибели танкера «Уорлд Глори». Первый в мире крупнотоннажный танкер «Уорлд Глори» был спущен на воду в США в 1954 году. В июне 1968 года судно направилось из кувейтского порта Мена-эль-Ахмади в Испанию, имея в танках более 48000 тонн сырой нефти. Перед выходом из порта Мена-эль-Ахмади танкер был освидетельствован и признан «крепким, исправным, безопасным для плавания». Судно шло курсом через Персидский залив, Аравийское море, западную часть Индийского океана к южной оконечности Африки.

Вот как описывает этот переход Г. Дмитриев в альма-пахе «Человек и стихия»:

«Первые двенадцать дней плавания «Уорлд Глори» прошел без особых событий. Первый сигнал о приближающейся опасности был получен 12 июня, накануне катастрофы. В 11 часов по местному времени кейптаунское радио сообщило, что ожидается юго-западный ветер от умеренного до сильного и на море возможно волнение от умеренного до значительного. Спустя десять часов судовая радиостанция приняла штормовое предупреждение для района, находящегося к югу от танкера.

Жесткий шторм обрушился 13 июня в 5 часов утра. Капитан поспешил на мостик. Увидев огромные волны, он приказал немедленно убавить ход. Через полчаса снова велел уменьшить скорость уже до 5 узлов и с этого момента стал маневрировать судном, удерживая его против ветра и волн, которые, перекатываясь через нос танкера, расплескивались бурунами вокруг средней надстройки.

Вновь и вновь «Уорлд Глори» стряхивал с себя массы воды, упрямо пробиваясь вперед. Капитан еще раз приказал уменьшить ход. Теперь движение танкера сделалось едва заметным. Судно придерживалось лучшего из возможных курсов — вразрез волне. Капитану оставалось ждать, когда утихнет шторм.

Но вот в 14 часов 55 минут гигантский вал высотой около 20 метров приподнял нагруженный танкер над водой. В какое-то мгновение нос и корма остались без опоры; под действием их массы корпус судна прогнулся и верхняя палуба дала трещину позади передней надстройки. Через короткий промежуток времени на «Уорлд Глори» накатился еще один массивный вал, резко задрав нос судна кверху. Раненый танкер содрогнулся, и все на его борту услышали леденящий душу звук ломающегося и рвущегося металла. У судна, уже имеющего трещину по верхней палубе, переломилось днище. Половины танкера стали расходиться, и из них в океан полилось содержимое танков.

Раздался крик «Пожар!». Это запылала разлившаяся по поверхности воды нефть, угрожая превратить разьединенные секции танкера в огненные могилы для членов экипажа. Вскоре огромный вал окатил то, что осталось от судна и залил пламя».

В итоге крушения двадцать два человека из экипажа танкера погибли вместе с судном; 10 моряков были спасены на следующий день после катастрофы.

В мае 1973 года в этом же районе потерпел крушение английский рефрижератор «Бенкруэйкан» (12092 регистровых тонн). Судно следовало из Лондона в Сингапур в полном грузу. Неизвестно откуда появилась волна высотой около 14 метров, ударила по корпусу, приподняла его и переломила днище в районе первого трюма. Носовая часть отогнулась и ушла под воду. К счастью, судно осталось на плаву и было отбуксировано в Дурбан.

В августе того же года в полторастах милях от Дурбана подобная авария произошла с контейнерным судном «Нептун сапфир» (более 14 тысяч регистровых тонн). При северо-восточном ветре силой около 20 метров в секунду судно подверглось удару огромной волны. «Нептун сапфир» переломился на две части. Носовая часть затонула, а оставшаяся на плаву кормовая часть судна была отбуксирована в Ист-Лондон.

Образование аномально высоких волн связывают, в частности, и с прохождением атмосферных фронтов. Однако в любом случае ясно, что внезапное изменение параметров ветровых волн на встречном течении представляет опасность даже для современных крупнотоннажных судов.

Какова же физическая картина этого явления?

Океанографы считают, что при набегании ветровых волн в зону с сильными поверхностными течениями резко возрастают высоты волн, увеличивается их крутизна и изменяется период.

Для изучения этого явления учеными были проведены эксперименты в гидравлическом лотке, где исследовалось поведение ветровых волн на попутном и встречном течениях. На полигоне в южной части Кольского залива были организованы натурные исследования этого явления. В районе, где вследствие сужения залива резко возрастают скорости приливных течений, были поставлены два экспедиционных судна, которые одновременно проводили регистрацию волнения и измерения течений. Естественно, в заливе штормовых условий не наблюдалось, тем не менее были получены очень интересные результаты.

При скорости ветра 8 — 10 метров в секунду наблюдались волны высотой 0,5 — 0,6 метра на слабом течении. С усилением встречного приливного течения картина быстро менялась: высота волн при постоянном ветре резко увеличивалась; достигнув предельной крутизны, волны разрушались, сбрасывая гребни. Высота волн увеличивалась в два, два с половиной раза. Суда попадали буквально в шторм, особенно когда направление течения немного изменялось и крен при бортовой качке достигал 25 — 30°. Период волн при этом резко увеличивался, волны становились как бы стоячими. С уменьшением скорости течения высота волн также

уменьшалась, их период возвращался к обычным для таких ветровых волн значениям.

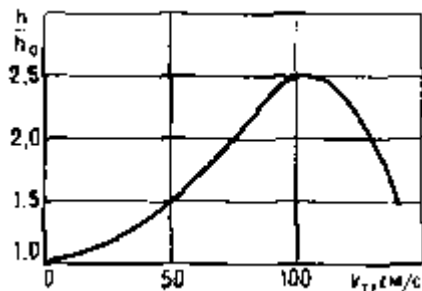


Рис. 12. Изменение средней высоты волн в зависимости от скорости v_t встречного течения

Совместное изучение результатов лабораторных и полевых экспериментов позволило сделать общие выводы.

С увеличением скорости встречного течения v_t при постоянном ветре средние периоды встречных волн плавно увеличиваются. Однако при достижении течением некоторой критической скорости $v_{кр}$ значения средних периодов резко возрастают. Такое увеличение периодов объясняется, по-видимому, определенными соотношениями между так называемой групповой скоростью распространения волн и скоростью встречного течения.

По данным наблюдений было установлено, что при усилении встречного течения все параметры видимых волн постепенно увеличиваются. Дальнейшее резкое увеличение средних периодов зависит уже от уменьшения групповой скорости ветровых волн, так как продвижение профиля волны против течения замедляется и при достижении течением критических значений профиль волны должен остановиться, то есть при этом должно соблюдаться равенство $v_{кр} = V_{групп}$, где $v_{кр}$ — скорость волны в метрах в секунду. Из теории волнения известно, что $v_{волн} = (gT):2n$, где T — период волн в секундах. Из этого выражения можно вычислить скорость течения, при которой данные волны достигают максимальной высоты.

Не следует, однако, думать, что максимальные волны наблюдаются при максимальном течении. Рис. 12, построенный по осредненным данным, показывает, что отношение средней высоты h волны при наличии течения к ее значению h_0 при $v_t = 0$ возрастает, достигая максимума на течении, имеющем скорость 100 сантиметров в секунду. При дальнейшем увеличении скорости течения высота волн падает.

Интересно, что в зависимости от усиления встречного течения изменяется, кроме средних высот и периодов, и характер их распределения. В частности, отмечено, что при умеренной скорости течения разнообразие периодов волн уменьшается, они становятся более «одинаковыми», похожими одна на другую. Одновременно с усилением встречного течения увеличивается число длин-ноперриодных волн. Это объясняется, по-видимому, тем, что район, где наблюдаются сильные встречные течения, становится как бы естественным фильтром, не пропускающим волны малых периодов.

Волны, имеющие групповую скорость меньше или равную скорости встречного потока, останавливаются и гасятся, а через «фильтр» проходят волны, имеющие скорость $v_{волн} > v_t$. Естественно, при этом нарушается регулярность природного волнового процесса и как следствие этого резко изменяются период и размах качки судов при переходе через такие районы.

Из рис. 12, кроме того, следует, что при увеличении скорости встречного течения до 100 сантиметров в секунду средняя высота волны увеличивается в 2,5 раза, и этот факт необходимо знать при расчетах волн в местах, где наблюдаются сильные приливные и постоянные течения, в устьевых участках рек, в проливах и узкостях.

Предварительные немногочисленные исследования показывают, что на попутном течении такие параметры волн, как средние высоты и средние периоды, уменьшаются. Однако этих данных недостаточно даже для того, чтобы хоть качественно описать явление.

Исследования изменений ветрового волнения на течениях продолжаются. Но даже приведенные здесь немногочисленные научные результаты весьма полезны для судоходства. Учитывая возможность встречи с феноменом возрастания высоты волн на встречном течении, мореплаватели, зная ходовые качества своих судов, должны выбирать курс и время прохождения опасных районов с учетом прогноза ветра и волнения, привлекая данные о приливных и постоянных течениях.

Интересная система волн образуется при прохождении атмосферных фронтов. В средних широтах атмосферные фронты связаны с глубокими циклонами, образующимися главным образом над океаном. Ученые-метеорологи заметили, что при движении большого циклона и связанного с ним холодного фронта в его тыловой части появляется еще один вторичный атмосферный вихрь. Причиной его образования служит большая разность температур между относительно теплой водой и охлажденным воздухом в тыловой части большого (главного) циклона. Поэтому двойные барические образования возникают чаще всего над океаном в холодный или в переходные сезоны, когда есть все условия для создания нужной разности температуры воды и атмосферы.

Главный циклон, быстро перемещаясь на запад, увлекает за собой большие массы воздуха, что приводит к возникновению в его задней части своего рода разрежения атмосферного давления. Такие области разрежения давления совместно с большим температурным контрастом между воздухом и подстилающей поверхностью и

образуют вторичный циклон. Вторичный циклон усиливает действие главного, в итоге чего скорости ветра в тыловой части главного циклона (особенно с правой его стороны в северном полушарии) значительно больше, чем в других частях, и ветер порой достигает ураганной силы. Поэтому в зоне максимальных скоростей ветра возникают огромные ветровые волны, все элементы которых (высота, период, длина) имеют предельные значения.

При прохождении атмосферных фронтов сразу вслед за ними на море образуются волны, обладающие большими скоростями распространения, — типа волн зыби. Эти волны уходят из зоны своего зарождения и, опережая циклон, достигают удаленных побережий задолго до шторма. Поскольку холодные атмосферные фронты движутся вправо от основного циклона, эти волны наиболее интенсивны в правой его части. Дойдя до места, где глубина моря становится меньше длины волны, они деформируются, образуя сильнейший прибой.

В открытом море в районах встречи этих волн, идущих с разных направлений, они образуют «пирамидальные» волны, чрезвычайно опасные для судов. Средняя высота h (в метрах) фронтальных волн при постоянной скорости v_{cp} (в километрах в час) движения фронта $h = 1,67 \cdot 10^{-3} v_{cp} L$, где L — путь, пройденный фронтом над поверхностью моря или океана, в километрах.

При изменении скорости движения фронта появляется новая система волн, высота которых также определяется по этой формуле. Волны, уже сформировавшиеся к этому моменту, либо отстают от «новых» волн, либо опережают их в зависимости от того, замедлилось или ускорилось движение фронта. Высота волн новой совмещенной системы может в 2 раза превышать средние высоты волн. Предполагают, что именно волны, порождаемые движением атмосферных фронтов, часто бывают причиной аварий судов у юго-восточной оконечности Африки. Эти явления происходят в открытом море.

При приближении к берегу зона шельфа может выступать в роли усилителя таких волн. Это происходит в том случае, когда период волн совпадает с периодом собственных колебаний воды на шельфе. Тогда шельф можно рассматривать как канал с одной твердой и одной жидкой стенками, который захватывает волны открытого моря. При резонансе средняя высота волн увеличивается вблизи берегов на 1 метр и более. Выяснено, что ураганы, с которыми связано появление наиболее опасных пограничных волн (перемещающихся вдоль шельфа с гребнями, перпендикулярными линии берега), движутся параллельно береговой черте или медленно приближаются к ней. Поэтому при прохождении судов в шельфовых водах судоводители должны быть готовыми к появлению высоких резонансных волн в случае, если недалеко проходит шторм.

СУЛОЙ

Вот и Андаманское море, вход в Малаккский пролив. Мангры на берегу Суматры, их бледные стволы. Розовые бунгало в бухте Вэ, и белые восклицательные знаки створных знаков. Пенные полосы сулоя штилевой воды, прибойный шум сулойных волн и та штурманская тревога, которая всегда появляется, когда пересекаешь полосу возмущенной воды, стремление еще и еще определиться — не на рифах ли шумит вода? *В. Конецкий.*

Среди мифов и рифов

«Известно, что во время прилива воды, сжатые островами Фарерскими и Лофотенскими, несутся с непреодолимой силой. Они образуют водоворот, из которого не выходил целым ни один корабль. Отовсюду, со всех точек горизонта, сюда набегают чудовищные валы, центростремительная сила которых распространяется на пятнадцать километров. В этом водовороте погибают не только корабли, но и киты и даже белые медведи арктических стран.

И вот сюда-то невольно, а может быть, и нарочно, привел капитан Немо свой «Наутилус»...

Так Жюль Верн в своей книге «20 000 лье под водой» красочно изобразил легендарное бурное море в проливе Москенстреумен (Лофотенские острова). А вот как показано поведение корабля и маленькой шлюпки, в которой по воле автора оказался главный герой романа:

«Корабль двигался по спирали, радиус которой постепенно уменьшался. Вместе с ним с ужасающей быстротой вращалась и наша шлюпка, прикрепленная еще к борту... Какой адский шум вокруг этой хрупкой шлюпочки! Какой рев, без конца повторяемый эхом на расстоянии десятков миль! Какой грохот волн, разбивающихся об острия подводных скал, там, в глубине, где самые мощные стволы деревьев превращаются в жалкие щепы!»

Живописно, но... неверно. В книге известного советского океанографа В. Березкина «Динамика моря» приведена репродукция со старинной гравюры.¹ На ней неизвестный художник средневековья гораздо точнее, чем Жюль Верн, передал главные особенности образования интересного природного феномена — сулоя. На картине изображены огромные волны в проливе, которые делят море на 2 зоны. Обе эти зоны спокойные, но граница между ними — в самой узкой части пролива — сильно взволнована. Это и есть сулой.

Сулой, или, как иногда называют это своеобразное явление, суводь, означает (согласно толкованию В. Даля) водоворот, встречное течение, толчею. Название «сулой» получило большее распространение в практике мореплавания. Места, где может наблюдаться такое явление, обозначают на навигационных картах специальным значком. В речной лоции более прижился термин «суводь».

Явление внезапного образования толчеи, водоворотов в узкостях без видимых внешних причин отмечено давно. Например, капитан М. Шпанберг в своем рапорте Адмиралтейской коллегии о плавании по Тихому океану в 1738 — 1739 годах дал красочное описание сулоя в Курильских проливах.

Сулои встречается не только в Курильских проливах или вблизи Лофотенских островов. В самых различных районах Мирового океана, где наблюдаются сильные течения, могут формироваться сулои. Небольшие сулои наблюдаются в Черном море (Керченском проливе), более сильные — в узкостях у западных берегов Канады, в шхерах Скандинавии. Но наибольших размеров достигают сулои в мелководных районах с сильными реверсивными течениями: в проливах между Курильскими островами, Сингапурском, Портленд-Ферт и др.

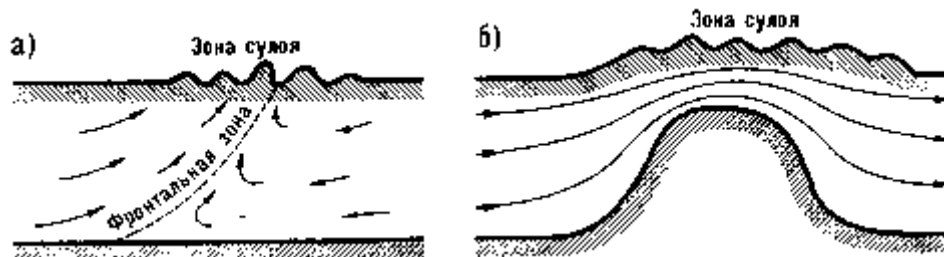


Рис. 13. Схема образования сулоя при встречных течениях (а) и над подводным препятствием (б)

Ученые-океанологи еще не разработали окончательно теории сулоя, способной рассчитать все параметры явления. Образование сулоев обычно связывают с взаимодействием двух встречных потоков воды (рис. 13,а). При этом во фронтальной зоне образуются вихри, выходящие на поверхность в виде беспорядочных волн. Энергия, а значит, и высота этих волн тем больше, чем выше скорости потоков.

Сулои, вызванные встречей двух потоков, часто наблюдаются вблизи бухт у северных берегов Кольского полуострова. В этом районе приливной поток, заходя в многочисленные заливы, вызывает большой наклон уровня воды. Вследствие уклона образуется встречное течение, которое вблизи выхода из залива сталкивается с приливным течением. При этом в горле этих бухт и заливов образуются сулои. Наиболее известен в этом районе сулой около мыса Святой Нос. Здесь приливной поток воды, устремляющийся в горло Белого моря, встречается со своей отделившейся ветвью, которая, попав в Святоносский залив, претерпевает циркуляцию и вдоль юго-западного берега мыса Святой Нос идет навстречу основной массе воды.

Сулои могут появляться и в результате выхода потока на мелководье. В этом случае образуются большие градиенты скоростей в струе воды, разрывы потока, вихри и, как следствие волны на поверхности (рис. 13,б). Простым примером может служить движение речной струи. На плесах, в широких местах река течет плавно, спокойно. На перекатах же, на поверхности воды появляются беспорядочные волны, водовороты — возникает суловь. В море появление потока на поверхности наблюдается в проливах между островами, в узкостях.

Так, вблизи Курильских островов, когда под действием приливных сил огромные массы воды из Тихого океана устремляются в Охотское море через узкие и относительно неглубокие проливы, энергия потока при выходе на мелководье концентрируется из-за уменьшения площади поперечного сечения и образуются большие, до 3 — 4 метров высотой, беспорядочные волны.

Наиболее мощные сулои наблюдаются при максимальных скоростях течений. Поскольку они появляются в районах с приливными явлениями, зависимость появления сулоев от характера прилива позволяет весьма надежно их прогнозировать.

Сулой весьма опасен для мореплавания. Даже крупные суда, проходя через сулой, испытывают неприятную беспорядочную качку, сбиваются с курса; высокая волна может сильно повредить палубное устройство, сорвать с креплений палубные грузы, механизмы и спасательные средства. Пересечение таких опасных районов мелкими и парусными судами грозит им гибелью. Немало небольших рыболовных судов затонуло в Норвежских шхерах при проходе через сулои.

И недаром в лоции Лофотенских островов указано, что во время большого волнения и сильного течения, при котором возникают водовороты, не следует проходить проливом Москенстреумен независимо от размеров судов. Кроме того, нельзя ходить в этом месте на парусных судах при легких бризах.

Белая пена сулоя часто воспринимается мореплавателями как признак рифов, что заставляет отклоняться от курса, тратить время на дополнительные определения места, а ночью — и бросать якорь в ожидании светлого времени. Поэтому, приближаясь к месту, где могут образоваться сулои, судоводитель должен учитывать фазы прилива и периоды течения и выбирать время прохода через опасный район, принимая во внимание характер и время возможного возникновения сулоя.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И «МЕРТВАЯ ВОДА»

Мы направились к краю льда, чтобы пристать, но «Фрам» оказался на «мертвой воде» и почти не двигался с места, хотя машина работала на полную мощность. «Фрам» шел все медленнее по направлению к краю льда. Потребовалось более 4 часов, чтобы пройти несколько морских миль, которые мы могли бы пройти на веслах в полчаса или менее.

Ф. Нансен. Среди льдов и во мраке полярной ночи

В течение многих лет «мертвая вода» приводила в затруднение опытных капитанов, а суевенных моряков попросту пугала. Судно, идущее малым ходом, внезапно останавливается, как если бы чья-то рука схватила его снизу. Заслуживает внимания лингвистическая тонкость: «находиться в мертвой воде» на языке норвежских моряков значит то же, что «не двигаться вперед».

Суда, обладающие малым ходом, попав в «мертвую воду», внезапно теряют ход, а суда, застопорившие машины, теряют ход не постепенно, а сразу. И, наоборот, при выходе из «мертвой воды» суда быстро набирают ход. Парусные и буксируемые суда на «мертвой воде» сбиваются с курса и перестают слушаться руля.

Поверхность моря при следовании судна по «мертвой воде» в штиль приобретает необычный вид. За кормой сильно увеличиваются поперечные волны, впереди судна появляется огромная волна, которую судно вынуждено толкать. На «мертвой воде» возникают почти такие же волновые движения, как и при следовании судна по мелководью.

Исследования этого явления, начатые по инициативе Ф. Нансена, показали, что возникновение «мертвой воды» тесно связано с образованием слоя скачка плотности воды и внутренних волн.

Как следует из рис. 14, температура и соленость воды с глубиной изменяются, причем это изменение далеко не плавное. Обычно из-за сильного прогрева верхних слоев воды их температура гораздо выше температуры подстилающих. И если еще соленость воды на поверхности (в силу притока речных вод или дождей) ниже, чем в глубине, то плотность воды верхнего слоя сильно отличается от плотности глубинных вод.

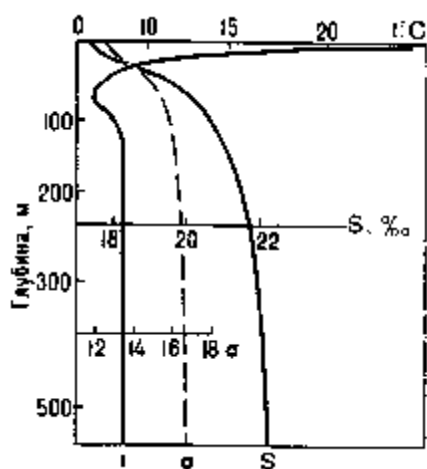


Рис. 14. Вертикальное изменение температуры t , солености S и плотности σ воды в Черном море

Увеличение плотности от поверхности до дна происходит неравномерно. Слой, где градиенты температуры и солености, а следовательно, и плотности бывают наибольшими, называется слоем скачка. Устойчивый слой скачка плотности толщиной в несколько метров образует как бы поверхность в океане, разделяющую менее плотную и более плотную водные массы. И если на эту поверхность станут воздействовать какие-либо внешние силы, она начинает колебаться: возникают внутренние волны (рис. 15).

Впервые исследования природы внутренних волн были проведены в специальных опытных бассейнах. Для экспериментов брали два типа жидкостей, сильно различных по плотности и цвету (для удобства наблюдений), например керосин и воду, и подвергали эту систему двух жидкостей воздействию различных внешних сил.

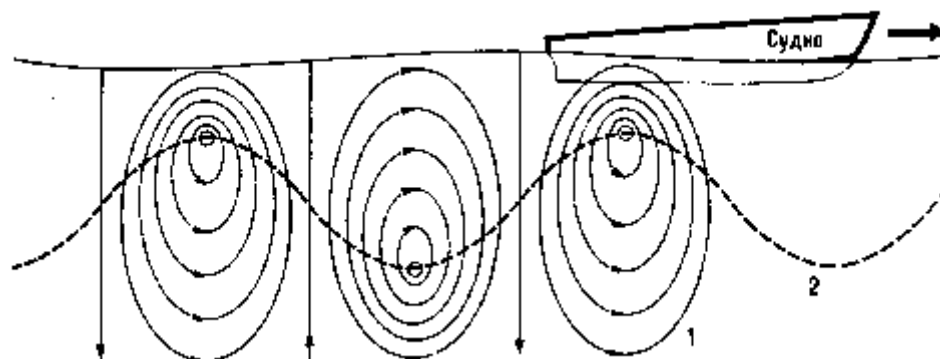


Рис. 15. Образование «мертвой воды»: траектория течения; 2 — поверхность раздела

В природных условиях — на морях и океанах — наблюдения за внутренними волнами ведут путем непрерывной или очень частой (через 1 — 10 минут) регистрации температуры и солености воды на различных глубинах в течение длительного времени — более месяца. В настоящее время для исследования внутренних волн стали применять буй нейтральной плавучести с гидроакустическими сигнализаторами. Такой буй заглубляют до горизонта слоя скачка и, добившись уравнивания его плотности с плотностью окружающих масс

воды, с помощью гидролокатора прослеживают его вертикальное и горизонтальное перемещение.

Размеры и скорость перемещения внутренних волн во многом определяются их природой, происхождением и развитием. Как и любое волновое движение, внутренние волны представляют собой колебания частиц около положения равновесия на различных глубинах в воде с изменяющейся плотностью. Под действием какой-либо внешней силы в океане нарушается природное равновесие слоев. В результате частицы воды погружаются на глубину, зависящую от градиента плотности и приложенного усилия.

Достигнув глубины, где плотность окружающей воды и частиц различна, они не остановятся, а по инерции будут погружаться в более плотные слои. Погружение будет продолжаться до тех пор, пока силы инерции не уравновесятся силами плавучести. Затем частицы начнут подниматься. Поскольку частицам будет сообщено некоторое ускорение, они по инерции пройдут положение равновесия, в котором находились до погружения.

Войдя в слой с меньшей плотностью, частицы воды остановятся, а затем начнут снова погружаться. Колебания будут продолжаться до тех пор, пока действует вызвавшая их внешняя сила. После прекращения действия силы амплитуда колебаний станет уменьшаться и колебания будут затухать.

Как хорошо известные морякам поверхностные, так и внутренние волны возникают под действием одних и тех же сил. Однако сложность изучения внутренних волн в отличие от поверхностных, которые можно выделить по силам, их образовавшим (ветровые, приливные), в том, что их анализ производится по косвенным признакам: плотности, солености, температуре воды.

Дополнительную сложность вносит тот факт, что регистрация колебаний температуры, солености и других характеристик воды позволила выявить сложные волны, которые являются результатом сложения так называемых элементарных волн, порождаемых каким-либо одним возмущением.

Несмотря на эти сложности, океанологам удалось определить главные причины, вызывающие мощные волнообразные колебания частиц жидкости в поверхностях раздела слоев воды с различной плотностью. Выяснилось, что механизм образования внутренних волн может быть различным в зависимости от сил, действующих на всю толщу воды от поверхности до дна.

Внутренние волны могут возникать непосредственно под действием внешних сил: приливообразующих и метеорологических. Они также могут возникнуть вследствие резонанса между поверхностными волнами и собственными колебаниями в слое скачка плотности, между внутренними волнами на различных глубинах, а также между колебаниями атмосферного давления и собственными колебаниями поверхности раздела слоев.

Внутренние приливные волны распространяются во всей массе жидкости, и их период, как правило, равен периоду приливообразующей силы: примерно 6 часов при полусуточных приливах и 12 часов — при суточных.

Однако некоторые океанологи считают, что внутренние приливные волны образуются вследствие воздействия поверхностной приливной волны, когда она резко изменяет свои характеристики над крутыми формами рельефа дна или на мелководье. Но так или иначе все исследователи полагают, что приливные внутренние волны обладают большей амплитудой (до 30 метров и более при полусуточном приливе), причем наиболее мощные приливные внутренние волны могут возникать только в том случае, когда скорость распространения свободных внутренних волн на поверхности раздела соответствует скорости распространения приливообразующей силы, то есть при резонансе.

Внутренние метеорологические волны можно условно подразделить на ветровые и барические. Ветер и атмосферное давление, действуя на водную поверхность с неодинаковой силой и различной продолжительностью, вызывают ее колебания с периодами, соответствующими периодам их изменений.

Ветер служит причиной образования внутренних волн в случае, когда вызванное им волнение успевает распространиться до глубины расположения слоя скачка плотности. Обычно глубина распространения ветрового волнения невелика (30 — 50 метров), но и глубина поверхности температурного раздела летом для морей средних широт не превышает 70 метров. Такие условия создают предпосылки для образования внутренних волн. Поверхностные волны как бы раскачивают нижние слои до тех пор, пока там не возникают огромные, но медленно распространяющиеся волны.

Внутренние волны ветрового происхождения вызываются также обширным перераспределением водных масс на больших акваториях. Так, в различных районах Мирового океана (в тропической Атлантике, на Балтике) обнаружены внутренние волны с периодами 69 — 80 и 31 — 33 часа. Оказалось, что аналогичным периодом в этих районах обладают ветры пассатной и бризовой циркуляции. Следовательно, происхождение этих внутренних волн тесно связано с региональными метеорологическими условиями.

Барические внутренние волны представляют собой свободные колебания частиц воды. Вертикальные колебания и горизонтальные движения частиц воды с периодом, равным периоду собственных колебаний бассейна или близким к нему, возникают при воздействии внешних сил (в данном случае при резком изменении атмосферного давления). По закону «обратного барометра» выход барических образований с морской акватории на сушу сопровождается резкими колебаниями уровня воды в прибрежной зоне.

Если колебания уровня моря, вызываемые изменением атмосферного давления, составляют сантиметры, то вертикальное перемещение слоя скачка, образующее внутренние волны, достигает десятков метров. Дело в том, что градиент плотности на границе вода — воздух на несколько порядков больше градиента плотности в слое скачка, поэтому воздействие одной и той же силы на поверхность воды и на границу раздела ее слоев с различной плотностью приводит к различным последствиям.

По размерам и периоду внутренние волны можно подразделить на длинные, короткие и стоячие. Длинные волны появляются тогда, когда общая глубина моря мала по сравнению с длиной волны. Такие волны, как

правило, имеют приливное или барическое происхождение. Интересно, что скорость их перемещения гораздо меньше, чем скорость перемещения длинных волн на поверхности; при одинаковом периоде они, кроме того, гораздо короче последних. Причина таких различий — та же указанная выше большая разница градиентов плотности на границах разделов вода — воздух и в слое скачка, которая одновременно является мерилем легкости (и трудности) происхождения волны. Априори ясно, что поверхностная волна испытывает большее сопротивление при движении, чем волна внутренняя.

Стоячие внутренние волны по своей природе аналогичны сейшам. Они возникают и проявляются так же, как сейши, их период и длина могут быть определены с помощью формулы Мериана.

Наибольшее значение для мореплавания имеют короткие внутренние волны. Эти внутренние волны возникают на фоне длиннопериодных волн, представляя собой как бы «зубья пилы». Их период равен нескольким минутам, а скорость распространения составляет 0,7 — 2,0 метра в секунду.

Скорость (в метрах в секунду) распространения свободной внутренней волны определяется достаточно простой формулой

$$v \text{ волн} = gh / (p - p') : p].$$

где g — ускорение свободного падения в метрах на секунду в квадрате; h — толщина нижнего (ниже горизонта скачка плотности) слоя воды в метрах; p и p' — значения плотности воды соответственно нижнего и верхнего слоев.

Из уравнения следует, что скорости распространения коротких внутренних волн по своему порядку очень близки к средней скорости движения судов. А если скорость судна совпадает со скоростью распространения свободных внутренних волн, то при своем движении судно создает не только обычные волны на поверхности воды, но генерирует волны на поверхности раздела двух слоев: «легкого» верхнего и «тяжелого» нижнего, как это показано на рис. 15.

Волна возникает в том случае, когда слой раздела расположен приблизительно на глубине киля судна. При этом над передним склоном первой волны водные массы верхнего слоя, толщина которого равна осадке судна, двигаются в противоположном относительно судна направлении и вызывают потерю им скорости. Как ясно из рис. 15, волновое сопротивление сильно возрастает, так как судну приходится «тащить за собой» внезапно возникшую волну. Этим явлением и объясняется «мертвая вода». Только в случае, когда скорость судна становится больше максимально возможной скорости распространения внутренних волн, образование внутренних волн и вместе с тем аномальное сопротивление движению судна прекращаются.

Таким образом, для появления «мертвой воды» необходимо совпадение ряда факторов: разницы плотностей воды в поверхностном и нижележащих слоях, глубины слоя скачка, осадки и скорости судна, метеорологических условий и т. п. Несмотря на такое многообразие факторов, необходимых для возникновения этого явления, оно встречается повсеместно вблизи устьев крупных рек: Амазонки, Ориноко, Миссисипи, Лены, Енисея и др. Но особенно часто оно наблюдается в норвежских фиордах и в арктических морях в штилевую весеннюю погоду при ледотаянии, когда относительно тонкий слой почти пресной воды располагается над высокосоленой и плотной морской водой.

В последние годы с явлением «мертвой воды» стали сталкиваться крупнотоннажные суда при прохождении узких проливов с двухслойным движением вод.

Характерный случай произошел с нефтерудовозом «Маршал Жуков» в проливе Дарданеллы. Огромное судно дедвейтом 102500 тонн, длиной 245 и осадкой почти 15 метров в июле 1981 года в течение почти 4 суток не могло преодолеть пролив. При входе в него со стороны Эгейского моря скорость судна через несколько миль уменьшилась до 0,7 — 0,9 узла, оно почти перестало слушаться руля. При этом появились все признаки плавания на мелкой воде (хотя под килем была глубина 40 — 70 метров) : значительно сократилась килевая струя, появились «усы» — волны, расходящиеся от носовой части судна, образовались носовая и кормовая поперечные волны. Турбоход разворачивало поперек пролива, и он начинал дрейфовать к выходу из него. Лишь на четвертые сутки, когда было получено разрешение форсировать двигатель до максимальной мощности, судно прорвалось через пролив, хотя временами его скорость падала до 1 узла и менее.

Причиной появления «мертвой воды» в этом случае послужила разность плотностей воды в поверхностном и придонном слоях в проливе. В верхнем слое более легкие черноморские воды следуют через Босфор, Мраморное море и Дарданеллы на юг. В придонном слое тяжелые воды Эгейского моря текут на север. Слой черноморской воды, составляющий на северном входе в Босфор 50 — 60, метров, на южном выклинивается до 30 метров, а в проливе Дарданеллы он еще более уменьшается — с 30 на севере до 15 — 20 метров на юге у выхода в Эгейское море. Именно здесь, на юге Дарданелл, глубина, на которой находится слой скачка плотности воды, приближается к осадке современных крупных судов и для них создаются условия «мертвой воды».

Суда с иной осадкой не попадают в такие сложные ситуации. Так, в то время, когда танкер «Маршал Жуков» безуспешно «штормовал» пролив, танкер «Сплит» осадкой 10 метров беспрепятственно прошел его. С помощью эхолота на нем определили толщину слоя воды с большей плотностью: она составляла 15 метров.

Внутренние волны оказывают и другие воздействия на судовождение и гидротехническое строительство. Так, в узких проливах, например Гибралтарском, Мессинском, при значительных скоростях течений внутренние волны разрушаются и образуются так называемый внутренний прибой.

Как известно, понятие «прибой»: относится к поверхностным волнам: он возникает тогда, когда при подходе к берегу поверхностная волна выходит на глубину, приблизительно равную ее высоте. Тогда высота волны начинает резко возрастать: фронт волны становится крутым, а тыловая часть — пологой. В результате гребень

волны заостряется и опрокидывается — возникает поверхностный прибой.

Образование внутреннего прибоя происходит в результате нарушения устойчивости слоев воды, когда разность скоростей течений на границе раздела плотности достаточно велика. Такое различие скоростей может достигаться в узких проливах (типа Гибралтарского или Мессинского). При возникновении неустойчивости между слоями, когда течения имеют разные скорости и направления, граница раздела скручивается в вихри. В узких проливах внутренний прибой бывает заметен и на поверхности.

Так, в Мессинском проливе существует ярко выраженный слой скачка плотности между тяжелой водой Ионического моря и расположенной над ней легкой водой Тирренского моря. При благоприятных условиях, например при усилении поверхностного потока, может образоваться внутренняя прибойная волна высотой до 60 метров. В северной части пролива вследствие его сильного сужения обе водные массы располагаются рядом, поэтому вихревое движение внутренней прибойной волны достигает поверхности и вызывает сильную толчею и водовороты, названные Сциллой и Харибдой. Эти водовороты известны с древних времен из «Одиссеи» Гомера.

Правда, после того как во время землетрясения 1783 года скалы вблизи местечка Сцилла погрузились в море, пролив стал шире и водоворот в этом месте значительно ослабел. Теперь Сцилла и Харибда не представляют опасности даже для небольших судов.

Внутренний прибой представляет собой серьезную разрушительную силу и вызывает размыв берегов и разрушение оснований портовых сооружений. Оценка силы удара внутренних волн, проведенная теоретическим путем, но получившая подтверждение в условиях натурального эксперимента, показала, что ее значение на некоторой глубине, равной глубине залегания слоя скачка, может быть даже больше, чем сила ветровых волн на поверхности воды при шторме 4 — 5 баллов.

Внутренние волны представляют серьезную угрозу подводной навигации — еще большую, чем поверхностные волны для обычного мореплавания. Это проявляется и в прямом, физическом, воздействии внутренних волн и внутреннего прибоя на подводные лодки, и в косвенном — в усложнении условий прохождения звука в воде. Так, предполагается, что внутренние волны послужили причиной гибели атомной подводной лодки США «Трешер». Бушевавший в районе испытаний лодки продолжительный шторм вызвал появление очень крупных внутренних волн высотой до 90 метров с периодом примерно 8 минут. Подводная лодка, шедшая со скоростью 5 — 6 узлов, на предельной глубине погружения могла оказаться на гребне необычно высокой внутренней волны, в силу инерции «пронзить» слой скачка плотности воды и «провалиться» ниже поверхности раздела. Возникшее механическое или электрическое повреждение, вероятно, стало критическим фактором, не позволившим пробить мощный слой скачка плотности воды снизу и вернуться на безопасную глубину.

Как известно, в любом волновом движении захваченные частицы движутся по орбитам в направлении движения волны (см. рис. 7). Такое перемещение частиц воды в горизонтальном направлении называется волновым течением. В длинных внутренних волнах, в которых высота волны достигает 80 метров, а длина 50 — 70 километров, орбита движения частицы представляет собой вытянутый в горизонтальном направлении эллипс. При таком отношении высоты к длине внутренние волны вызывают значительные перемещения водных масс в горизонтальном направлении.

Это колебательное движение воды способствует ее перекачиванию через порог бухты или фиорда. Вместе с водой в бухту или фиорд попадают питательные вещества, фитопланктон даже из открытого моря. Таким образом, внутренние волны переносят питательные вещества из нижних слоев воды в верхние, обновляют воды во многих бассейнах, бухтах и фиордах, отделенных от моря неглубокими порогами.

Особый интерес с точки зрения мореплавания представляет способность внутренних волн усложнять распространение звука в морской воде и искажать показания эхолотов, что особенно заметно при подходах к банкам и отмелям с крутыми уклонами дна. Опасность этого очевидна.

Как известно, скорость звука в морской воде возрастает с увеличением ее плотности, температуры и солености. Поэтому на границе между теплыми и холодными или опресненными и более солеными водами звуковые лучи преломляются. Звук от излучателя эхолота, движущийся прямо вниз, при переходе через слой скачка плотности воды изменяет направление и достигает дна уже не под прямым, а под острым углом весьма неопределенного значения. Отражаясь от дна, звуковой луч вторично преломляется на слое скачка плотности воды и достигает приемника эхолота в виде запаздывающего отраженного сигнала.

Во-первых, этот сигнал затеняет основной, идущий строго по вертикали и определяющий глубину места. Во-вторых, зачастую этот запаздывающий сигнал (а он действительно приходит позже основного, так как его путь значительно более длинный, отклоняющийся от перпендикуляра к поверхности моря) обладает энергией, превышающей энергию основного сигнала. На ленте эхолота появляются отметки, завышающие истинную глубину места, что наиболее опасно для судовождения. Ошибка измерения глубины при этом, может достигать 5 — 7%.

Такое явление может происходить при наличии слоя скачка плотности воды. Перемещения этого слоя — внутренние волны — вызывают рефракцию звука в воде, поскольку звуковые лучи пересекают слой скачка плотности воды под разными углами. При приближении к банкам, отмелям сами внутренние волны испытывают трансформацию: создается еще более сложная, непредсказуемая картина распространения звука.

Наличие внутренних волн в том или ином районе, особенно вблизи побережий, можно определить по косвенным признакам, например по наличию на поверхности полос гладкой воды. Такие полосы представляют собой либо узкие и длинные зоны, достигающие ширины 10 — 50 метров и собранные в группы

протяженностью от нескольких сотен метров до нескольких километров, либо сравнительно большие причудливой формы пятна гладкой воды.

Полосы и пятна разделены участками ряби, которые имеют ширину до 300 метров. Отсутствие мелких волн в области гладких полос и пятен создает впечатление зеркальной поверхности по сравнению с соседней «шероховатой» водой.

Гладкие полосы и пятна встречаются преимущественно вблизи побережья и образуются при слабом ветре скоростью до 5 метров в секунду. В открытом море вдали от берегов они обнаруживаются реже. На мелководье такие полосы расположены почти параллельно изобатам, но на глубокой воде они могут быть расположены под различными углами к направлению ветра. При скорости ветра более 5 метров в секунду гладкие полосы разрушаются, возникают узкие короткие полоски, расположенные на близком расстоянии друг от друга; их длинные оси ориентированы почти по ветру.

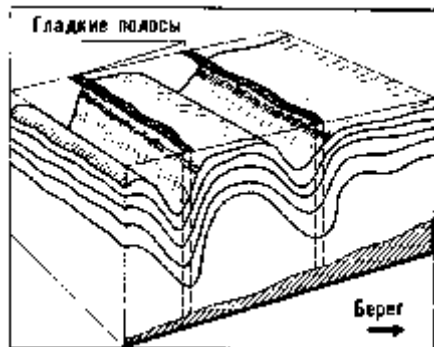


Рис. 16. Блок-диаграмма внутренних волн

Возникновение гладких полос и пятен в безветренную погоду связано с наличием внутренних волн и присутствием на поверхности достаточного количества органических веществ. Хотя точный механизм их образования до конца не выяснен, установлено, что средняя глубина прохождения внутренних волн и ее отношение к толщине верхнего слоя влияют на локальную поверхностную циркуляцию и, таким образом, на появление гладких полос. По данным наблюдений, в 85% случаев полосы находились над опускающимся слоем скачка плотности воды, то есть над подошвой внутренней волны (рис. 16). Иногда они появляются между гребнем и подошвой волны

Роль органических веществ, которых в прибрежной зоне всегда достаточно много, заключается в создании поверхностно-активной пленки, изменяющей поверхностное натяжение воды. Эта пленка растягивается движущимися частицами воды иногда на значительные расстояния и гасит рябь. При уменьшении толщины пленки до размеров одной молекулы она разрывается на отдельные пятна. Пленка может разрываться при расхождении частиц воды и соединяться при их сближении.

Такое движение частиц воды на поверхности в отличие от ветрового волнения обусловлено прохождением внутренних волн при неглубоком расположении слоя скачка плотности воды. И действительно, при прохождении гребня такой волны частицы воды над ним, вытесненные слоем скачка плотности воды, как бы разбегаются вдоль линии перемещения волны: происходит, как говорят океанологи, дивергенция вод (см. рис. 16).

При прохождении подошвы внутренней волны частицы воды над ней, наоборот, «засасываются»: происходит конвергенция. В зонах конвергенции при сближении частиц воды поверхностно-активные органические вещества образуют пленку, которая гасит рябь, — появляются гладкие полосы. Появление таких гладких полос служит косвенным свидетельством наличия в данном районе внутренних волн.

Внутренние волны — интересное природное явление в океане, пока еще очень слабо изученное. Теория внутренних волн только закладывается. Однако исследование вертикальной структуры океана, внутренних волн в настоящее время привлекает к себе все большее и большее внимание не только океанологов, но и ученых других специальностей, связанных с исследованиями океанов и морей.

Такое сплочение научных сил, несомненно, позволит раскрыть еще много загадок внутренних волн.

АПВЕЛЛИНГ

Ровный береговой ветер вот уже больше суток нес зной пропаленных солнцем Каракумских пустынь... Судно легло в дрейф. Штормтрап еще не вывалился за борт, а наиболее нетерпеливые прямо с палубы прыгнули в воду. Не прошло и секунды, как они с громкими воплями выскочили обратно... Оказалось, что вода резко похолодала — 10 — 11°. И это при температуре воздуха 28°, в районе, где средняя температура воды в это время достигает 20°.

Так наглядно участники экспедиции столкнулись с проявлением последствий апвеллинга в Каспийском море.

Апвеллинг в океанологии называется явление подъема глубинных морских вод на поверхность. В силу самых различных причин поверхностная вода уходит, и ее место занимает обычно более холодная глубинная вода. В море апвеллинг вызывает бурный всплеск жизни, а на побережьях управляет погодой.

В зоне апвеллинга к поверхности моря с глубины 150 — 300 метров поступают воды, богатые соединениями азота и фосфора, без которых не могут расти мельчайшие водоросли — фитопланктон. Последний живет у поверхности: ему нужен солнечный свет. А химических соединений в верхних слоях океана содержится немного. Бурное развитие фитопланктона в обычных условиях не может продолжаться постоянно, так как запасы питательных солей быстро иссякают.

Но в районах апвеллинга в поверхностные слои снизу, из глубинных слоев, непрерывно подаются необходимые для развития фитопланктона соли. Они образуются в результате отмирания и опускания вниз многочисленных морских организмов — от рыб и животных до водорослей. В условиях низких температур, повышенной солености и громадного давления органические вещества претерпевают химические и биологические трансформации, в результате чего в глубинных слоях воды образуется большое количество растворенных азотных и фосфорных

От английского «upwelling», что означает «движение вверх» солей. Соли путешествуют в глубинах океана на сотни и тысячи миль, не принимая никакого участия в развитии биологической жизни.

Но в некоторых районах в результате воздействия многих физических факторов богатые биогенными солями воды попадают к поверхности. И под действием мощного спускового механизма — солнечного света в обильно удобренных морских водах начинает бурно развиваться жизнь: в первую очередь начальное звено морской жизни — мельчайшие растительные клетки фитопланктона.

Урожай фитопланктона в таких водах в тысячи и десятки тысяч раз больше средних. Водоросли служат пищей мелких рачков, рачками кормится мелкая рыба, за ней охотится крупная — жизнь кипит, возникают настоящие оазисы в океане. В этих районах идет интенсивный промысел рыбы. Общеизвестно рыбохозяйственное значение обширных зон апвеллинга у берегов Перу, Марокко, полуострова Калифорния, Юго-Западной Африки. Например, в районе Перуанского апвеллинга рыбопродуктивность в 100 раз больше, чем в соседних районах океана. Здесь добывается примерно 20% мирового улова рыбы.

Зоны апвеллингов имеют существенно важное значение для транспортного флота. Более холодные и плотные по сравнению с окружающими водными массами воды в зоне апвеллинга оказывают влияние на гидрометеорологические условия в данном районе. В теплые сезоны здесь создаются значительные горизонтальные градиенты, которые способствуют образованию сильных поверхностных течений. При этом увеличивается вероятность сноса судов с курса. Такой дрейф судов, сам по себе затрудняющий условия плавания, усугубляется тем, что его очень трудно предсказать.

Над районами апвеллинга часто возникают туманы, резко ухудшающие видимость. При этом возрастает опасность столкновения судов. Дело в том, что обширные зоны апвеллинга в большинстве своем являются районами интенсивного промысла рыбы, и здесь всегда много рыболовных судов.

Апвеллинг оказывает крупномасштабное воздействие на погоду и определяет климат, а следовательно, и экономическую жизнь прибрежных государств, таких, как Чили, Перу. В обычных условиях, когда подстилающая поверхность прогрета, с увеличением высоты температура воздуха падает, и так всегда,... если поблизости нет апвеллинга. В районе апвеллинга, где вода значительно холоднее воздуха, температура воздуха быстро возрастает с высотой и только через несколько сотен метров начинается ее нормальное падение.

Явление возрастания температуры воздуха с высотой в метеорологии называется инверсией. Влажный морской воздух, лежащий ниже слоя инверсии, оказывается запертым в нижнем слое атмосферы, поэтому здесь часты туманы и редки осадки. Инверсия «не пускает» влажный воздух с моря на сушу, поэтому на континенте в районе зон апвеллинга обычно возникают засушливые территории: запертая влага не проникает на континент. При этом вблизи берега воздух влажный, часты туманы, а чем дальше в глубь континента, тем суше воздух. Так, апвеллинг породил пустыню Атакама в Южной Америке, где за год выпадает едва ли сантиметровой слой осадков.

Ученые еще в начале прошлого века обратили внимание на феномен уменьшения температуры воды в некоторых районах вблизи западных берегов Африки и Америки. Известный германский океанограф Александр фон Гумбольдт объяснял эффект понижения температуры вблизи берегов Перу влиянием антарктических течений. Однако ветвь холодного перуанского течения, идущего к северу вдоль берегов Южной Америки, уже за тысячу километров до исследуемого района имеет температуру выше, чем в этой зоне.

В 1844 году английский ученый У. Тессан доказал, что прибрежные отрицательные аномалии температуры создаются вследствие подъема глубинных вод. Однако термин «апвеллинг» появился и прочно вошел в лексикон океанологов только в середине двадцатого столетия. Каково же происхождение этого природного явления? В океанологии различают 2 типа апвеллинга: прибрежный и в открытом океане.

Прибрежный апвеллинг возникает вследствие сгона поверхностных вод ветром и подъема на их место глубинных вод (рис. 17). Ветер, дующий под определенным углом со стороны суши, отгоняет массу вод с поверхности от берега. Если море мелкое, то в этом районе понизится уровень воды, изменится глубина. Но если уклон дна вблизи берега достаточно крутой, то на смену ушедшим водам из глубин поднимается холодная придонная вода.

Основной сгон или нагон воды у приглубого берега создается ветром, дующим почти вдоль береговой черты. Происходит это в результате отклоняющего действия вращения Земли. Поэтому и при сгонном ветре вблизи

при глубокого берега наблюдается подъем глубинных вод — прибрежный апвеллинг. Этот тип апвеллинга может возникать эпизодически вследствие сгонных ветров при прохождении циклонов. Такое явление часто наблюдается в Черном море вблизи крымских и кавказских берегов.

В Мировом океане есть много районов, где существуют сезонные ветры. Именно вследствие муссонных ветров наблюдается в начале лета интенсивный подъем вод у берегов полуострова Калифорния. В периоды наибольшей интенсивности явления скорость апвеллинга вблизи калифорнийского берега достигает 2,2 метра в день, или 80 метров в месяц, при среднем подъеме вод, составляющем примерно 20 метров в месяц.

Эти периоды максимального подъема воды фиксируются тогда, когда ветры, достигающие наибольшей силы, дуют не строго вдоль берега, а под углом примерно 20° к береговой черте. Именно тогда совпадают все факторы, определяющие вертикальную динамику вод (силы тангенциального напряжения ветра, трения воды о дно, кориолисова ускорения), и апвеллинг достигает наибольших значений.

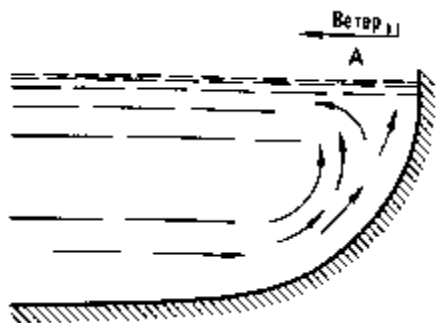


Рис. 17. Схема образования прибрежного апвеллинга (Л — зона апвеллинга)

Прибрежный тип апвеллинга, вызываемый сезонными муссонами, наблюдается у берегов Юго-Восточной Азии (Бенгальский залив). В этом районе ветры, имеющие летом юго-западное направление, зимой изменяются на северо-восточные. Постоянство муссона, особенно юго-западного, и ориентация побережья вызывают апвеллинг на большом протяжении вдоль восточных берегов полуострова Индостан и западных берегов полуострова Индокитай.

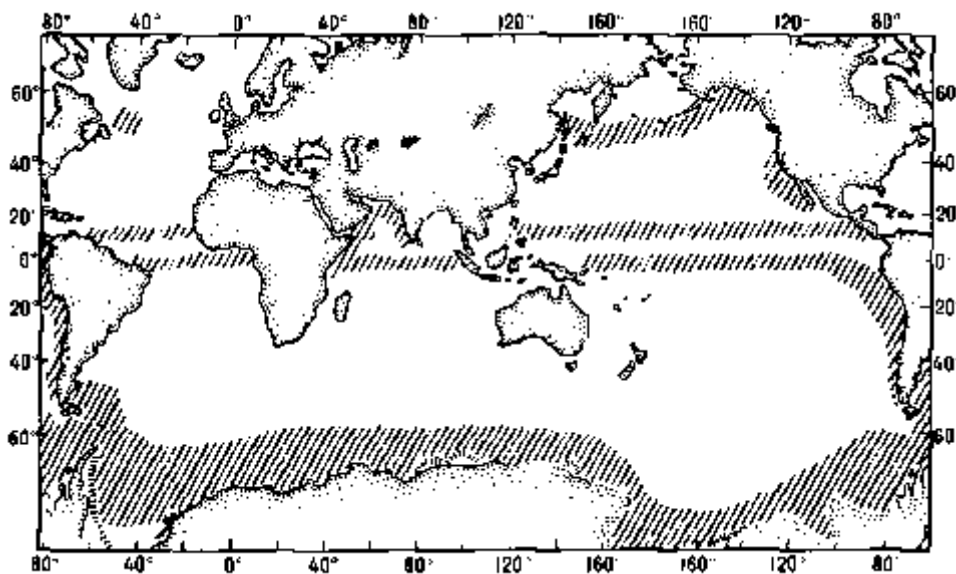


Рис. 18. Основные районы апвеллинга в открытом океане (заштрихованы)

Сезонный апвеллинг большой интенсивности наблюдается у полуострова Сомали и вблизи восточного берега острова Мадагаскар. Восходящие потоки прибрежного типа отмечены в отдельные сезоны также у берегов Антарктиды, Юго-Восточной Африки, в некоторых районах Атлантического побережья Северной Америки.

В Мировом океане есть много районов, где дуют постоянные ветры. Так, пассаты в приэкваториальных широтах вызывают сток поверхностей воды от западных берегов материков. Именно по этой причине существуют зоны мощного апвеллинга у берегов Перу, Австралии, Северо-Западной Африки, около островов Галапагос. Сильный и устойчивый апвеллинг наблюдается вблизи берегов Юго-Западной Африки: около мыса Кап-Блан, в районе порта Уолфиш-Бей, между устьем реки Оранжевой и бухтой Сент-Хелина, к юго-западу от Кейптауна. Такое же явление происходит и в районе Филлиппинских островов, и у Алеутской гряды, и в Охотском море у острова Ионы, у Шантарских островов, и около острова Хоккайдо (рис. 18). Апвеллинг существует здесь постоянно, однако интенсивность его меняется: скорость подъема вод возрастает зимой и летом и уменьшается в переходные сезоны.

Существование зон постоянного апвеллинга имеет большое значение для рыбного промысла. Так, в зоне Перуанского апвеллинга практически постоянно работают рыболовные флотилии десятков стран. Большое

экономическое значение имеют птичьи базары, поставляющие ценное органическое удобрение — гуано. Поэтому для экономики Перу, Эквадора и других стран, расположенных на Тихоокеанском побережье Южной Америки, катастрофические последствия приносит явление Эль-Ниньо [«Эль-Ниньо» в переводе с испанского означает «младенец»]. Этим ласковым испанским словом называется внезапное смещение зоны Перуанского апвеллинга.

Вследствие изменения условий глобальной атмосферной циркуляции интенсивность пассатных ветров в этом районе ослабевает, направление их потоков смещается. Из-за этого усиливается струя холодного вдольберегового антарктического течения, и зона апвеллинга уходит на север и северо-запад, скорость подъема вод падает. Резко уменьшаются уловы рыбы, многие рыболовные суда становятся на прикол — жизнь в портах замирает. Прибрежные государства теряют такой важный источник поступления валюты, как продажа лицензий на лов рыбы в 200-мильной зоне: апвеллинг сместился за пределы этой зоны. Но проходит год-полтора, пассаты возвращаются «на свое место», и возвращается зона апвеллинга. Эль-Ниньо миновало.

Для изучения этого интересного с научной и важного с экономической точки зрения явления под руководством Международной океанографической комиссии разработана большая научная программа, в решении которой объединили свои усилия океанологи многих стран.

В открытом океане апвеллинг образуется при расхождении поверхностных течений как компенсационный подъем глубинных вод к поверхности. Расхождение, или дивергенция, может происходить по-разному.

Во-первых, апвеллинг возникает из-за дивергенции поверхностных течений в районе экватора. Здесь в результате взаимодействия поверхностных дрейфовых течений образуются обширные зоны дивергенции. Схема образования дрейфовых течений на экваторе весьма своеобразна. Дело в том, что горизонтальная составляющая угловой скорости Земли — кориолисово ускорение — заставляет движущиеся потоки отклоняться в северном полушарии вправо, а в южном — влево. Поэтому при движении вод океана под действием ветра вдоль экватора с востока на запад поверхностные воды начинают расходиться. На их место поднимаются воды с глубины примерно 200 метров. Возникает апвеллинг, но его интенсивность значительно слабее, чем интенсивность прибрежного апвеллинга.

Во-вторых, дивергенция вод может происходить вследствие воздействия больших циклонических вихрей. При этом центробежные силы сгоняют воду с поверхности от центра к периферии, а ее место в центре занимают поднимающиеся из глубины холодные воды. Такие локальные зоны апвеллинга появляются после прохождения глубоких циклонов и сопутствующих им сильных штормов. Кроме того, подобные апвеллинги появляются в вихрях больших океанических течений.

Некоторую роль в формировании апвеллингов играет рельеф дна. Учеными установлено, что локальные апвеллинги развиваются у подветренной стороны островов и мысов, выступающих навстречу течению, над банками и подводными горами, на границах водных масс и над подводными возвышениями или хребтами в открытом море.

Наиболее известной зоной апвеллинга, вызванного сочетанием рельефа дна и динамики вод, является зона антарктической дивергенции в атлантическом секторе. В этом районе подъем глубинных вод способствует изобилию питательных веществ, которые поддерживают на высоком уровне развитие диатомовых водорослей и фла-геллят, являющихся пищей креветок. А «креветочные луга» в этом районе Мирового океана служат базой роста и развития антарктических китов.

Заканчивая краткое описание явления апвеллинга, можно немного остановиться на противоположной картине — опускании вод. Термин «даунвеллинг» не прижился в океанологической литературе. Произошло это, по-видимому, потому, что зоны опускания вод изучены значительно менее, чем зоны их подъема, и не представляют такого большого рыбохозяйственного значения, как зоны апвеллинга.

Но для океанологии изучение зон важно, потому что они представляют собой истоки формирования водных масс. Известно, что воды океана неоднородны по вертикали и по горизонтали. В одной и той же точке можно наблюдать теплые слабосоленые воды, теплые осолоненные, холодные осолоненные и т. п. Установлено, что водные массы различаются по температуре, солености, содержанию кислорода. Они существуют длительное время (до нескольких тысяч лет), и этими отличиями обязаны своему происхождению. Тот район, где формируются водные массы, накладывает отпечаток на их свойства.

При встрече водных масс разной плотности воды с большей плотностью опускаются и путешествуют на глубинах десятки и сотни лет, сохраняя свои свойства. При встрече течений образуются зоны конвергенции — схождения и опускания вод, в результате чего образуется совершенно новая водная масса. Так, в районе антарктической конвергенции в море Уэдделла образуется антарктическая водная масса, которая прослеживается в придонных слоях вплоть до самых северных районов Атлантики и Тихого океана.

Сложная картина вертикального перемещения вод пока еще слабо изучена, поэтому исследования многих ученых-морепловов направлены на решение этой важной научной и практической задачи.

ИЗМЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА

В 1937 году у южного мола Потийского порта на Черном море сотрудниками института Черноморпроект велись промеры глубин. Неожиданно обнаружилось, что там, где месяц назад такой промер был сделан, глубина за это время увеличилась на 20 м, а это существенно влияет на условия судоходства, устойчивость мола и весь

ход изыскательских и строительных работ.

О. К. Леонтьев. Дно океана

По данным Ливерпульской организации страховщиков, ежемесячно 4 — 5 судов терпят аварии вследствие посадки на мель. Причин посадки на мель статистика не приводит, однако их можно «спрогнозировать»: невнимательность или низкая квалификация судоводителей, неправильно определивших местонахождение своего судна; плохая видимость; штормовые условия...

Но бывает и так: судно идет точно по каналу или рекомендованному курсом, судоводители знают место судна и глубину по карте, шторма нет и в помине. Однако... неожиданный удар в днище, ледяный душ моряка скрежет, толчок, срывающий шлюпки и механизмы, — и судно застывает неподвижным памятником нашему незнанию природных процессов в море.

Судоводитель предусмотрел все, но природа внесла свои поправки в расчеты штурманов и промеры гидрографов: за считанные дни, а иногда и часы глубина места, обозначенная на карте, резко изменилась (и не всегда это бывает в сторону увеличения).

Природа таких деформаций рельефа дна разнообразна. Первое место среди рельефообразующих факторов (не по конечным результатам, а по длительности воздействия) занимают динамические явления в море: волнение и течения, причем волнение является основным фактором, воздействующим на берег и дно моря. На одних участках из-за тех или иных причин берег размывается волнами и отступает в сторону суши: наблюдается так называемая морская абразия. На других участках, наоборот, в результате воздействия волн берег намывается и выдвигается в сторону моря: происходит аккумуляция материала. Но волны воздействуют не только на берега, но и на часть дна моря, простирающуюся от береговой линии в сторону увеличивающихся глубин. Эта полоса дна, находящаяся под воздействием волн, называется подводным береговым склоном. На подводном склоне наблюдаются характерные формы рельефа в виде подводных валов, расположенных параллельно урезу воды или под некоторым уклоном к нему в зависимости от направления волнения и других местных условий. Особенно развиты подводные валы у отмелей песчаных берегов, где они располагаются в несколько рядов и тянутся на многие мили. А именно в районе берегового склона осуществляется многосторонняя деятельность морского флота: строятся причальные стенки и молы, прокладываются каналы и размечаются фарватеры.

Морское дно здесь обычно образовано скоплением обломочного материала — продукта разрушения коренных пород берега. Под воздействием волн и течений весь обломочный материал приходит в движение, при этом он сортируется в соответствии с крупностью, массой и формой отдельных частиц. Одновременно происходит дробление, окатывание и истирание частиц. Часть обломочного материала, которая перемещается в пределах прибрежной зоны моря, образует наносы. Их можно условно разделить на два класса: донные, или влекомые, состоящие из наиболее крупных частиц (галыки, гравия, крупного песка), которые за все время перемещения не отрываются от дна, и взвешенные. Последние образуются мелкими частицами ила, песка, оторвавшимися от дна и находящимися во взвешенном состоянии.

Наибольшая концентрация взвешенных наносов наблюдается в придонном слое толщиной $0,2 H$ (где H — глубина места), причем основная масса (до 90%) наносов движется мористее зоны разрушения волн. Именно этот участок берегового склона наиболее динамичен, здесь чаще всего происходят изменения глубин.

Как же перемещаются наносы?

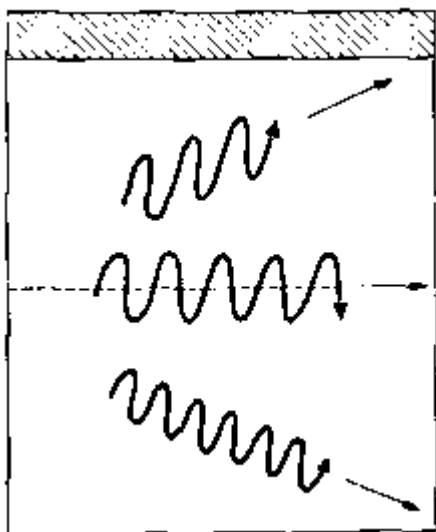


Рис. 19. Схема одновременного поперечного и продольного перемещения наносов

При подходе волны к мелководью одновременно с нарушением ее профиля — увеличением высоты, возрастанием крутизны, опрокидыванием — происходит ее торможение. Как правило, волны подходят к берегу под углом, отличным от прямого, и в этих условиях направление движения волн не совпадает с направлением

движения воды, происходящего под действием силы тяжести, то есть перпендикулярно берегу. Если при фронтальном подходе волн к берегу взвешенные и влекомые наносы совершают периодические движения вверх-вниз относительно среднего положения без перемещения вдоль берега, то при косом подходе волн путь частицы наносов в жидкости оказывается незамкнутым: одновременно с перемещением вверх и вниз по береговому склону она перемещается вдоль него (рис. 19).

Исследования показали, что наибольшую скорость частицы наносов имеют в самой верхней прибойной зоне — зоне контакта с берегом. В ней происходят интенсивное разрушение береговой черты и перемещение обломочного материала на глубину. Процессы разрушения берега, его размыва длятся до тех пор, пока отток обломочного материала в глубинную часть берегового склона не будет полностью компенсирован его поступлением из зоны аккумуляции (рис. 20). Так выработывается профиль равновесия.

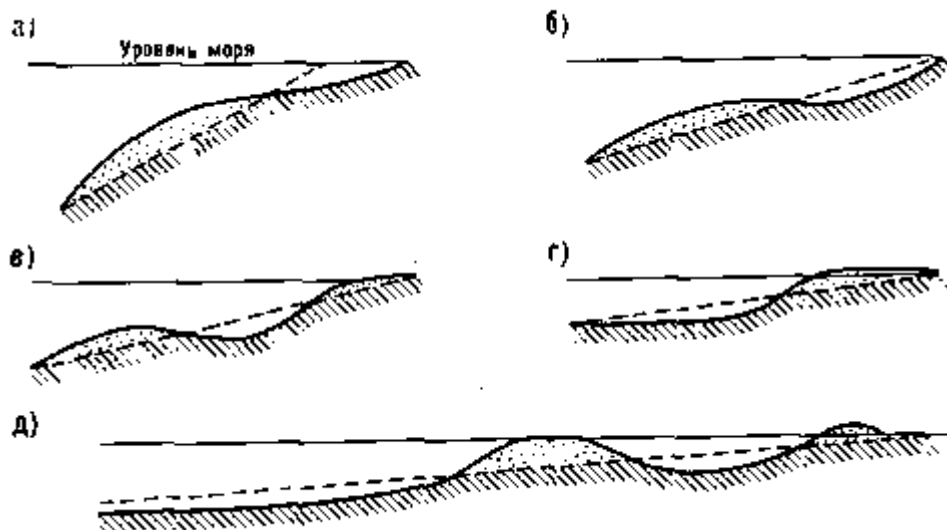


Рис. 20. Выработка профиля равновесия при различных начальных уклонах дна: а — большой уклон; б — в — промежуточные уклоны; д — малый уклон

Естественно, что профиль равновесия устанавливается тогда, когда количество материала, смытого в одной части профиля, равно количеству материала, намытого в других его частях. Из-за этого профиль равновесия сильно зависит от начального уклона. При более крутом начальном уклоне верхняя зона размыва укорочена, и количество выброшенного на берег материала уменьшается. Соответственно нижняя зона размыва увеличивается, и для ее заполнения может не хватить накопленного у берега материала: восполнение дефицита осуществляется посредством размыва первоначального откоса, и линия берега сдвигается в сторону суши. Берег в этом случае отступает (рис. 20,а).

Если же уклон берегового склона настолько мал, что энергия волн рассеивается, не доходя до береговой линии, наносы откладываются на некотором расстоянии от берега: образуется аккумулятивный береговой вал, который со временем поднимается выше уровня воды (рис. 20,д).

Каждому начальному уклону соответствует свой профиль равновесия. Выработка такого профиля осложняется при косом подходе волн к берегу. В этом случае на формирование профиля равновесия образующимся вдоль береговым потоком наносов влияет не только начальный профиль дна в данном месте, но и извилистость берегов, интенсивность шторма, направление волн относительно береговой черты. Поэтому практически после каждого шторма происходит изменение рельефа дна берегового склона.

Например, средний шторм силой 4 — 5 баллов и продолжительностью около суток вызывает на Черноморском побережье Кавказа перемещение гальки на расстояние 150 — 200 метров. При штормах большой силы общее количество перемещенного материала резко возрастает. В этом же районе объем перемещенного через поперечное сечение берегового склона за сутки материала составляет до 1700 кубических метров.

В естественных условиях за тысячелетия штормового взаимодействия моря и берега природа выработала установившийся режим движения наносов и рельеф дна. Этим с успехом пользуются гидрографы и судоводители.

Нередко рекомендованные судоходные трассы вблизи берегов прокладываются между линиями подводных валов — как бы в канале, ограниченном естественными бровками.

В зависимости от подводного рельефа высота прибоя на разных участках берега может сильно изменяться. Во многих местах волны, подходя к берегу над подводными ложбинами, вообще не создают прибоя или образуют его только при очень сильном шторме: такие участки очень удобны для высадки на берег.

Но нарушения естественного режима наносов ведут к тяжелым последствиям. Достаточно часто морские порты строятся на открытых морских побережьях. При этом для защиты подводных каналов и портов от

волнения возводят оградительные молы или волноломы. Эти сооружения вторгаются в естественный процесс движения наносов, что нередко приводит к размыву одних и нарастанию других участков берега, отложению наносов на дне портов и в подходных каналах.

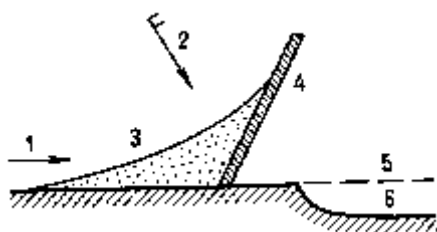


Рис. 21. Изменение берега после возведения мола при крупных наносах:

1 — направление потока наносов; 2 — направление господствующего ветра; 3 — зона аккумуляции наносов; 4 — мол; 5 — линия берега до возведения мола; 6 — зона размыва

При явно выраженном потоке крупнозернистых наносов, которые перемещаются вблизи уреза, строительство мола, ориентированного примерно перпендикулярно берегу, вызовет аккумуляцию наносов у мола со стороны их движения и размыв берега — с противоположной стороны (рис. 21). Зачастую наносы быстро заполняют «карман» между молем и берегом и начинают засыпать подходный канал, на котором после этого приходится систематически проводить ремонтное дночерпание. Еще хуже обстоит дело, когда наносы не только заполняют угол между молем и берегом, но и способствуют быстрому выдвигению линии берега к голове мола. При этом порт оказывается полностью занесенным.

Такое произошло с небольшим рыбачьим портом Кро-де-Кань на побережье Средиземного моря, который, имея в 1935 году в голове мола глубину 5 метров, к 1949 году был полностью засыпан галькой.

Процессы у берегов, сложенных мелкими песками, протекают еще более интенсивно и захватывают большую зону. На отмелях побережьях перемещение песчаных наносов происходит под действием волнения и течений на широком участке; оно прослеживается до глубин, превышающих трехкратную глубину забурунивания. Поэтому в таких районах ограждающие молы обычно выводят далеко в море, что, однако, не предохраняет берег от размыва и намыва.

Например, в Порт-Саиде строительство мола привело к выдвигению берега с западной наветренной стороны со скоростью 15 метров в год. Предусмотренные в нижней части западного мола отверстия для пропуска наносов были сразу же забиты песком, наносы стали обтекать голову мола, и его решено было удлинить. Такие удлинения осуществлялись неоднократно, и сейчас длина мола более 8 километров против первоначальной длины 2,5 километра, когда мол был выведен на глубину 9 метров. В то же время происходил размыв восточного берега со скоростью 17 метров в год. Пришлось даже принимать меры, чтобы предотвратить отчленение восточного мола от берега. Подобное положение наблюдается и в других портах: Вентспилсе, Синьгане, Цеаре (Бразилия). Интенсивная заносимость подходных каналов и портов наблюдается при движении илстых наносов, которые перемещаются с течениями во взвешенном состоянии в придонных слоях воды. Скорость отложения илстых наносов достигает 1 метр и более в году.

Так, во французском порту Онфлер (устье реки Сены) слой илстых отложений за 1939 — 1945 годы составил 5 метров.

В порту Нампхо (Корейская Народно-Демократическая Республика) на западном берегу полуострова Корея за три года отложился слой ила толщиной примерно 3 метра.

Не меньшее влияние на формирование рельефа дна берегового склона оказывает вторжение человека в процесс движения наносов и в их баланс. А это бывает тогда, когда без учета динамики береговой зоны моря используются прибрежные наносы: песок, галька для строительных целей. Этот прекрасный строительный материал добывается с пляжей и подводного берегового склона (до глубины 10 — 20 метров).

Однако искусственно образовавшийся таким образом дефицит наносов приводит к разрушительным последствиям: море размывает берега, основания гидротехнических сооружений, пляжей.

Примером такого «хозяйствования» может служить берег в районе Адлера на Черном море, где разработка гальки привела к тому, что в 50-х годах начался интенсивный размыв берега, создалось угрожающее положение для железной дороги и многих строений. Только ценой больших усилий и многомиллионных затрат удалось стабилизировать положение и восстановить былую славу Адлерского пляжа.

Но изменение глубин вблизи берегов может происходить не только из-за прямого антропогенного, то есть вызванного человеком, вмешательства в перемещение наносов. В устьевых участках рек это воздействие проявляется косвенным образом в виде уменьшения стока рек после строительства каскадов плотин и водохранилищ.

Плотины перехватывают не только водный, но и твердый сток реки — наносы. Из-за этого естественный режим образования и существования дельты нарушается: она начинает интенсивно размываться. Изменяются глубины в водотоках дельты, подходных каналах, на устьевых барах. Край дельты быстро отступает. Ярким примером этого могут служить дельты рек: Нила, Роны, Куры, Колумбии и некоторых рек Японии.

Движение наносов в прибрежной зоне моря происходит также под действием течений. Постоянные плотностные или дрейфовые течения обычно обладают скоростями, недостаточными для движения донных наносов.

Они способны переносить лишь взвешенные наносы, но в тех районах, где в грунтах преобладают илестые или глинистые частицы, эти течения выступают в роли основного рельефообразующего фактора.

Так, илестые наносы широко распространены в Азовском море, где они пополняются твердым стоком рек Дона и Кубани, а также продуктами интенсивного размыва северо-восточных глинистых берегов моря. Заносимость портов и каналов в Азовском море характеризуется объемом ежегодных черпаний, исчисляемых миллионами тонн.

Большую роль в формировании подводных валов и впадин играют разрывные течения. Накопившиеся в неровностях береговой черты водные массы прорываются в отдельных местах через вдольбереговые валы и выносятся на расстояние нескольких миль от берега изрядное количество наносов.

Там, где эти течения теряют свою скорость, влекомые ими наносы выпадают, образуя банки. Известно, что разрывные течения образуются вблизи мысов. Поэтому в бухтах с наветренной стороны мысов эти течения промывают целые каналы, а в море на траверзе можно ожидать образования мелей.

И, наконец, в размыв дна вносят свою долю и приливные течения. В узкостях они достигают скорости в несколько узлов. Рекордная скорость потока была зарегистрирована в проливе Симор-Нарроус около острова Ванкувер: вода устремляется в этот пролив со скоростью горного потока и, естественно, размывает дно.

Из-за того, что приливные течения охватывают всю толщу воды от поверхности до дна, размыв грунта приливными течениями происходит весьма интенсивно. Приливные течения создают глубокие желоба-промоины у входа в заливы. Например, в проливе Золотые Ворота (полуостров Калифорния) образовалась впадина глубиной до 100 метров. В одном из проливов Японского моря есть желоб-промоина глубиной примерно 500 метров, окруженная мелководьем.

В обоих случаях столь значительная глубина объясняется размывом дна течениями, устремляющимися во время прилива в залив, а при отливе — в открытое море. Даже когда активного размыва не происходит, влияние приливных течений сказывается в том, что накопление осадков на дне идет замедленно. Дно здесь бывает скалистым или покрыто грубыми осадками, например гравием.

На изменения глубин вблизи берегов, кроме динамических факторов давления вод, оказывают некоторое влияние также длительные, вековые, изменения уровня моря и вертикальные движения суши.

Близкий к современному уровень Мирового океана и связанных с ним морей установился лишь примерно 5 тысяч лет назад. В послеледниковый период 17 тысяч лет назад уровень океана начал быстро подниматься из-за таяния льдов и повысился за 12 тысяч лет более чем на 100 метров. И сейчас уровень океана повышается на 10 — 12 сантиметров в столетие.

Вертикальные перемещения земной коры — бесспорный факт, вызванный незатухающей деятельностью в глубинных слоях мантии и ядра нашей планеты. Из-за этого отдельные участки Земли, в том числе берега морей и океанов, поднимаются или опускаются с различной скоростью.

Точными измерениями колебания уровня моря, нивелировками берегов установлено, что скорость вертикальных перемещений побережий морей и океанов и их направление неодинаковы.

Так, северные и западные берега Балтийского моря поднимаются со скоростью 3 — 8 миллиметров в год, в то время как южный и восточный берега ежегодно опускаются на 1 — 2 миллиметра.

Берега морей европейской части СССР, представляющей собой старую тектоническую платформу, опускаются: на Белом море со скоростью до 1 миллиметра, на Баренцевом — со скоростью 2 — 3, на Черном — со скоростью 5 миллиметров в год.

Но одновременно с такими продолжительными процессами, воздействующими на рельеф прибрежного дна в течение месяцев, лет и даже десятилетий и веков, на него могут действовать непродолжительные по времени, но исключительно мощные факторы: штормы, нагоны воды, землетрясения, цунами. В результате глубины на береговом склоне могут резко изменяться.

Длительный процесс формирования профиля равновесия может быть нарушен одним сильным штормом. Во время таких штормов миллионы кубометров обломочного материала приходят в движение, и нередки случаи, когда в результате шторма приостанавливается деятельность портов: нужно срочно углублять подходные каналы.

Именно после сильных штормов увеличивается вероятность касания грунта судном или посадки его на мель в тех местах, где гарантированная глубина по карте не дает оснований для беспокойства. Поэтому, приближаясь к портам, подверженным быстрой заносимостиTM, мореплаватели должны быть особенно осторожными после прохождения там интенсивных штормов.

Такое же явление происходит после сильных нагонов воды. Как правило, во время нагона под действием ветра и волн вода медленно поднимается, заливая прибрежные территории, но после перемены направления или снижения силы ветра она с огромной скоростью стекает обратно в море, образуя новые протоки и оставляя массы песка на пониженных местах.

Так, 28 октября 1969 года после нагона воды в южной части Азовского моря, когда уровень моря в районе порта Темрюк поднялся на 3,6 метра, портовая акватория, ранее отделенная от русла реки Кубань пересыпью, соединилась с ней широкой протокой. Образовались новые гирла в устье реки, а в районе устьевого бара, где глубина обычно не превышала 1,2 метра, появились промоины глубиной до 3 метров.

Но наиболее резкое воздействие на рельеф дна оказывают землетрясения и цунами. Землетрясения или оползни, происходящие вблизи берегов, прямо воздействуют на морское дно, поднимая или опуская донные коренные породы или осадочные плиты на десятки метров. Так, в результате землетрясения 10 июля 1958 года на

Аляске в заливе Якутат ушел под воду прибрежный участок длиной приблизительно 300 и шириной 50 метров, обнажив береговые утесы на высоту 3 — 4 метра.

Самые катастрофические и вместе с тем уникальные события разыгрались в бухте Литуя, которая представляет собой заполненное водой ложе древнего ледника и имеет Т-образную форму. Длина бухты 11 километров, ширина в основной части 3 километра, максимальная глубина до 200 метров. Внутренняя часть бухты похожа на фиорд, и отвесные стены вздымаются на высоту от 650 до 1800 метров.

Во время землетрясения с северо-восточного берега с высоты 900 метров в залив обрушилось примерно 300 миллионов кубических метров породы. Вытесненная обрушившейся массой из залива вода выплеснулась на противоположный берег, достигнув высоты 520 метров (!). Движение воды было настолько стремительным, что был выкорчеван весь лес, попавший в зону затопления и с деревьев были содраны кора и сучья.

Как и при нагонах воды, при прохождении цунами на прибрежные формы рельефа дна воздействует наиболее сильно обратный поток. Вода очень быстро поднимается, но отступает она с еще большими скоростями, достигая десятков метров в секунду. В результате цунами образуются новые многочисленные заливы и протоки, зачастую разрушаются причальные и оградительные сооружения, меняется весь облик побережья.

Таковыми же разовыми, короткопериодными, но гораздо менее влияющими на рельеф берегового склона силами выступают высокие паводки на реках, сильные подвижки льда.

С одной стороны, речные паводки выступают как разрушающий фактор: вследствие высоких скоростей потока они способствуют углублению фарватеров и каналов (но только в том случае, если направление этих каналов совпадает с направлением потока). В то же время, промывая один глубокий водоток и делая его еще более глубоким, паводок тем самым способствует сосредоточению в нем основной массы воды и отмиранию соседних более мелких водотоков. А если в этих мелких водотоках проходит судоходный канал, то можно с уверенностью сказать, что он также обречен на отмирание.

С другой стороны, речной паводок несет много наносов. Эти наносы благодаря относительно высокой скорости потока не задерживаются на месте обычного бара реки: они поступают дальше в море и там, где скорость потока падает, дают начало новому бару или образуют отмель. Такие отмели тем более опасны для плавания, что они не обозначены на картах и обнаруживаются лишь после дополнительных промеров. Поэтому, приближаясь к устью реки, судоводителям нужно быть особенно осторожными и принимать во внимание время последнего весеннего или дождевого паводка.

Подвижки льда, как правило, приводят к увеличению глубины: своим зубчатым нижним краем льдины срезают неровности дна, нивелируют его поверхность. Однако бывают случаи, когда льдины, содержащие большое количество включений песка, садятся на мель, образуя стамухи. Последние затем тают на месте, и песок выпадает на дно, уменьшая и без того маленькую глубину над мелью: мель становится ближе к поверхности воды.

Таким образом, изменчивость рельефа дна берегового склона — факт несомненный, и его необходимо учитывать при приближении судна к берегу и особенно при движении вдоль побережья.

МОРСКИЕ УСТЬЯ РЕК

Вся жизнь из воды происходит,
Вода все хранит, производит.
Когда б не скоплялся туман,
И туч не рождал океан,
И дождь не струился ручьями,
И реки, наполнившись, сами
Опять не впадали в моря,
Где были бы горы со льдами,
Долины и все мирозданье?
Вода, из себя все творя,
Все зиждет, вся жизнь — в океане!

И. В. Гете. Фауст

Многие водные артерии равнины, бурные горные потоки, реки степей, лесов и тундры несут свои воды в моря. Место впадения реки в море называется ее устьем. Однако под этим понимается не только линия соприкосновения речных и морских вод, но и обширная зона низовья реки и прилегающего участка моря. Приближаясь к морю, река становится шире, ее течение замедляется, появляются острова. На подступах к устью реки и морская вода заметно меняется: перемешиваясь с мутной речной водой, она приобретает буроватые и зеленоватые оттенки, изменяются ее соленость, температура, прозрачность.

Благодаря взаимодействию двух различных по своей природе вод на рубежах рек и морей обычно формируются своеобразные природно-хозяйственные районы. Учитывая это, современная наука выделяет места впадения рек в моря в самостоятельные географические объекты — устьевые области.

Дельтой же обычно называют часть равнины, в пределах которой основное русло реки разветвляется на

водотоки, или рукава, впадающие в море непосредственно либо через систему водоемов. Именно в дельтах происходят сложные процессы взаимодействия морских и речных вод, различных по динамическим, физико-химическим и биологическим свойствам. Река может впадать в море не только через многорукавную дельту, но и через однорукавное устье, образовывая под действием приливов своеобразную воронку — эстуарий.

Понятие «дельта реки» вошло в современную науку с легкой руки известного древнегреческого историка Геродота, который, путешествуя по Египту еще в V веке до новой эры, обратил внимание на то, что наличие двух крупных рукавов придает устью Нила форму перевернутой буквы Д (дельта) греческого алфавита.

Благодаря географическому положению — на стыке морских и речных путей — устья крупных рек издавна играют большую роль в хозяйственной жизни людей, в развитии человеческого общества. Благоприятные климатические условия в дельтах рек тропических, полусухих и засушливых зон, прекрасно увлажненные и чрезвычайно плодородные почвы способствовали их заселению и хозяйственному освоению на самых ранних этапах развития общества. Несколько тысячелетий назад были заселены устьевые области Нила, Евфрата, Тигра, Ганга, Янцзы, Амударьи. Эти районы стали очагами человеческой цивилизации.

Позднее устья рек стали использоваться и как транспортные узлы, связывающие речные и морские судоходные пути. Началось строительство портов в глубоководных устьях, представляющих собой естественные хорошо укрытые от волнения гавани. Большинство крупнейших современных морских портов находятся в устьях рек. Сооружение портов шло одновременно со строительством городов. Приморские города, вначале связанные только с портом, при наличии благоприятных экономических условий развились в крупные промышленные центры (Ленинград, Нью-Йорк, Лондон, Калькутта, Гамбург).

Устья многих рек плотно заселены. Треть всех городов мира, имеющих население более миллиона человек, расположена в дельтовых районах. Численность населения в дельтах некоторых рек очень велика. В дельте Нила живут примерно 7 миллионов человек, в устьевой области Ганга — более 30 миллионов.

Большая роль устьев рек в жизни человечества заставила ученых обратить внимание на процессы их образования и развития.

Процесс образования дельт весьма сложен и определяется многими факторами. К основным из них относятся: сток речных вод и наносов, морское волнение и течения на взморье, наличие приливов, глубина моря в месте впадения реки, тектонические поднятия и опускания дна, хозяйственная деятельность человека.

Сток воды и наносов из реки играет главную роль при формировании дельты. Обычно в месте впадения реки в море скорость потока еще достаточно велика для того, чтобы способствовать размыву и углублению дна русла. Однако при выходе потока на взморье скорость стокового течения уменьшается и основная масса наносов выпадает, создавая устьевой бар. Одновременно скорость потока речных вод уменьшается не только по направлению от устья к взморью, но и поперек речной струи — от стержня к берегу. При этом происходит выпадение наносов в виде кос, как бы являющихся продолжением берегов реки.

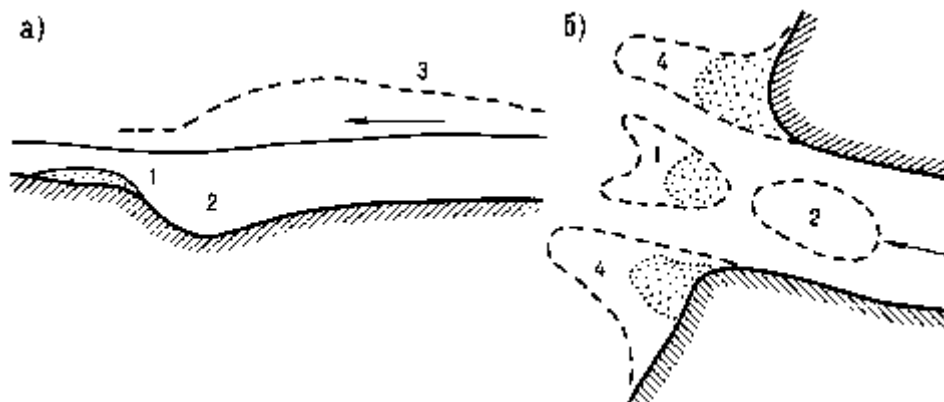


Рис. 22. Схема образования приустьевой ямы и осередка:
а — продольный профиль; **б** — план; **1** — осередок; **2** — приустьевая яма; **3** — кривая скоростей речной струи; **4** — приустьевые косы

Отложившиеся наносы создают подпор воды и вызывают перепады уровня как вдоль, так и поперек потока. Такой поперечный уклон уровня обуславливает распластывание потока над баром, его расширение и раздвоение. Образовавшиеся отдельные потоки прорезают бар, и в его середине возникает осередок. Затем он закрепляется растительностью, выходит на поверхность и превращается в остров.

Так происходит дробление устья реки на рукава и формирование всей гидрографической сети дельты. Поэтому на морском крае дельты наблюдается много рукавов и проток. С удалением от моря острова дельты укрупняются, за счет отмирания мелких проток повышаются и зарастают тростником и кустарником (рис. 22).

Таким образом, бар, осередок и остров, представляющие собой развитие одной и той же русловой формы, являются неотъемлемой частью любой дельты. Их совокупность и образует хорошо развитые дельты большинства крупных рек.

Процесс разветвления дельты особо ярко проявляется в период половодья, когда река несет основную массу

воды и взвешенных частиц. В это время происходят сильные деформации русла реки: гряды и ямы спускаются вниз по течению, могут достигать бара и изменять его конфигурацию.

На морском крае дельты течения и волнение стремятся выровнять подводный склон берега, выработать динамический профиль равновесия, то есть создать такой подводный склон берега, при котором приток речных наносов уравновешивается их оттоком в смежные районы. В этом месте река, формируя устьевой бар, увеличивает крутизну склона дна на взморье и усложняет его рельеф. Однако волнение разрушает верхнюю часть подводного склона и аккумулирует наносы у его подножия. Вдольбереговые течения могут приносить из соседних районов побережья морские наносы, образующиеся при разрушении берегов и дна прибрежной зоны моря и откладывать их на взморье, что способствует выдвиганию дельты.

Такой вдольбереговой поток наносов при установившемся режиме волнения и течения зачастую формирует у морского края дельты песчаную косу, блокирующую устье рек. При этом возможны полное отгораживание реки от моря в месте ее прежнего впадения и поворот русла вдоль блокирующей косы.

Следует отметить, что влияние морского волнения и течений на взморье на процесс образования дельты тем больше, чем меньше водный и твердый сток реки. Однако, как правило, основным источником наносообразующего материала в береговую зону моря служит твердый сток рек: большинство дельт сложено из материалов речных наносов.

Глубина моря в приустьевом районе оказывает влияние на процесс дельтообразования. На мелководье количество материала, которое требуется для выхода на поверхность активных форм рельефа дна и построения подводной дельты, значительно меньше, чем при большой глубине моря. Кроме того, на больших глубинах разрушительное воздействие волнения на морской край дельты значительно сильнее.

Тектоническая деятельность и общие поднятия и опускания суши относительно моря способствуют интенсивному изменению облика дельт рек.

К примеру, дельта Волги в период резкого падения уровня Каспийского моря интенсивно росла в результате как отложения речных наносов, так и приращения к дельте обсохших участков дна взморья. При стабильном стоянии уровня (1863 — 1914 годы) линейное нарастание дельты составляло 94 метра в год. За последующие 11 лет при падении уровня на 0,40 метра годовой прирост дельты увеличился до 190 метров, а при падении уровня на 1,45 метра в 1927- — 1940 годы — до 370 метров.

Большое влияние на дельтообразование оказывает деятельность человека. В результате строительства плотин и водохранилищ, изъятия части стока на орошение уменьшается сток воды и наносов рек, изменяется их внутри-годовое распределение. Так, строительство Цимлянской гидроэлектростанции привело к уменьшению стока наносов Дона с 4 до 3,2 миллиона тонн в год.

При уменьшении стока воды и наносов появляется тенденция к уменьшению скорости роста дельт. В отдельных случаях возможны размыв и отступление уже образовавшихся дельт под влиянием разрушительной деятельности волнения на взморье.

Другим антропогенным фактором является искусственное углубление русла или обвалование отдельных водотоков. При этом основной сток сосредоточивается в некоторых рукавах: дельты этих рукавов начинают расти. Дельты же других рукавов отмирают: зарастают водной растительностью или отступают под действием волнения моря и вдольбереговых течений. Поэтому при проектировании различных гидротехнических сооружений и промышленных объектов на реках нельзя не учитывать их возможное воздействие на процессы образования дельт.

Хотя дельты формируются под влиянием всех названных факторов, роль каждого из них определяется в зависимости от конкретной географической обстановки района. Этим и объясняется большое разнообразие дельт, развивающихся как результат сочетания этих факторов. Это также определяет условия использования устьев рек для хозяйственных целей. В частности, условия судоходства в устьях рек определяются их гидрологическим режимом, в первую очередь наличием и высотой приливов.

В воронкообразных эстуариях приливы могут достигать значительных величин: в устье реки Северн — до 14 метров, реки Птикодиак — до 10 метров, Мезени — до 9 метров. При больших амплитудах волна прилива, заходя в устья многоводных рек, поворачивает вспять их стремительное течение. Этим обстоятельством пользуются мореплаватели при заходе крупных судов в реку во время прилива. Жители прибрежных районов используют это явление, спускаясь по течению реки в отлив и поднимаясь в прилив.

Приливное течение проникает весьма далеко вверх по реке: на Северной Двине на 120 километров, на Мезени — на 80, на Эльбе — на 140. На Амазонке распространение прилива достигает 1400 километров, причем вдоль по течению наблюдается восемь гребней приливной волны. По реке Святого Лаврентия прилив поднимается на 700 километров, причем на расстоянии 400 километров от устья у Квебека уровень воды повышается на 4,6 метра.

На некоторых реках свободная поверхность приливной волны в начальной фазе прилива сопрягается с зеркалом речного потока в форме «прыжка», высота которого достигает несколько метров (например, в сизигию на реке Хунгли 9,3 метра). Этот водяной вал, представляющий серьезную опасность для небольших судов, обычно обращен в реку, по которой продвигается вместе с приливом. В отлив вал образуется уступом с крутизной склона 70° в сторону моря и спускается в этом направлении. ,

Это явление обычно называется бор [От английского «bore»], но в некоторых местах его называют иначе: на Амазонке — поророка, на Сене — барр, на Жиронде — маскаре. На реке Пти-кодиак бор появляется на расстоянии 32 километров от устья. Здесь уровень мгновенно поднимается на 1 метр, а затем очень быстро его

высота доходит до 2,5 метра. В устье реки Северн, впадающей в Бристольский залив, где наблюдаются самые большие приливы в Европе, бор имеет неодинаковую величину, его высота у берегов доходит до 1,5 — 1,8 метра, а на фарватере — до 1 метра. Скорость продвижения бора в реке Северн составляет 6 — 10 узлов.

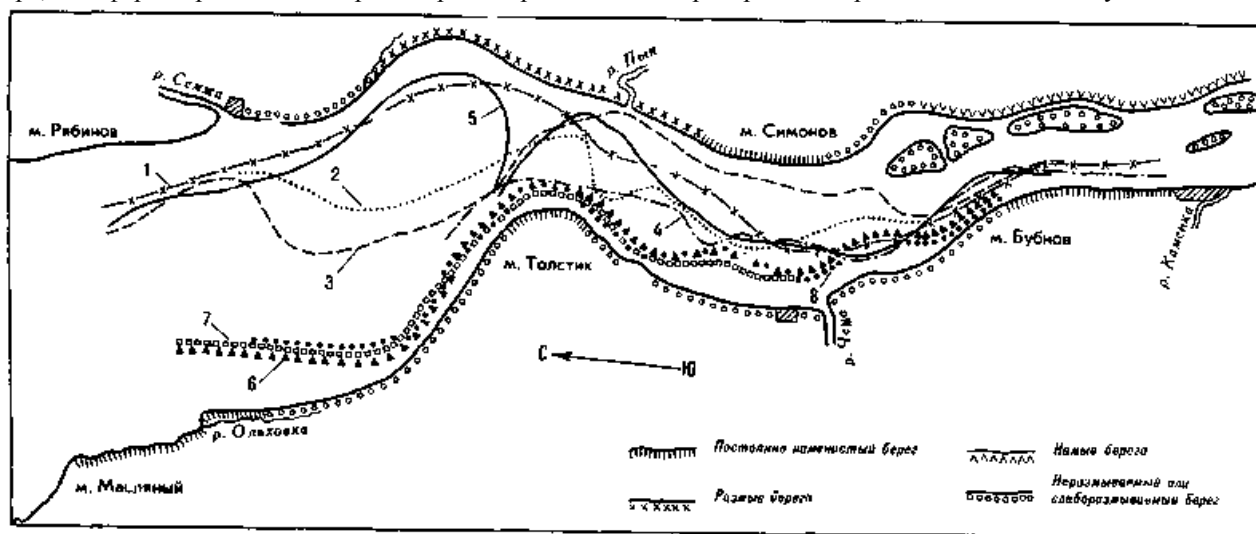


Рис. 23. Изменение положения фарватеров в устье реки Мезень в различные годы: 1 — в 1893 году; 2 в 1927 году; 3 — в 1928 году; 4 — в 1934 году; 5 — в 1936 году; 6 — в 1955 году; 7 — в 1956 году; 8 — в 1958 году

Встречное течение реки и сопротивление русла движению морских вод постепенно ослабляют вошедший приливной поток, затухающий по мере проникновения в устье. В отличие от морских условий поворот, или перекидывание, приливного течения на отливное происходит в устьевых рукавах не сразу по всему живому сечению а постепенно — от дна к поверхности и от берегов к стержню. Поэтому в данном живом сечении в некоторые часы приливной фазы могут быть два противоположных направленных течения.

Приливные течения, имеющие большие скорости, взаимодействуя с потоком речных наносов, регулярно изменяют глубины в устьевых участках рек. Изменение русла можно проследить в течение приливного цикла. Стремительно несущийся многоводный поток прилива подрезает берега, смывает банки и заносит ямы, непрерывно меняя фарватер.

Блуждание фарватера оказывается настолько значительным что на многих приливных устьях рек в каждую навигацию приходится изменять судоходную обстановку, и плавание там без лоцманской проводки невозможно (рис. 23). Влияние резких изменений скорости и направления течения выражается не только в блуждании фарватера, но и в ощутимом на протяжении столетий и даже десятилетий перемещении русла реки.

Так, город Мезень, основанный в XVI веке, находился на берегу реки, давшей ему название. Теперь река Мезень отошла на 2,5 километра.

Одновременно с блужданием русла в поперечном направлении обычно отмечается увеличение заносимости устьевого участка реки. Этот факт связан с постепенным накоплением речных наносов и их осаждением на взморье. Устье реки «старее», и судам становится все сложнее преодолевать его. Процессы старения реки продолжаются столетиями. Однако если устье уже обмелело, то поддерживать условия судоходства крайне затруднительно. Попытки создания судоходных прорезей ни к чему не приводят, так как при больших скоростях приливных и особенно отливных течений прорезь, которую делает земснаряд, немедленно замывается.

Морские устья рек в неприливных районах обычно более консервативны. Процессы формирования устьевых областей здесь продолжаются тысячелетиями. Большинство современных крупных и средних речных дельт начали развиваться в послеледниковый период при значительном повышении уровня океана и затопления низовьев древних речных долин с образованием глубоко вдающихся в сушу заливов.

Несмотря на огромное разнообразие существующих на земном шаре дельт, в развитии таких устьевых областей удалось выявить три характерные стадии, практически единые для всех без исключения дельт рек.

Первая стадия — формирование дельты выполнения. Образование такой дельты начинается с отчленения от моря отдельных участков акватории залива волноприбойными косами. Далее отчлененные части лагуны заполняются речными наносами, чему в большей мере способствует обширная влаголюбивая растительность (осока, камыш): река как бы сама «выполняет» свою дельту. Обычно в дельте, находящейся в стадии выполнения, имеется много лагун, лиманов, которые в различной степени претерпевают процесс превращения в сушу. Одни из них представляют собой свободные от растительности водоемы, другие имеют вид озер, поросших осокой, третьи уже превратились в болота. Здесь влияние морских факторов — приливов, течения, волнения — ослаблено.

Примером таких дельт могут служить дельты Дона и Кубани.

Вторая стадия — формирование дельты выдвигания. При этом гидрографическая сеть дельты развивается по-

средством аккумуляции как речных, так и морских наносов на открытом взморье при активном действии морских факторов. Такое явление наблюдается тогда, когда река несет настолько мощный поток наносов, что он в состоянии противостоять морским волнам и течению, уносящим осаждаемый материал за пределы взморья.

Но и здесь возможно сочетание многих факторов. Если сток наносов недостаточен для быстрого развития бара с последующим его преобразованием в осередок и остров, то возникает характерная по своим очертаниям клювовидная дельта, состоящая из двух коротких приустьевых кос.

Если же твердый сток значителен и волнение не успевает разрушать выдвигающиеся участки дельты, то крупные рукава, берегами которых служат узкие полоски валов наносов, образовавшихся из приустьевых кос, могут выступать в море на десятки километров. Примером таких устьев могут служить устья Миссисипи, Куры, По.

На этой же стадии выдвинутой дельты образуются и упомянутые выше устья, блокированные с моря узкой косой, сложенной из морских наносов. Такая коса образуется при явном преобладании штормов одного направления и мощном вдольбереговом потоке наносов. При этом узкая коса отклоняет русло реки в направлении преобладающего перемещения наносов. Классическим примером такого типа устья служит устье реки Сенегал.

Третья стадия — стадия формирования наложенной дельты. Дельта формируется в ходе заполнения речными наносами обширных межрусловых понижений на поверхности ранее сформировавшейся дельтовой равнины в условиях практически полного отсутствия активного действия морских факторов. При этом речные наносы почти полностью отлагаются в пределах разливов между основными рукавами, и в море стекает уже осветленная вода. Для этой стадии развития дельты характерно значительное преобладание мелководных водоемов, расчлененных островами или массивами зарослей тростника, камыша и другой влаголюбивой растительности. Примером таких дельт могут служить западная и восточная часть дельты Волги, дельта Или.

Продолжительность отдельных стадий и составляющих их фаз колеблется в широком диапазоне — от нескольких десятилетий до тысячелетий, что объясняется разнообразием факторов, определяющих развитие дельты.

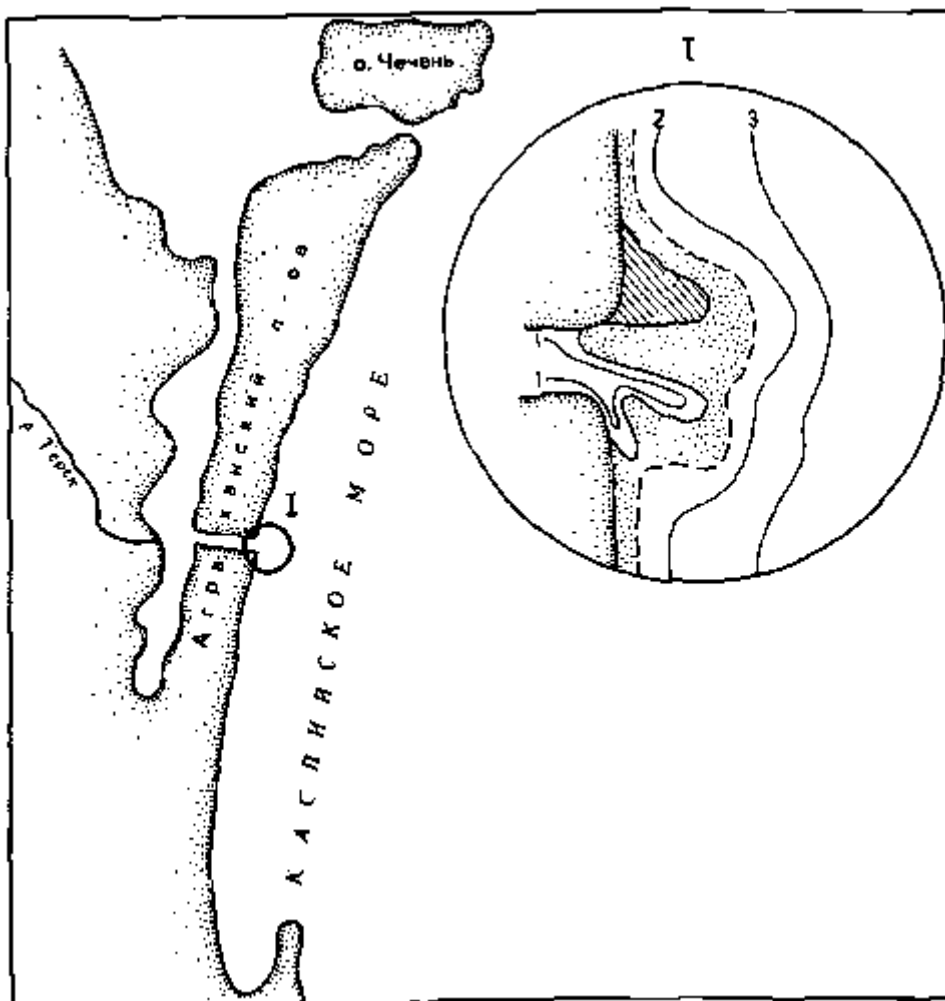


Рис. 24. Устьевая область реки Терек: 1 — 3 — изобаты

Основной дельтообразующий фактор — речной сток — сильно влияет на темпы образования дельты: увеличение стока сокращает, а уменьшение увеличивает продолжительность отдельных стадий и фаз формирования устьевой области.

Сток наносов действует в том же направлении: чем он больше, тем быстрее выдвигается устье в море. Скорость отмирания отдельных рукавов также зависит от мутности речных вод, продолжительность стадий развития дельты уменьшается с увеличением стока наносов.

Медленное течение процессов дельтообразования в неприливных районах может быть резко нарушено каким-либо экстремальным природным явлением: очень большим половодьем или сильным нагоном воды. При этом не только меняется физико-географический облик дельты и происходит смена фаз развития устьевой области, но и большие изменения претерпевают положение русел водотоков и глубины на фарватерах.

При большом паводке река спрямляет извилистые водотоки, прорывает новые рукава, углубляет одни протоки и заносит другие. Сильные нагоны воды приводят к размыву бара и морского края дельты, перераспределению наносов вдоль него, заносу естественных фарватеров и судоходных прорезей.

Интересны особенности ледовых явлений в зоне взаимодействия рельефа и морских вод. В приливных устьях рек, например, при вхождении морской воды в устье реки возможно образование донного льда. Осенью накануне ледостава температура воды на отмелем взморье устьевых областей рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана, может понизиться до отрицательных значений.

Проникая во время прилива в русло реки, морская вода охлаждает донный грунт до температуры ниже 0°C , из-за чего при отливе нижние слои пресных речных вод охлаждаются от дна русла. В результате образуется донный лед, который в зависимости от местных условий или уничтожается последующим приливом, или постепенно нарастает. Куски льда из-за меньшей по сравнению с водой плотности отрываются от дна и всплывают на поверхность, создавая известные препятствия судоходству. С одной стороны, на устьевых участках рек пресная более легкая вода, как правило, распространяется поверх морской, поэтому она интенсивнее выхолаживается и лед здесь образуется немного раньше, чем в чисто морских условиях. С другой стороны, весной льды в устьевой области разрушаются не только в результате таяния, но и под действием механического взлома водами реки. Поэтому взморье очищается ото льда раньше прилегающих районов моря. Таким образом, устьевые области по срокам замерзания и вскрытия отличаются от соседних морских районов.

В последние годы человек вмешивается в процессы дельтообразования не только косвенно — путем гидротехнического строительства в бассейнах рек, но и преднамеренно — создавая новые речные русла, спрямляя водотоки дельт, прокладывая каналы. Такие водохозяйственные мероприятия приводят к быстрому и коренному изменению облика дельт.

Например, река Терек в совсем недавнем прошлом впадала в Аграханский залив. Большой сток наносов Терека приводил к тому, что залив быстро мелел, затоплялись большие территории, приходилось часто углублять судоходные каналы. Поэтому была сделана прорезь через Аграханский полуостров, и Терек стал нести свои воды в Средний Каспий (рис. 24). Старая дельта сейчас быстро отмирает, а на месте впадения реки в море начала образовываться новая, так называемая пионерная дельта.

Следует также ожидать образования пионерной дельты в случае углубления до судоходных размеров русла правого рукава Амура в месте его впадения в залив Де-Кастри. Такое углубление позволит сократить путь из Амура в Татарский пролив почти на 600 километров.

Воздействие приливов, мощных паводков и сильных нагонов воды на судоходные условия в устьях рек зачастую соизмеримы с влиянием хозяйственной деятельности, однако в отличие от нее последствия природных факторов трудно предсказать. Поэтому при подходе к приливному устью рек судоводителям необходимо ориентироваться в многообразии явлений: определить фазы прилива, условия образования бора, моменты и особенности смены течений, учесть условия прохода через устье и стоянки на рейде и у причала.

В неприливных устьях рек важное значение приобретает влияние погодных и гидрологических условий к моменту выхода судна в канал и за предшествующие несколько суток. Большой сток реки способствует увеличению скоростей течения на фарватере, изменению глубины на его внутريدельтовых участках. Сильные морские и вдольбереговые ветры могут привести к навалу судна на бровку канала, замыванию судоходной прорези на морском крае и самой дельте. Такие внезапные заносы каналов тем более опасны, что они трудно прогнозируются и обнаруживаются зачастую только после того, как судно садится на мель.

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА МОРЕЙ

Вследствие обмеления... района северная граница Астраханского рейда непрерывно переносится к S.

Лоция Каспийского моря

На заре нашего столетия известный русский географ и климатолог А. И. Воейков в «Известиях русского географического общества» писал: «Овладеть водой и пользоваться ею для своих потребностей — одна из главнейших задач человека». Эти слова им были сказаны как бы в предвидении современного развития народного хозяйства и его влияния на водные ресурсы нашей страны.

В бассейнах только трех южных морей — Азовского, Каспийского и Аральского — проживает более половины населения страны, здесь находится более 60% пахотных земель, примерно 40% промышленных предприятий. Издавна в этих местах, расположенных в благоприятных климатических районах, богатых полезными ископаемыми и водными ресурсами, развивались орошаемое земледелие, промышленность, бурно

росли города. Высокоразвитые рыбное хозяйство, водный транспорт, гидроэнергетика, нефтедобывающая, химическая промышленность и ряд других отраслей народного хозяйства, географически тяготеющих к этим морям, играют весьма важную роль в экономике страны. Поэтому возникшая в настоящее время проблема южных морей страны привлекает внимание не только специалистов, но и широкой общественности.

В чем же суть этой проблемы?

Экономический потенциал южных морей в значительной степени зависит от их гидрологического режима: уровня воды, ее солёности, запасов питательных солей. Режим этих замкнутых (Каспийское и Аральское моря) или полузамкнутых (Азовское море) водоемов в свою очередь определяется притоком речных вод в море и климатическими условиями.

Однако в последние годы бурный рост орошаемого земледелия, развитие городов, промышленности привели к значительному увеличению изъятий пресной воды из рек.

Так, в Средней Азии, где воды Амударьи и Сыр-дарьи с древних времен служили основой для выращивания хлопка и зерновых культур, освоение новых земель, прокладка каналов и оросительных систем привели к тому, что потребление воды из этих рек начиная с 60-х годов возросло в десятки раз. В последние десятилетия интенсивно развивается рисосеяние на Кубани и Дону. Большие ирригационные работы ведутся и в низовьях Волги. Поливное земледелие обеспечивает высокие урожаи бахчевых культур, зерна. Не обделена вниманием мелиораторов и Кура.

На нужды народного хозяйства в бассейне Каспийского моря ежегодно расходуется примерно 35 — 40 кубических километров воды, в бассейне Азова — 14 — 16 кубических километров, а в Средней Азии из Сырдарьи и Амударьи забирается иногда до 70 кубических километров воды в год.

Создавшийся дефицит пресноводных ресурсов отрицательно отражается на экономике региона. Первыми нехватку пресной воды ощутили рыбаки. В 1952 — 1954 годы во время заполнения Цимлянского водохранилища на Дону резко снизились уловы азовских рыб. Непосредственной причиной этому послужило отсутствие затопленных нерестилищ во время паводка, потому что пик половодья полностью использовался на заполнение водохранилища. Главная же причина заключалась в повышении солёности воды в море с 11,1 грамма солей на литр воды до 12,7 грамма.

Еще раньше — в 30-х годах — воздействие такого маловодья испытало морское хозяйство Каспия. Непрерывное обмеление северной части Каспийского моря, падение уровня всего моря... Явление это, наблюдающееся уже более 150 лет, вызвано комплексом физико-географических, климатических, антропогенных и других причин.

Каспийское море представляет собой замкнутый водоем, поверхность которого в настоящее время лежит почти на 28 метров ниже уровня Мирового океана. Замкнутость моря и определяет чувствительность его уровня к изменениям климатических условий в бассейне. Вследствие изменения массы осадков, испарения, стока рек непрерывно меняются гидрологический режим моря, гидрографические условия его отдельных районов. Море, не связанное с океаном, чутко реагирует на изменения общей циркуляции атмосферы, которая зависит от глобального термодинамического взаимодействия океанов и атмосферы.

Общие колебания уровня воды в первую очередь отражаются на гидрологии и морфометрии мелководного Северного Каспия. Многочисленные заливы, банки, косы и острова этого района моря, сложенные из песка и ракушечника, меняют свои размеры и очертания не только в связи с общим понижением уровня моря, но и под воздействием сгонно-нагонных явлений и аккумулятивной деятельности рек Волги, Терека, Урала, несущих большое количество твердых наносов.

Наличие обширных мелководий, очень малые уклоны дна в западной, восточной и северо-восточной частях Северного Каспия являются причиной того, что даже небольшое снижение уровня моря влечет за собой осушение обширных территорий. При снижении уровня на 1 метр осушается площадь 10 — 17 тысяч квадратных километров, что составляет почти треть площади Азовского моря. Кроме того, одновременно с падением уровня воды в Каспии берега дельт рек быстро продвигаются в море.

Осушение восточных мелководий ведет к возникновению на их месте пустынного ландшафта, в то время как продвижение морского края дельт рек способствует заилению и зарастанию берегов и водотоков. Зачастую трудно определить, где кончается дельта реки и начинается море.

На постепенное обмеление северной части Каспийского моря и опасность этого явления для мореплавания впервые обратил внимание капитан второго ранга Н. Пущин при составлении первого «Руководства для плавания по Каспийскому морю», которое было издано в 1877 году.

Начало научному изучению Каспийского моря было положено в первой четверти XVIII века, когда Россия стараниями Петра I стала великой морской державой и прокладывала торговые пути на Восток. Экспедиция для изучения Каспия, отправленная Петром I в 1714 году под руководством А. Бековича, составила первые частные карты районов восточного побережья моря. В 1719 — 1729 годах экспедиция Ф. И. Соймонова произвела съемку западного и южного побережья. По данным этих экспедиций указом Петра I была изготовлена и выгравирована на меди «Картина плоская моря Каспийского от устья Яровского до залива Астрабадского...». Эту карту можно считать первой полной картой, составленной в основном по результатам исследований.

Совершенствование навигационного оборудования и важные государственные интересы России требовали подробного изучения Каспия. Для этого в 1808 — 1817 годы по распоряжению Адмиралтейского департамента штурманом И. П. Колодкиным был проведен комплекс исследований, включавший астрономические наблюдения, промеры глубин, зарисовку берегов и т. п. Составленный им Атлас основан на инструментальных

определениях и потому служит базой для дальнейших исследований и выводов.

И вот, Н. Пушин, сравнивая карты, которые были составлены им во время работы большой гидрографической экспедиции (1858 — 1870 годы) под руководством капитана первого ранга Н. А. Ивашинцева, с материалами Колодкина, отмечает, что глубина в западной части Северного Каспия «...в течение полувека уменьшилась от 2 до 7 фут, что составит средним числом от 1/4 до 3/4 фут обмеления на каждые 10 лет». У восточных берегов также заметно изменение рельефа дна и наступление суши. Такие изменения глубин Пушин объяснил, во-первых, переформированием дна вследствие влияния потока наносов из Волги и Урала и ветровых течений со стороны моря и, во-вторых, падением уровня моря.



Рис. 25. Колебания уровня Каспийского моря по наблюдениям в Баку

Для изучения колебаний уровня моря еще в 1829 году по инициативе академика Э. Х. Ленца в Баку был установлен футшток, по которому сейчас имеется наиболее длинный ряд наблюдений (рис. 25) следует, что за время с 1850 года колебания уровня имели циклический характер, однако после 1869 года поверхность моря неуклонно понижается. Наиболее интенсивное падение уровня воды относится к периоду после 1932 года, когда скорость его снижения была наибольшей — 1,7 метра за период с 1932 по 1941 год. С 1942 года падение уровня продолжалось, но более замедленными темпами. В 1978 году уровень моря находился на отметке около — 29 метров в Балтийской системе, то есть на 3,5 метра ниже, чем средний уровень моря за период до начала интенсивного падения (— 25,5 метра в Балтийской системе).

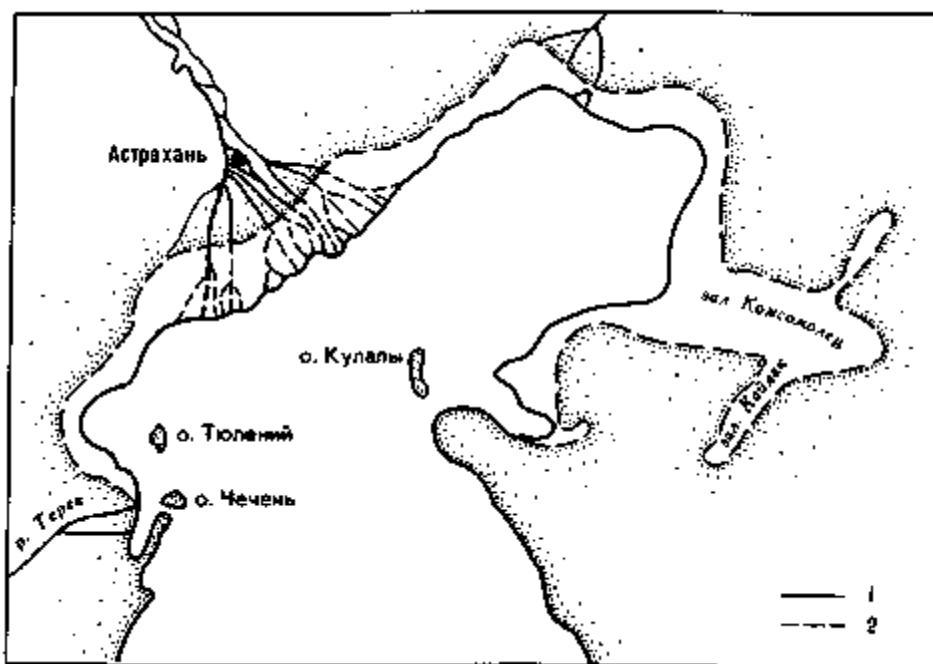


Рис. 26. Северная часть Каспийского моря: 1 — современная береговая линия; 2 — береговая линия в 1900 — 1930 годах

Падение уровня Каспийского моря привело к резкому обмелению его северной части, отодвиганию береговой линии в море. При этом многие, еще недавно крупные заливы, как, например, Кайдак и Комсомолец, полностью высохли. Обмеление портов и морских каналов значительно увеличило объем дорогостоящих дноуглубительных работ, вызвало недогрузку судов и сделало вообще невозможным подход к некоторым рыбным промыслам. Ухудшились условия нереста ценных промысловых рыб, сократились площади их обитания: за период с 1930 по 1977 год вследствие понижения уровня Северный Каспий потерял примерно 35 процентов наиболее рыболовной, богатой кормами и нерестилищами площади (рис. 26).

Следовательно, падение уровня моря поставило много вопросов, важнейшим из которых является восстановление и поддержание рыбохозяйственного значения Каспия. Для их решения было необходимо выяснить

причины снижения уровня моря, изучить его водный баланс.

Приходная часть водного баланса Каспийского моря к началу 1980 года слагалась на 20 процентов из осадков, на 1 процент — из притока подземных вод и на 79 процентов — из речного стока. Расходная часть определялась испарением (97 процентов) и стоком в залив Кара-Богаз-Гол (3 процента). При этом абсолютные значения составляющих баланса далеко не одинаковы. Если подземный сток в среднем оценивается в 4 кубических километра в год, то с осадками приходит 74,2 кубических километра воды, испарение уносит ежегодно примерно 360 кубических километров воды, речной сток составляет 286 кубических километров воды. Следовательно, изменение взаимосвязей последних трех составляющих баланса, в особенности речного стока и испарения, оказывают наибольшее воздействие на колебания уровня моря.

Инструментальные наблюдения за отдельными элементами водного баланса, начатые с 1878 года, позволили сделать интересный вывод: в течение столетия средний расход воды в море превышал приход на 13,7 кубического километра в год (или слой воды в море толщиной 34 миллиметра), что и вызвало общее понижение уровня моря. Исследования показывают, что все элементы водного баланса из года в год колеблются, то уменьшаясь, то возрастая.

Однако в то время как осадки и испарение имеют обычные циклические колебания около некоторого среднего значения, поверхностный приток при значительных межгодовых колебаниях испытывает явную тенденцию к снижению. Если до 1920 года средний речной сток составлял 352 кубических километра, то в 1930 — 1945 годах он был равен 278 кубическим километрам. Впоследствии в период 1945 — 1958 годов сток рек увеличился до 286 кубических километров, но в следующем десятилетии он вновь снизился до 259 кубических километров. Таким образом, сокращение приходной части баланса произошло главным образом вследствие убывания стока рек. Основная масса поверхностного притока в Каспий приходится на долю стока Волги (до 80 процентов), поэтому именно он имеет первостепенное значение в колебаниях уровня моря. В маловодный период 1930 — 1945 годов суммарный недостаток в стоке Волги по отношению к среднему составил примерно 864 кубических километра.

Непосредственной причиной уменьшения стока Волги служит главным образом изменение количества зимних осадков в бассейне реки. Хотя и крупный, но ограниченный бассейн Каспия не представляет собой изолированной области, его климатические условия зависят от крупномасштабной циркуляции планетарного характера. Советский географ Л. С. Берг отмечал, что в периоды потепления Арктики уровень Каспия падает, а при похолодании Арктики повышается.

При потеплении в арктических районах и перемещении путей циклонов к северу в средних широтах в холодную половину года преобладает антициклоническая циркуляция. Это вызывает уменьшение зимних осадков в бассейне Каспия и снижение стока Волги. Именно такое явление и наблюдалось в 1929 — 1939 годах.

В современных условиях на сток рек, а следовательно, и на уровень моря сильно влияет хозяйственная деятельность человека. Начиная с 40-х годов на реках, впадающих в Каспий, строятся мощные гидроэлектростанции с водохранилищами, принимающими в себя значительную долю паводковых вод. Воду забирают не только заводы и города. Ее недостаток вызывается и возросшим уровнем сельского хозяйства, вследствие чего увеличилось его водопотребление, и развитием орошаемого земледелия. В результате хозяйственной деятельности человека суммарный сток рек уменьшился на 35 — 40 кубических километров в год. Следовательно, в современный период человек и природа действуют однонаправленно, уменьшая пресноводные ресурсы моря.

Падение уровня моря и связанное с ним уменьшение площади его поверхности, казалось бы, должны заметно уменьшить испарение. Однако сильные ветровые нагоны, иногда достигающие 3 — 4 метров, приводят к затоплению обширных площадей низменных берегов Северного Каспия. Ширина зоны затопления в некоторых местах составляет 50 километров. После прекращения нагона большое количество воды остается на этих берегах и испаряется.

Говоря о Каспийском море, нельзя обойти такое уникальное географическое явление, как залив Кара-Богаз-Гол. В далеком прошлом залив свободно сообщался с морем: Падение уровня моря привело к тому, что проход в залив все более сужался. Воды в залив стало попадать меньше, чем ее испарялось с поверхности. Уровень воды в Кара-Богаз-Голе падал быстрее уровня Каспия и к 1980 году был ниже уровня моря на 3 метра. Водобмен с-морем принял односторонний характер, а залив превратился в лагуну, постепенно приобретая новые гидрологические свойства: соленость воды увеличилась до 350 промилле. Увеличение солености и осадка солей послужили накоплению мирабилита — ценнейшего сырья для химической промышленности, по запасам которого этот район находится на одном из первых мест в мире. Падение уровня моря отрицательно повлияло на сток в Кара-Богаз-Гол: если в начале XX века сток в залив составлял 25 — 26 кубических километров в год, то в 1970 — 1980 годах — только 5 — 6 кубических километров. Но даже и при таком малом стоке залив являлся опреснителем для моря: он забирал из моря солей почти в два раза больше, чем их вносят все реки Каспия.

Начиная с 1979 года направленность природных процессов изменилась: естественный сток рек, в первую очередь Волги, возрос, и уровень Каспия, несмотря на продолжающиеся изъятия вод на орошение, быстро поднимается. Этому же способствовало осуществленное в 1980 году перекрытие пролива, соединяющего залив Кара-Богаз-Гол с морем и отделение залива от моря. Тем самым в море ежегодно сохранялось 5 — 6 кубических километров воды, что соответствует приращению уровня в 2,5 сантиметра в год.

А вот изменение режима Азовского моря и прежде всего его осолонение вызваны совокупным влиянием

природных процессов и увеличением потребления воды на народнохозяйственные цели. Учеными установлено, что увеличение солености моря на 40 процентов произошло из-за хозяйственной деятельности и на 60 процентов вследствие природной маловодности рек. При этом уменьшились зоны нереста и нагула рыбы, сильно сократились ее уловы.

Если уменьшение стока рек, вызванное хозяйственной деятельностью, привело к увеличению солености Азовского моря и снижению уровня Каспийского, то для Аральского моря характерно совместное проявление этих двух факторов.

Бассейн Арала, общая площадь которого более 2,7 миллиона квадратных километров, является районом традиционного орошаемого земледелия, благоприятным для произрастания многих теплолюбивых культур, в том числе хлопка, риса, винограда, плодовых и citrusовых. Плодородие почв и продолжительность вегетационного периода позволяют получать на поливных землях по два и даже по три урожая в год. Площадь орошаемых земель в настоящее время превышает 5,5 миллиона гектар.

Однако водные ресурсы бассейна ограничены и оцениваются в 120 кубических километров воды в год, в том числе 40 кубических километров приходится на долю Сырдарьи и 80 кубических километров — на долю Амударьи.

С 1961 года изъятие пресной воды из бассейна Аральского моря увеличивалось очень быстро. Бывали годы, когда воды Амударьи и Сырдарьи практически полностью использовались на орошение или когда реки приносили в море только 5 — 10 процентов своего стока. Уровень моря к 1985 году упал на 13 метров. Обсохло до 30 процентов площади дна моря около восточного побережья.

Сильно изменилась береговая черта: полностью исчезли крупные мелководные заливы Джилтырбас на южном побережье моря и Бозколь и более мелкие на восточном. Практически все острова Айпеткинского архипелага стали сушей, появился ряд новых островов на месте бывших банок. Остров Кокарал стал полуостровом, Малое море практически стало несудоходным, так как глубины в проливе Берга уменьшились до 2 — 3 метров. Аральск прекратил свое существование как порт, и все судоходство сосредоточилось в Большом море.

Если уменьшение объема огромной чаши Каспийского моря не повлекло за собой заметного увеличения его средней солености, то сокращение объема воды относительно небольшого Арала вызвало катастрофический рост его солености: с 9,8 грамма солей на литр воды в 1969 году до 27 ныне, то есть практически в три раза. Из-за этого изменились условия существования промысловых рыб в море.

Таким образом, совокупное влияние природных процессов и антропогенного фактора уже сейчас привело к изменению гидрологических условий южных морей страны. Подобные изменения отрицательно отразились на развитии многих отраслей народного хозяйства. Большой урон понесла и продолжает терпеть рыбная промышленность этих бассейнов. Серьезный ущерб в связи с падением уровня морей несет судоходство. Полностью исчезли ранее судоходные акватории на Аральском море, изменились фарватеры на Каспии. Большая стоимость дноуглубительных работ тяжелым грузом ложится на эксплуатационные расходы водного транспорта.

Даже такая отрасль, как индустрия отдыха — рекреация — понесла ущерб. Например, на Азовском море в связи с его осолонением появились полчища медуз, суммарная масса которых превысила 6 миллионов тонн. В этих условиях заметно ослабевает поток отдыхающих на бархатный песок Азовского побережья.

Что касается других морей, то влияние антропогенного фактора на их режим проявляется не столь очевидно, как на Арале, Каспии и Азове. В Черном море современное потребление пресных вод достигло 50 — 55 кубических километров в год при общем речном стоке 360 кубических километров. Наибольший объем изъятий воды приходится на бассейны Днепра, Днестра и Дуная. В связи с этим немного увеличилась соленость в мелководной северо-западной части моря. Наибольшее влияние хозяйственной деятельности проявилось в увеличении солености устьевых лиманов Причерноморья Днестровского, Днепробугского и изменении условий обитания рыб.

Гидрологический режим Балтийского моря претерпевает некоторые изменения не столько вследствие уменьшения или увеличения количества поступающих в него речных вод, сколько из-за изменения качества стока. В последние десятилетия в бассейне Балтики значительно увеличилось использование минеральных удобрений. Из-за этого с полей смывается много солей азота и фосфора. Речные воды, а за ними и морские, получают излишнее количество питательных веществ, и летом в воде начинают интенсивно развиваться мельчайшие водоросли фитопланктона.

В условиях сложившегося веками равновесия экологической системы моря клетки фитопланктона служили пищей для мелких плавающих рачков, теми в свою очередь кормилась рыба. Ныне из-за увеличения притока питательных солей клеток фитопланктона развивается больше, чем нужно для существования всей цепи жизни в море. Излишний фитопланктон отмирает, потребляя при этом растворенный в воде кислород. Образуются зоны дефицита кислорода, гибнет рыба, возникает губительный сероводород. Ныне уже постоянно существуют сероводородные зоны в центральной части Балтийского моря: в Гот-ландской котловине и Ландсортской впадине.

Таким образом, современные антропогенные воздействия на режим Балтийского моря проявляются в его эвтрофикации — так называется явление резкой вспышки продукции фитопланктона с последующим его отмиранием и поглощением большого количества растворенного в воде кислорода.

Что же произойдет с морями в будущем?

Рост промышленности, сельского хозяйства, населения городов необратим, следовательно, и водопотреб-

ление из рек увеличивается. Характер атмосферных процессов в будущем до конца не выяснен, поэтому и влияние перспективных естественных факторов на режим морей не определено. Значит ли это, что их гидрологический режим будет по-прежнему изменяться?

В условиях развитого социалистического общества безучастное отношение к окружающей среде, а следовательно, и к жизни миллионов людей в настоящее время и в будущем немислимо. Недаром в Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986 — 1990 годы и на период до 2000 года указано на необходимость охраны природы и ее рационального использования. С целью компенсации негативных последствий, которые влечет за собой увеличение изъятий речной воды, необходимо осуществить комплекс технически сложных и дорогостоящих водохозяйственных мероприятий.

В частности, в последнее время возродилась высказывавшаяся ранее идея переброски воды из Черного моря в Каспийское. Предполагается черноморскую воду сбрасывать прямо в приглубый район Среднего Каспия, чтобы не осолонить важнейшую рыбопродуктивную северную часть моря. Сейчас этот проект находится в стадии научных проработок.

Дополнительное водное питание Каспийского моря в лучшем случае позволит удержать его оптимальный уровень, в худшем — уменьшить скорость его падения. Между тем решение этой проблемы возможно и без пополнения водных запасов моря — посредством использования его внутренних ресурсов.

Существует проект отделения системой дамб северной, наиболее продуктивной части Каспийского моря, от остальной акватории. Реализация этого проекта позволила бы поднять уровень Северного Каспия почти на 2 метра, вернуть рыбе обширные нерестилища и места нагула, улучшить судоходные условия в каналах. Однако при этом возникает необходимость сооружения шлюзов, обеспечения миграции рыб, появляется опасность обмеления подходов к портам Среднего и Южного Каспия. Существует также проект отчленения всего восточного мелководного района Северного Каспия с тем, чтобы уменьшить расходы воды на испарение. В этом случае море сохранило бы почти 30 кубических километров воды в год, но потеряло бы богатые кормовые базы и места нереста рыб.

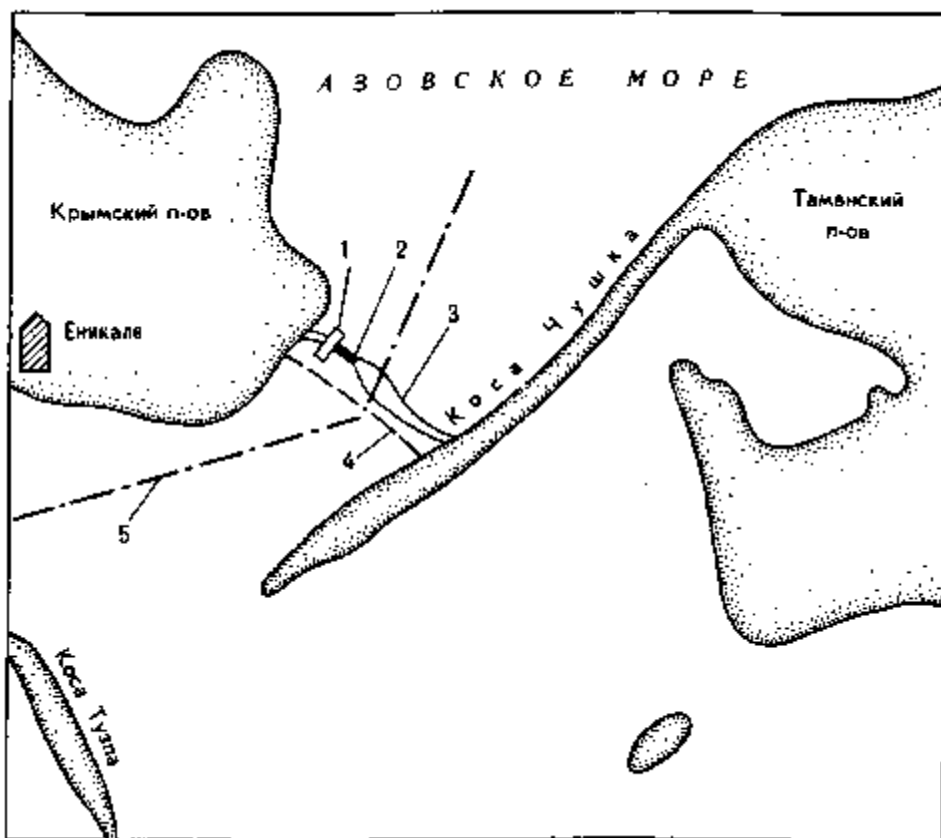


Рис. 27. Регулирующее сооружение в Керченском проливе (проект):
1 — судоходные шлюзы; 2 — водосливная плотина; 3 — насыпная плотина; 4 — паромная переправа; 5 — существующий судоходный канал

Весьма реально другое предложение: обваловать часть мелководий на востоке Северного Каспия, представляющих интенсивный испаритель. Учеными подсчитано, что при этом можно сохранить до 13 кубических километров воды в год, ныне теряющихся на испарение с мелководий и с временно заливаемых при нагонах низменных берегов.

Сокращению площади моря способствовало и перекрытие пролива Кара-Богаз-Гол. Однако нежелательная перспектива уменьшения запасов ценного минерального сырья — сульфата натрия заставила построить шлюз-регулятор, позволяющий ограничить приток каспийских вод в залив до количества, достаточного для

постоянного воспроизводства мирабилита.

Основным средством поддержания на требуемом уровне солености Азовского моря является переброска волжских вод. Уже строятся гидроузлы на нижнем Дону, составляется технический проект регулирующего сооружения в Керченском проливе. Строительство гидроузлов на Дону необходимо не только для создания уровня воды, достаточного для работы водозаборных устройств, но и для поддержания глубин, которые необходимы, чтобы могло осуществляться движение судов типа река — море. Для того чтобы восстановить, а затем поддерживать на оптимальном уровне соленость Азовского моря, требуется переброска такого количества воды, какое расходуется на орошение, то есть 15 — 20 кубических километров в год. Однако это весьма дорого.

Предложено регулировать водообмен между Азовским и Черным морями с тем, чтобы ограничить поступление в азовские воды более соленых черноморских вод. Судходство при этом будет осуществляться через шлюз-регулятор, размеры которого достаточны для того, чтобы пропускать самые крупные морские суда. Строительство Керченского гидроузла, кроме прочего (рис. 27), помогло бы решить транспортную проблему, а именно: напрямую связать железнодорожным и автомобильным сообщением крупные экономически развитые районы — Крым и Кубань.

Одновременно предполагается уменьшить обмен вод Таганрогского залива с морем для создания в заливе условий, способствующих развитию осетровых рыб. С этой целью предложено удлинить косу Долгую и сузить двадцатикилометровую ширину пролива до 3 километров.

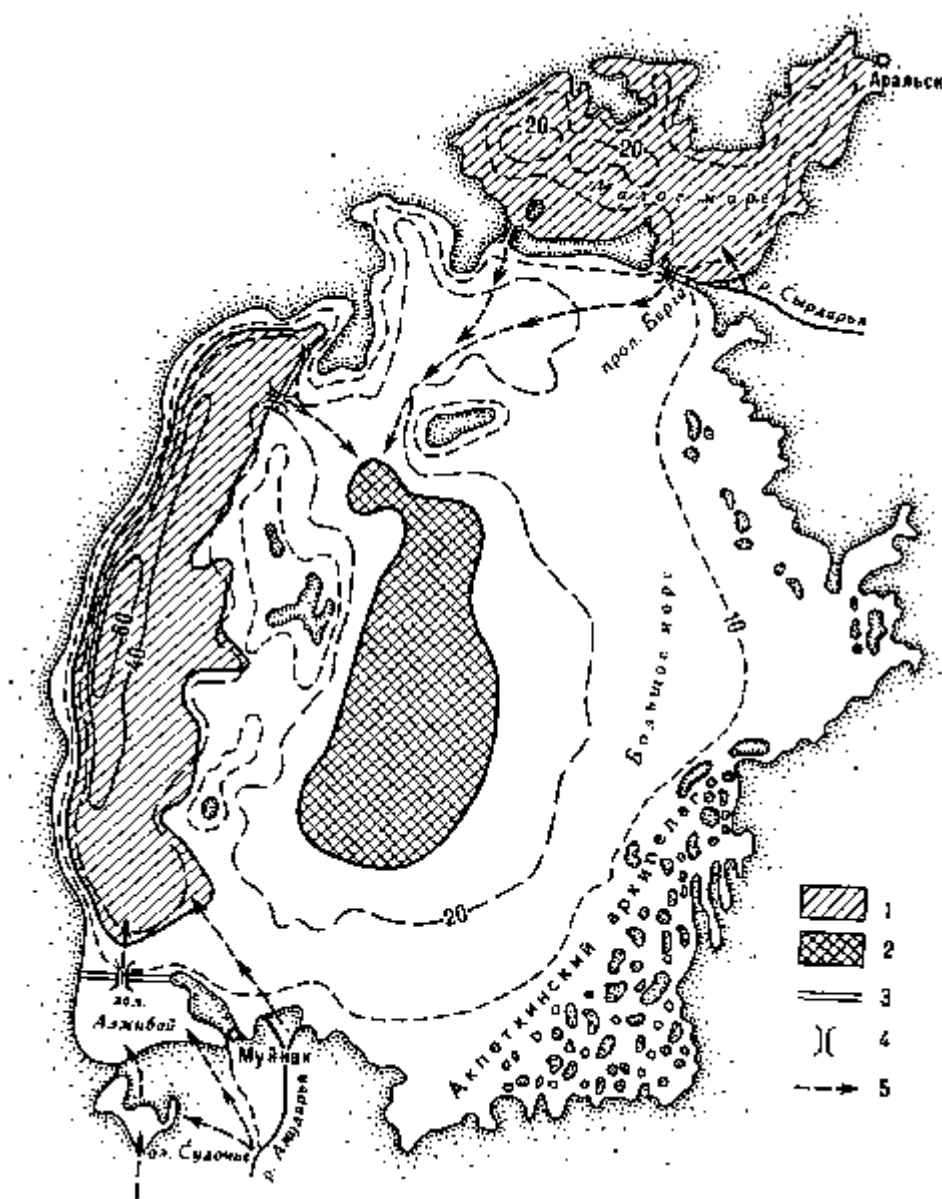


Рис. 28. Аральское море и схема его возможной реконструкции:

1 — сохраняемые части моря с управляемым режимом; 2 — нерегулируемая часть моря; 3 — плотины; 4 — промывно-сбросные сооружения; 5 — направление движения вод. Современная береговая линия проходит по изобате 10 метров

Проблема Аральского моря в условиях острого дефицита пресной воды в Средней Азии реально может быть решена путем уменьшения потери воды на испарении, что достигается отчленением отдельных частей моря и сохранением их для транспортных, рыбохозяйственных и рекреационных целей.

Так, есть предложение об отчленении Малого моря путем перекрытия пролива Берга (рис. 28). Это позволит регулировать соленость и уровень Малого моря и сохранить его как рыбохозяйственный водоем. Если же не сохранять Малое море, то, перекрыв пролив между глубоководной западной и мелководной восточной его частями дамбой с водосливами, можно поддерживать благоприятные условия в одной из этих отделенных частей (в зависимости от того, какой вариант будет признан более целесообразным). Не исключено, что со временем Аральское море будет представлять собой не единый водоем, а ряд связанных водоемов — каждый с собственной соленостью, водным и биологическим режимами.

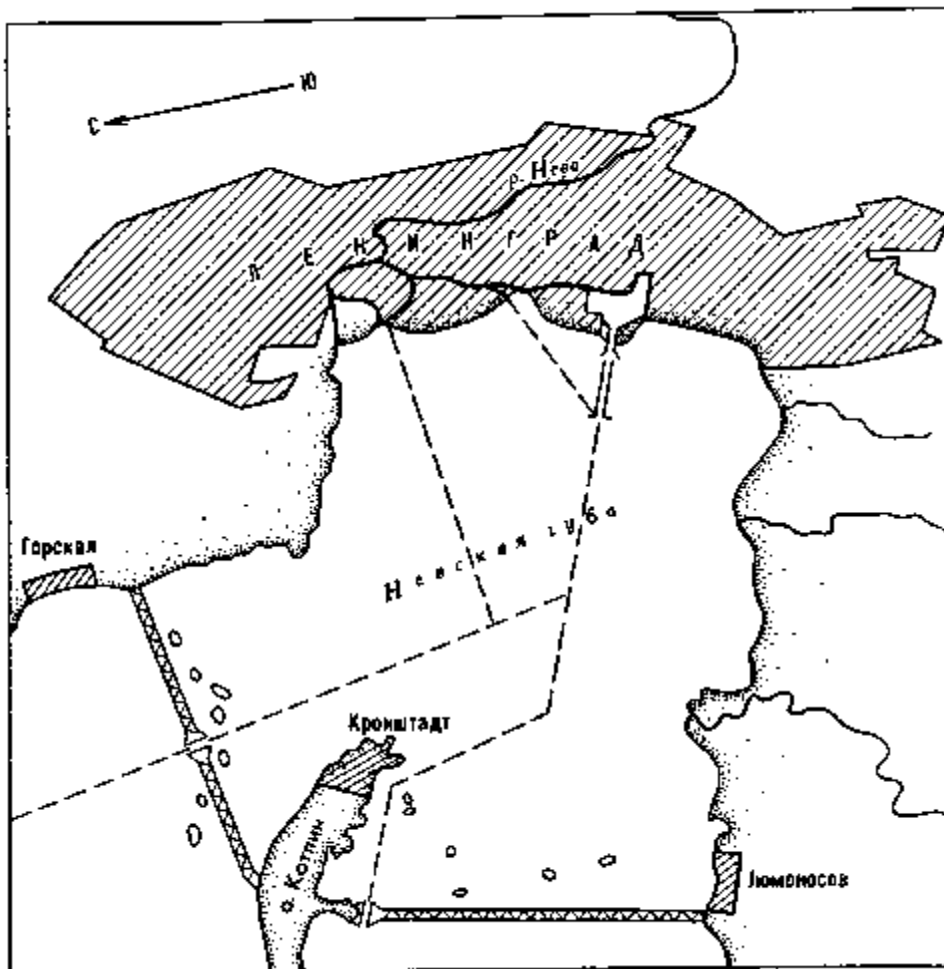


Рис. 29. Схема защитных сооружений Ленинграда

Для Черного моря все возрастающее изъятие пресной воды (а к 2000 году водоизъятия могут возрасти до 100 кубических километров в год) ослабит естественный барьер в Босфоре, который препятствует интенсивному поступлению соленых средиземноморских вод. Их приток будет увеличиваться, из-за чего соленость моря будет расти. Это может привести к изменению сложившегося вертикального распределения вод в Черном море.

Для предотвращения влияния изъятий пресных вод на гидрологию моря и рыбное хозяйство устьевых областей рек Днепра, Днестра и Дуная запланировано построить регулирующие сооружения в Днестровском и Днепробугском лиманах и каналом Дунай — Днепр связать воедино все водные артерии юга Украины. Естественно, что условия судоходства в этих местах будут определяться режимом работы шлюзов-регуляторов, рассчитанных на пропуск судов, традиционных для этих трасс.

Что касается Балтики, то существенных антропогенных изменений стока рек бассейна моря не ожидается. Предполагается лишь путем увеличения строительства очистных сооружений улучшить качество речных вод, снизить содержание в них биогенов, органических продуктов и тем самым уменьшить эвтрофикацию Балтийского моря.

Иную цель имеет строительство такого крупного гидротехнического сооружения, как дамбы, отделяющей Невскую губу от остальной части Финского залива. Дамба должна защищать от наводнений Ленинград. Сейчас развитие и перемещение циклонов, атмосферных фронтов над Балтийским морем вызывают деформационные колебания уровня воды, которые в Финском заливе усиливаются ветровым нагоном. В устье Невы этот подъем уровня воды увеличивается и вследствие стока реки. В итоге уровень Невы в Ленинграде нередко повышается

на 3 — 4 метра.

Защитные сооружения отгородят от Финского залива акваторию площадью 400 квадратных километров (рис. 29). В их состав Б.ХОДЯТ каменно-земляная дамба общей длиной 23,4 километра, ряд водопропускных секций, каждая из которых включает в себя 10 — 12 водосливных пролетов шириной 24 метра каждый и два судопропускных сооружения. Вдоль всех сооружений пройдет волнозащитная железобетонная стенка, высота которой на 8 метров выше среднего уровня воды. По гребню дамбы и по постам над водосливными пролетами будет проложена автомобильная дорога, которая свяжет приморские шоссе на северном и южном берегах Невской губы, укоротит путь мимо Ленинграда, даст сухопутную связь Кронштадту с материком. На острове Котлин автомагистраль пройдет западнее границы перспективной застройки Кронштадта.

Исторически сложившиеся условия судоходства в Финском заливе, Невской губе и на Неве определили основные судоходные трассы, которые в мелководной Невской губе закреплены морскими каналами. Сейчас проход судов от торгового порта до Финского залива осуществляется через Южные ворота Невской губы, где морской канал проходит вблизи острова Котлин. Речные суда и суда смешанного река — море плавания проходят через Северные ворота.

После строительства защитных сооружений новая судоходная трасса пройдет через Южные ворота губы между существующим морским каналом и фортом Константин с соблюдением всех требований безопасности судоходства. В Северных воротах судопропускное сооружение расположится на существующем канале. Хотя основное время судоходные сооружения будут открыты (предполагается их закрывать лишь при подходе нагонной волны), условия судоходства в Невской губе существенно изменятся. Иными станут также условия образования и таяния льда, что отразится на характере зимней навигации.

Таким образом, существующие и будущие антропогенные преобразования режима внутренних и некоторых окраинных морей Советского Союза повлекут за собой коренную перестройку условий плавания. Изменятся глубины отдельных районов, фарватеры, появятся новые судопропускные сооружения. Навигация еще более усложнится — таков естественный путь ее развития.

ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И МОРЕПЛАВАНИЕ В ОТКРЫТОМ МОРЕ

НЕПОСТОЯНСТВО ПОСТОЯННЫХ ТЕЧЕНИЙ

В последние десятилетия изменились старые представления о Гольфстриме, как о «реке в океане». В верхних слоях Гольфстрим представляет собой сложную систему струйных течений и круговоротов. Течение живо реагирует на изменения гидрологических процессов если не всего Атлантического океана, то по крайней мере большей части его.

Человек и стихия, 1973 год

Летом 1513 года флотилия испанского конкистадора Понсе де Леона стояла на якоре вблизи южной оконечности полуострова Флорида. Был полный штиль. Казалось, ничто не предвещало опасности. Вдруг какая-то сила сорвала с якоря один из кораблей и потащила его в открытый океан. По флотилии объявили аврал. Суда поспешили вслед удаляющемуся кораблю. При штиле лишь через несколько часов удалось настичь беглеца. И тут-то моряки заметили, что они плывут среди воды удивительного темно-синего цвета, которая резко отличается от зелено-голубоватой океанской.

Так было открыто одно из крупнейших течений Атлантики и всего Мирового океана. Позднее оно получило название Гольфстрим, то есть «река залива», поскольку основная его ветвь выходит из Мексиканского залива и, подобно могучей реке, наискось пересекает Атлантику, достигая побережья Норвегии. Расход воды в «русле» течения составляет примерно 70 миллионов кубометров в секунду — в 50 раз больше, чем расход всех рек земного шара. Естественно, что такой поток издавна привлекал внимание мореплавателей, пытавшихся понять его причину и использовать его в своих целях.

В начале XVIII столетия генеральный почтмейстер британских колоний в Америке Бенджамин Франклин обратил внимание на то, что английские пакетботы доставляют почту из Европы в Новый Свет с большим опозданием. Дело заключалось в том, что капитаны пакетботов не желали слушать американских китобоев, которые советовали избегать сильного встречного течения у берегов Америки. Тогда Франклин, успешно совмещавший руководство почтовым ведомством тринадцати североамериканских колоний с изучением физических и природных явлений, обратился к рыбакам и китобоям. По его просьбе известный в те времена капитан Фольджер из Нанкета, регулярно промышлявший китов вблизи берегов Гренландии и хорошо знавший Северную Атлантику, составил карту течения. Сопоставив эту карту с донесениями с других судов, Франклин сумел проследить особенности струи на большей части океана и в 1770 году опубликовал генеральную схему Гольфстрима.

На этой схеме Гольфстрим, берущий начало из Мексиканского залива, обгибал полуостров Флорида, прижимаясь к восточному берегу Северной Америки, достигал мыса Хаттерас и круто поворачивал на северо-восток в

открытый океан. На всем своем протяжении, вплоть до центральной части Северной Атлантики, Гольфстрим изображался как непрерывный поток, своего рода река в жидких берегах. Таким он представлялся на морских картах до самого последнего времени.

В виде сплошных струй показаны и другие постоянные течения Мирового океана.

Представление о циркуляции вод в океане как о движении постоянных потоков сложилось на основании изучения обрывочных данных о сносе судов. Эти сведения обобщались и осреднялись за длительные промежутки времени — вплоть до десятилетий, что в итоге дало возможность выявить крупные циркуляционные системы в океане и изучить картину переноса поверхностных вод.

Более детальные исследования течений в Мировом океане начали проводиться после того, как океанологи стали понимать влияние неравномерности распределения солнечной энергии на поверхности Земли. Наша планета получает и поглощает теплоту неравномерно: ее поступление в низких широтах больше, чем в высоких, ее поглощение поверхностью суши отличается от поглощения поверхностью океана.

Все это создает неравномерность в распределении плотности океанской воды, способствует возникновению и движению атмосферных образований, циклонов, пассатных и муссонных ветров. Этот мощный природный механизм дает импульс водным массам и постоянно снабжает их энергией, необходимой для движения. Это перемещение водных масс зависит, кроме того, от отклоняющей сил вращения Земли (изменяющейся по значению от экватора к полюсу), очертания берегов океана, рельефа дна.

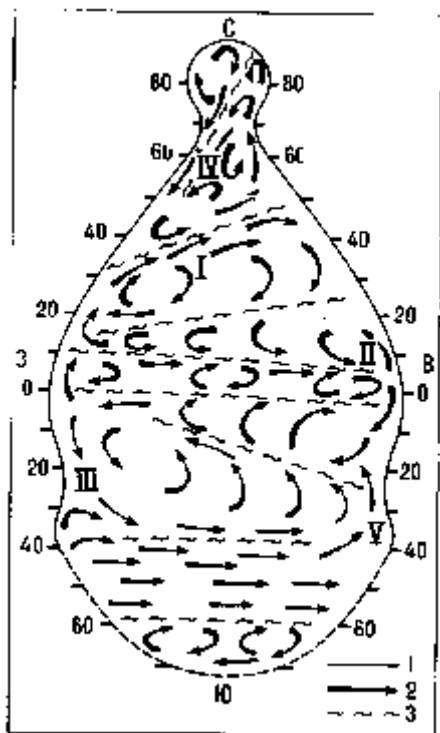


Рис. 30. Схема циркуляции вод океана:

1 — береговая линия, ограничивающая площадь Мирового океана, занимаемую им на данной географической широте; 2 — направления основных потоков; 3 — главные океанические фронты

Совокупность всех действующих сил и создает сложную картину движения водных масс в океане. Для того чтобы охарактеризовать основные потоки в океане, учеными была разработана схема идеального океана, отражающая его основные размеры в широтном и меридиональном направлениях (рис. 30). При этом наглядно отразились: вытянутость океанов по меридиану; наибольшая ширина океанов в тропиках; сближение океанских берегов к северу; наличие сплошного водного кольца между 35 — 40° южной широты и Антарктидой. Расчеты течений проводились с помощью метода, учитывающего разность плотностей вод, действие ветра, влияние рельефа дна. Полученная в итоге картина отражает особенности поверхностных океанских течений.

На всей акватории от 60 — 70° северной широты до 35 — 40° южной воды переносятся в широтном направлении: с востока на запад в тропиках и с запада на восток в умеренных широтах. При встрече с берегами материков потоки разветвляются и создают круговое обращение вод. На экваторе формируется система антициклонических круговоротов, которая связывает обращение вод северного и южного полушарий. На всем пространстве между 35 — 40° южной широты и Антарктидой нет сколько-нибудь значительных массивов суши. Здесь господствуют сильные и устойчивые западные ветры, которые приводят к интенсивному переносу вод в восточном направлении. Создается самое мощное во всем Мировом океане циркуляционное течение, соединяющее обращение вод трех океанов. В арктическом бассейне в соответствии с особенностями его конфигурации и наличием полярного центра высокого давления в атмосфере образуется своя циркуляционная система.

Таким образом, круговорот вод в отдельных районах Мирового океана является неотъемлемой частью движения вод, естественным процессом, замыкающим их потоки.

Скорость поверхностных течений в соответствии с интенсивностью и устойчивостью ветров в целом повыша-

ется в направлении от полюсов к экватору. Такая картина постоянных поверхностных течений, полученная расчетным путем для идеального океана, очень схожа с картиной реальных потоков в Атлантическом и Тихом океанах. Здесь можно проследить теплые течения Гольфстрим и Куроисио I (см. рис. 30), Зеленого Мыса и Мексиканское II, Бразильское и Во-восточноавстралийское III, холодные Лабрадорское и Алеутское IV, Бенгальское и Перуанское V. Исключение составляет Индийский океан, где «отсутствие» северной части приводит к тому, что перенос вод осуществляется в основном в широтном направлении.

При большом различии факторов, определяющих движение вод во внутренних морях, здесь также наблюдаются кольцеобразные течения, однако циркуляционные системы морей отличаются значительным разнообразием и сложностью. К тому же они менее устойчивы (их изменчивость связана с переменной ветра). При относительно ограниченных размерах морей даже сравнительно небольшое изменение преобладающих ветров приводит к существенной перестройке общей системы обращения вод. В морях северного полушария (Черном, Каспийском, Балтийском, Охотском) наблюдается циклоническое (против часовой стрелки) вращение вод. Однако в Аральском море преобладает антициклонический круговорот, что объясняется особенностями ветрового режима бассейна.

На фоне выявленных общих закономерностей циркуляции вод в океане заметны отклонения, связанные с местными условиями и внутригодовой изменчивостью. В 30-х годах были установлены сезонные колебания Гольфстрима, однако общего представления о пространственной стабильности течений это открытие не поколебало.

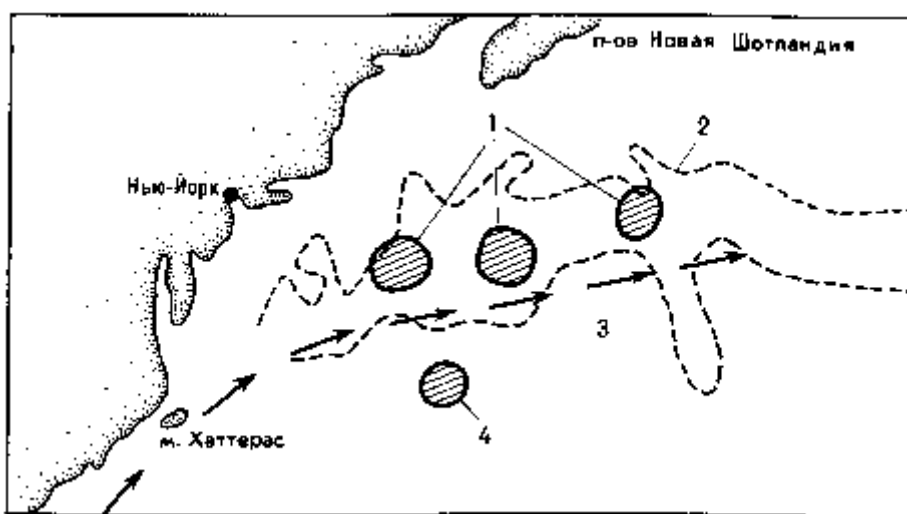


Рис. 31. Фактическое положение основной струи Гольфстрима в конце апреля — начале мая 1975 года по данным судовой и авиатемпературной съемки:

1 — антициклонические вихри (по часовой стрелке); 2 — фактические границы основного потока; 3 — среднее положение максимума течения в апреле; 4 — циклонические вихри (против часовой стрелки)

В конце 40-х — начале 50-х годов изобретены электромагнитные измерители течений, разработаны приборы, позволяющие измерять тепловое излучение поверхности моря с низко летящего самолета. Новая техника позволила рисовать почти «мгновенные» картины всего течения. Развитие расчетных методов дало возможность оценить влияние изменений поступления солнечной радиации к поверхности Земли и ветровой активности от сезона к сезону. Были построены расчетные карты поверхностных течений Мирового океана для всех четырех сезонов, которые неплохо совпадали с результатами имеющихся наблюдений.

Было установлено, что все основные известные круговороты и течения океана существуют во все сезоны. Однако они различаются по пространственному положению и скоростям. Так, зимой в Атлантическом океане круговороты тропической и экваториальной зон имеют гораздо большую протяженность (от Африки до Южной Америки), а северный тропический циклонический круговорот располагается значительно севернее (на 10° северной широты). В летний сезон в Атлантике заметно усиливается Мексиканское течение. Увеличивается как ширина и протяженность потока (зимой он просматривается к востоку от 20° западной долготы, летом — на 40° западной долготы), так и скорость течений (от 50 сантиметров в секунду зимой до 70 сантиметров в секунду летом). Усиливается также Северное Пассатное и особенно Канарское течение, струи которого в летний сезон проникают в Гвинейский залив, подпитывая Гвинейское течение. Более мощным становится и Южное Пассатное течение, что особенно заметно в восточной части океана вблизи экватора.

Похожие изменения течений происходят и в Тихом океане.

Использование новых приборов и технических средств — авиационных и космических — позволило глубже изучить структуру крупных океанских течений. В частности, выяснилось, что эти потоки представляют собой далеко не «реку в жидких берегах», как думали раньше. Оказалось, что течения состоят из ряда перемежающихся струй, движущихся с различной скоростью. В потоке Гольфстрима была измерена скорость:

она составила 2,7 метра в секунду, или 5,2 узла. Это самое сильное течение, измеренное в открытом океане. Кроме того, обнаружилось, что по обеим сторонам основного потока имеются узкие противотечения, но со стороны океана противотечение более устойчиво и скорости здесь могут достигать 2 узлов.

Выяснилась и еще одна интересная особенность Гольфстрима в западной части Атлантики. Отрываясь от мыса Хаттерас, Гольфстрим течет узким потоком, который изгибается в пространстве, образуя излучины (подобно речным меандрам). Меандры, увеличиваясь в размерах, перемещаются вместе с течением, а иногда отрываются от него и движутся самостоятельно.

Оторвавшиеся меандры образуют вихри. Слева от генерального потока вихри вращаются по часовой стрелке, справа — против. Скорость течения в этих завихрениях составляет 0,3 — 2,0 узла (рис. 31). При этом внутри Циклонических вихрей, проникающих в область теплого океана к югу от основной ветви течения, вода холодная, а внутри антициклонов, вторгающихся в холодную область к северу от течений, — теплая.

Наблюдения последних лет показали, что, например, в поле Гольфстрима образуются по пять — восемь пар циклонов и антициклонов в год. Особенно хорошо развитые циклоны Гольфстрима имеют диаметр до 200 километров и захватывают слой водных масс почти до ложа океана (2500 — 3000 метров). Циклоны Гольфстрима дрейфуют в основном на юго-запад со скоростью до 3 миль в сутки.

Наблюдения показывают, что этот дрейф не просто перенос движения: вихрь «тащит» с собой всю составляющую его водную массу. Отдельные циклоны Гольфстрима живут два года и более, постепенно теряя свою энергию в результате перемешивания с окружающей водой, и могут отходить от Гольфстрима на расстояние свыше 1000 километров. Как правило, эти циклоны исчезают около восточного берега полуострова Флорида.

Антициклонические кольца, отделяющиеся от Гольфстрима с северной стороны, обычно смещаются на запад-юго-запад со скоростью до 3 миль в сутки. Каждое кольцо существует около года, по истечении этого времени вихревая система, достигая мыса Хаттерас, снова вливается в Гольфстрим. Однако отдельные вихри движутся на юго-восток и, пересекая основную ветвь Гольфстрима, попадают в Саргассово море. При этом температура воды в центре этих образований уже ниже температуры окружающих теплых океанских вод.

В последнее время кольцеобразные течения обнаружены и в других акваториях. Океанологи Советского Союза и Японии исследуют их в районе течения Куроисио, полагая, что они должны определять погоду в этом районе и воздействовать на биологические процессы, важные для рыболовства. Отмечено, что биологические сообщества в кольцеобразных течениях весьма своеобразны по сравнению с сообществами в соседних областях океана.

Циркумполярное течение, движущееся вокруг Антарктиды, оказалось, также порождает кольцеобразные независимые холодные системы. Однако их размеры уступают тем, что наблюдаются вблизи Гольфстрима. Например, обнаруженное кольцевое течение южнее мыса Горн имеет диаметр примерно 50 миль, а скорость движения воды составляет приблизительно 2 узла. Специалисты объясняют это тем, что скорость самого Циркумполярного течения меньше, чем скорость Гольфстрима.

Очевидно, кольцеобразные крупномасштабные течения свойственны всем районам Мирового океана, где есть мощные потоки водных масс. Природа их образования до конца не выяснена. Одни океанологи предполагают, что толчок к началу процесса образования петель Гольфстрима дает ветер вблизи восточных берегов Америки. Другие связывают меандрирование течения с разницей плотности вод основного потока Гольфстрима и окружающих водных масс Атлантики. Существует еще несколько точек зрения на причины этого явления. Но в любом случае очевидно, что понятие «постоянные течения в океане» весьма относительно: потоки водных масс, как и потоки в атмосфере, обладают неустойчивостью, только гораздо большей.

Это стало еще более ясно после анализа результатов экспериментов, проведенных в Атлантическом океане океанологами СССР и США в 70-х годах. В этих экспериментах, получивших названия Полигон-70, Моде-73, Полимоде-77, проводились длительные (до года) наблюдения за течениями на различных глубинах в сотнях точек тропической Атлантики в районе Бермудских островов. Такое одновременное измерение течений на большой акватории океана позволило обнаружить мощные вихреобразные возмущения в поле скорости течения, перемещавшиеся через область наблюдений.

Эти вихри имеют в поперечнике приблизительно 200 километров, проникают в океан на значительную глубину, и скорость их перемещения на запад составляет 2 — 6 километров в сутки. Однако в отличие от фронтальных вихрей Гольфстрима, возникающих при меандрировании основной струи, вновь обнаруженные вихри составляют сплошное поле располагающихся примерно в шахматном порядке циклонов и антициклонов. При этом два соседних вихря имеют общую область максимальных скоростей течений, а поступательное движение вихря осуществляется не посредством переноса самих водных масс (как это наблюдается у фронтальных вихрей), а путем перемещения вихреобразного возмущения поля скорости. При этом сами частицы остаются на месте.

Такие вихревые движения получили название синоптических вихрей открытого океана. Это название указывает на их подобие перемещающимся атмосферным циклонам и антициклонам. Как и атмосферные образования, синоптические вихри — типичное природное явление Мирового океана. Они были обнаружены в экваториальной зоне Тихого океана, в Тихом и Индийском океанах к востоку и западу от Австралии, в районе Гавайских островов, в проливе Дрейка, в Арктическом бассейне, вблизи южной оконечности Африки и в ряде других районов океана.

Как и атмосферные образования, синоптические вихри океана ведут свое происхождение от неустойчивости крупномасштабных течений. Потоки воздуха в атмосфере и потоки воды в океане обладают некоторым

«излишком» энергии по сравнению с той, которая необходима для их движения. Этот избыток энергии при движении потока в переслоенной среде (плотность воды или воздуха неодинакова по горизонтали и по вертикали) под влиянием сил Кориолиса и в результате неустойчивости движения дает толчок образованию волнообразных синоптических вихрей. Он же их «подпитывает». Синоптические вихри в атмосфере существуют примерно неделю, постепенно распадаясь. Вихри в океане живут значительно дольше (плотность воды гораздо больше плотности воздуха) — до нескольких месяцев и играют в его жизни существенную роль.

Открытие синоптических вихрей имеет большое значение для понимания и объяснения многих крупномасштабных явлений в океане. С участием вихрей происходят переносы веществ и энергии в океане. Без их изучения невозможно понимание физики океанской циркуляции, а значит, и создание достаточно близкой к природе физической модели крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана. Такая модель в свою очередь необходима для создания надежных методов долгосрочного прогноза погоды.

Распространение звука в океане существенно зависит от распределения в нем плотности воды, что во многом определяется расположением и перемещением циклонических и антициклонических вихрей. В центральных частях циклонических вихрей наблюдается апвеллинг, и эти области характеризуются значительно большей биологической продуктивностью.

Наконец, система циркуляции синоптических вихрей и есть то реальное поле течений, которое воздействует на находящееся в океане судно. Отсюда ясна важность исследования вихрей для океанской навигации. Проходя районы с постоянными течениями, нанесенными на гидрометеорологические карты, судоводители должны знать, что вследствие изменчивости направлений и скоростей течений фактический снос судна на течении может сильно отличаться от предполагаемого.

К сожалению, фронтальные и синоптические вихри еще слабо изучены, и методов прогноза их образования и перемещения пока не разработано.

ТРОПИЧЕСКИЕ УРАГАНЫ

Первый удар полной силы. Дом разваливается. Я взглянул на барометр, который показывал 674,5 мм, уронил его в воду, и меня выдуло ветром наружу, в море.

...Я пришел в себя на дереве и увидел, что застрял в ветвях пальмы на высоте 20 футов над землей.

Дж. Лузин. Ураган 2 сентября 1935 г. в Лонг Кей, Флорида

«Вы легко можете представить мое удивление, огорчение,... когда я увидел ужасающее положение острова Барбадос и разрушающую силу урагана. Крепчайшие здания и целые кварталы домов, большинство которых было из камня и отличалось своей солидностью, уступали ярости ветра и были сорваны до основания. Целые форты на крепости были уничтожены, и многие тяжелые пушки перенесены с них более чем на 100 футов. Если бы я сам не видел это, ничто не заставило бы меня поверить этому. Более шести тысяч людей погибло, и все жилища были полностью разрушены». К этому свидетельству адмирала Роднея, бывшего в то время командующим английским флотом и очевидца «Великого урагана» в Вест-Индии в 1780 году, можно добавить лишь то, что общее число человеческих жертв тогда составило более двадцати ты- сяч. Десятки судов со всем экипажем пошли ко дну, полностью были опустошены острова Барбадос, Сент-Люсия, Доминика, Сент-Винсент, Пуэрто-Рико.

В некоторых тропических областях земного шара жители островов и прибрежий временами терпят страшные бедствия, причиняемые циклонами небольшого диаметра, скорость ветра в которых в отдельных случаях превышает 120 метров в секунду, а количество осадков, выпадающих за сутки, достигает 1000 — 12000 миллиметров.

Все циклоны, зарождающиеся в тропиках, можно подразделить на четыре группы:

тропическое возмущение — область слабой циклонической циркуляции;

тропическая депрессия — слабый тропический циклон с явно выраженной приземной циркуляцией; наибольшая скорость установившегося ветра не превышает 12,5 метра в секунду;

тропический шторм — циклон, наибольшая скорость установившегося ветра в котором достигает 33 метров в секунду;

тропический ураган — циклон, скорость ветра в котором превышает 33 метра в секунду.

В Японии тропические ураганы называют «тайфунами», на Филиппинах — «бэвгиз», в Австралии — «вилли-вилли». Все эти названия в переводе на русский язык означают «большой ветер» или «сильный ветер».

Существует несколько теорий возникновения тропических ураганов.

Согласно конвективной теории ураганы возникают благодаря развитию интенсивных конвективных вертикальных токов воздуха над наиболее нагретыми частями океана, удаленными от экватора на такое расстояние, при котором отклоняющая сила вращения Земли способна сообщить вихревое движение массам воздуха. Часто возникающая в этих районах неустойчивая термическая стратификация атмосферы способствует интенсивному подъему воздуха, пересыщенного водяным паром. В момент конденсации пара выделяется огромное количество скрытой теплоты парообразования, которая переходит в кинетическую энергию циклона.

В центральной части циклона под действием центробежного выбрасывания воздуха при малом его притоке в

приземном слое давление быстро падает. Первоначально слабая депрессия атмосферного давления углубляется, и уже через несколько дней мощный циклон начинает двигаться к западу, все более увеличивая свою глубину и скорость движения. Возрастает и сила ветра в нем. Циклон развивается в тропический ураган.

Согласно же фронтальной теории возникновение ураганов объясняется взаимодействием воздушных масс северного и южного полушарий на тропическом фронте в зоне встречи пассатов. Здесь вследствие интенсивного нагрева поверхности океана наблюдается значительный контраст температур нижних и верхних слоев атмосферы, что создает большую неустойчивость воздушных масс.

И, наконец, теория восточной волны объясняет зарождение ураганов прохождением длинной (до 2000 километров протяженностью) волны атмосферного давления. Эта волна, перемещаясь с востока на запад, теряет свою устойчивость и превращается в вихрь.

Но так или иначе, в развитии любого циклона до интенсивности тропического урагана прослеживаются четыре стадии:

формирование — неустойчивая погода, шквалистые ветры различных направлений; намечается центр циклона, сила ветра не превышает 7 баллов;

молодой циклон — дальнейшее падение давления, образование вокруг центра пояса ураганных ветров, в центре погода со слабым ветром или штилем («глаз урагана»);

зрелый ураган — прекращение падения давления и усиления ветра; площадь, занятая ураганом, увеличивается до максимума; симметрия урагана нарушается, плохая погода в правой его половине на большей площади, чем в левой;

разрушение урагана — как правило, после поворота урагана через полярный курс к востоку. Его интенсивность ослабевает, «глаз урагана» исчезает и ураган принимает черты обычного нетропического циклона. Точно так же ураганы затухают и при переходе на сушу, когда прекращается приток влаги и увеличивается трение воздуха о подстилающую поверхность.

Средняя продолжительность существования тропического урагана колеблется от 6 до 9 дней. Наиболее долго существуют ураганы, зарождающиеся вблизи берегов Африки и в районе островов Зеленого Мыса, дважды пересекающие Атлантический океан и уходящие далеко на север. Их длительность составляет 3 или 4 недели. Иногда тропические ураганы переходят в обычные циклоны, и тогда длительность их существования громадна.

Так, ураган 1900 года, погубивший 8 сентября в Галвестоне (США) 6000 человек, начался 27 августа в середине Атлантики, пересек Карибское море, Мексиканский залив и ушел в глубь континента. В районе Великих Озер он преобразовался в обычный ураган, но, сохраняя силу, пересек Северную Америку, Атлантический океан, Европу и ушел далеко в Сибирь. Время существования этого урагана равнялось 27 дням.

У поверхности земли ураган обычно представляет собой почти круговую область штормовых и ураганных ветров диаметром до 500, а в отдельных случаях — до 1000 километров. Наибольшая скорость ветра, иногда превышающая 80 метров в секунду, встречается в кольце на расстоянии 30 километров от центра низкого давления. Однако в некоторых случаях разрушительные ветры охватывают и более широкую зону. Для Тихого океана средние размеры зон разрушения, сопровождающих тайфун, достигают 40 — 80 километров при общих размерах урагана до 1500 километров.

Скорость поступательного движения ураганов и тайфунов весьма различна. Иногда они стоят на месте, правда, недолго или движутся со скоростью нескольких километров в час. Скорость 50 — 60 километров в час можно считать средней, максимальное продвижение составляет 150 — 200 километров в час.

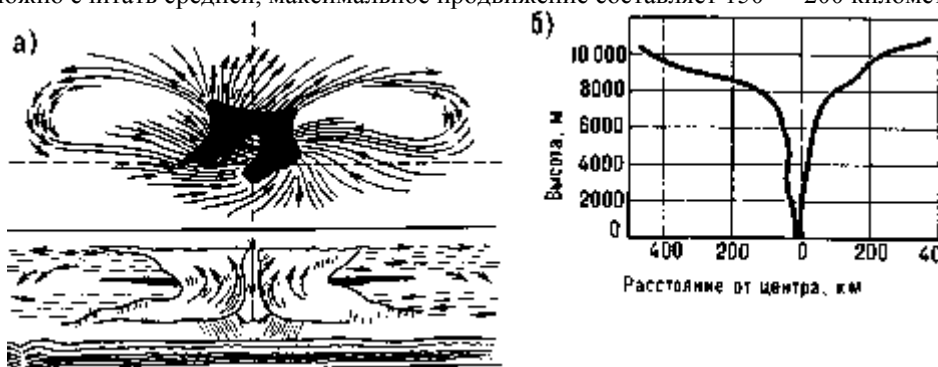


Рис. 32. Схема строения тропического урагана

Скорость вихревых ветров внутри урагана, особенно в его стенках, значительно больше. К сожалению, инструментально измерить ее не удастся: при ветрах скоростью 50 — 60 метров в секунду все измерительные приборы ломаются. По произведенным разрушениям среднюю скорость ветра в урагане можно оценить значением 70 — 80 метров в секунду, а в исключительных случаях — 200 метров в секунду.

Удивительной особенностью тропических вихрей является высокая воронка (до 10 — 14 километров) с крутыми боками, вращающимися с громадной скоростью. На рис. 32,а наверху схематически показаны направления вращения воздуха, посередине дан разрез урагана с хорошо видной центральной воронкой («глазом бури»), движение воздуха в которой направлено книзу. На рис. 32,б дан разрез воронки урагана, наблюдавшегося в 1882 году в Маниле. До высоты 8 километров бока у воронки весьма крутые, выше — более пологие. Ширина воронки у земли составляет примерно 20 километров, на высоте 6000 метров — 100

километров. Воронка открывается сверху, почти безоблачна, и ветров в ней нет или они очень слабые. Зато стенки воронки представляют собой зону наиболее сильного вращения, наиболее сильных ветров. Они по существу и представляют собой то, что мы называем ураганом. За пределами стенок ветер хотя и сохраняется, но скорость его резко падает — ураган проходит. Уменьшается и высота грозового облака.

Вот как живописно рассказывает о центральной части тайфуна наблюдатель с самолета, пересекающего ураган: «Мы находимся в стене тайфуна, в зоне максимальных ветров, в зоне конвергенции — сходимости воздушных потоков, где скомканные, косые, сдавленные ветры безумно рвутся к гигантской воронке депрессии и не могут преодолеть таинственную границу стены.

И вдруг, когда кажется, что «Боинг» захвачен последним взрывом безумия стихий, наступает внезапная тишина.

Это глаз,

Это зона самого низкого давления, и температура самая высокая...

Это пропасть, бездна в атмосфере, куда, словно на призыв пророка, устремляются фантастические орды миллионов кубометров воздуха, снесаемые нетерпением и головокружением, отягченные жарой, завывающие и кружащиеся, поднимающие океан в волнах и пене, словно дорожную пыль, отбрасываемые назад, сталкивающиеся с другими толпами, охваченными тем же мистическим безумием материи...

Вокруг тянется стена, крепость, которую словно возвели, чтобы сделать нас пленниками этой полной магического очарования страны...»

А вот выдержка из книги П. А. Молэна «Охотники за тайфунами» (1967 год):

«Не следует думать, что тайфун четко разграничен, что он выглядит, как вертящийся и растирающий землю в порошок мельничный жернов или как вращающаяся колонна. У него нет отчетливых границ — это масса со смутными очертаниями высотой в два раза выше Эвереста, с кратером в центре, которого никогда не может позабить тот, кто видел его хоть один раз. Это мир неистовых сил, мир неотвратимой гибели, мир с энергией, равной энергии трех атомных бомб в секунду».

И действительно, энергия тропических ураганов огромна. Подсчеты ученых показали, что в пределах среднего по размерам урагана ежедневно выделяется до 16 триллионов киловатт-часов энергии. Этой энергии достаточно для снабжения электричеством всей территории США в течение полугода. Интересно сравнение энергии урагана с энергией атомной бомбы. Установлено, что кинетической энергии среднего урагана соответствует энергия примерно тысячи атомных бомб, подобных сброшенной на Нагасаки. Небольшая буря с дождем освобождает энергию, эквивалентную энергии трех атомных бомб в секунду. Большой ураган ежедневно расходует энергию, равную энергии взрыва 13 тысяч мегатонных ядерных бомб. И основным источником этой энергии является освобождение теплоты при конденсации водяного пара!

Естественно, при такой громадной энергии и такой огромной скорости ветра волнение на поверхности моря достигает катастрофических величин: известны случаи наблюдения волн высотой более 20 метров.

В центре циклона — в «глазе бури» — при ветровом затишье образуется сильная толча, представляющая для судов опасность, не меньшую, чем волнение на периферии урагана.

Более четырех тысяч лет на различных судах и плавучих средствах человек выходит в океан. И каждый год люди испытывают на себе гигантскую силу ураганов, каждый год гибнут десятки судов самых различных типов и размеров. Сколько всего судов не выдержало страшного давления несущихся с огромной скоростью воздушных масс и разрушающих волн, мы не узнаем никогда.

Но вот лишь несколько ярких примеров.

Упомянутый «Великий ураган» 1780 года на Антильских островах застал врасплох английский и французский флоты. У одних только французов погибло 40 судов, на которых, кроме экипажей, находилось несколько тысяч солдат. Это век XVIII.

Но и в наш XX век, когда размеры судов позволяют им выдержать любой шторм, а скорость дает возможность избежать встречи с ураганом, недостаточное внимание судоводителей к шторму грозит жестокой расплатой.

В конце второй мировой войны командующий американским флотом, сконцентрировавшимся у берегов Японии, не придавал значения предупреждениям синоптиков о приближающемся тайфуне. В итоге два миноносца и несколько более мелких судов вместе с экипажами пошли ко дну. Ряд крупных судов получил серьезные повреждения. Флот был разбросан по океану. Военная операция сорвалась.

Но ураган страшен не только в открытом море. При его выходе на сушу с моря на берег обрушиваются громадные волны. Вступая в мелководье, ураган оказывает на воду чрезвычайно сильное давление, буквально выжимая ее перед собой. Образуется длинный водяной вал, который движется с большой скоростью перед ураганом и с меньшей — по его сторонам. Передняя волна сопровождается ветрами, ливнями, грозами. Боковые волны уходят в стороны от урагана и иногда обрушиваются на берег при полном затишье, предупреждая о близости урагана.

Сильные ураганы образуют длинные волны неветрового происхождения еще в открытом море. При приближении такой волны к берегу уровень воды сначала растет медленно, постепенно. В определенный момент происходит скачок: уровень резко поднимается, и вода обрушивается на сушу. Этот скачок вызывается волной, идущей перед центром урагана и достигающей наибольшей высоты. В некотором роде такая волна может служить предвестником урагана.

Так, в воскресенье 30 июля 1961 года тысячи людей заполнили токийские пляжи; стояла безоблачная погода,

легкий ветер смягчал жару. Внезапно огромные волны обрушились на берег, на людей. Шестьдесят два человека погибло, сто сорок получили ранения. Эти волны оказались предвестниками тайфуна, зародившегося днем раньше в 1500 километрах от японских берегов.

Высота длинной ураганной волны зависит от силы урагана, от того, какая часть урагана — центр или периферия — проходит в данном месте, от географических условий района и может составлять 12 — 14 метров.

Так, в Бенгальском заливе длинные ураганные волны достигают огромных размеров, особенно тогда, когда наступление штормовой волны совпадает с приливом. В этих случаях высота волны превышает 11 метров и ураган сопровождается жестокими разрушениями. Рекордным в этом смысле был ураган 7 октября 1737 года в дельте Ганга. Штормовая волна с Бенгальского залива достигла двенадцатиметровой высоты. В этот день погибли примерно триста тысяч человек, было уничтожено более двенадцати тысяч судов и различных лодок.

Длинные волны наибольших размеров, порождаемые тропическими ураганами, наблюдаются вдоль западного побережья Тихого океана. Максимальная зарегистрированная высота такой волны (14 метров) отмечалась 30 июля 1905 года у Маршалловых островов. Наибольшая волна у берегов Австралии (12 — 13 метров) наблюдалась при урагане 5 марта 1899 года. Этот ураган пришел с востока и пересек Большой Барьерный риф в его северной части. Ширина его пути была примерно 120 километров.

В районе Атлантического океана очень большие ураганные волны бывают на побережье Мексиканского залива, где ураганы вообще нередкое явление. Так, небольшой город Индиана, расположенный в США к северу от мексиканской границы, дважды подвергался ударам таких волн. Первая волна 16 сентября 1875 года с ураганным ветром скоростью до 100 миль в час унесла 176 человеческих жизней и смыла три четверти города. Его восстановили, но 19 августа 1886 года он был снова уничтожен. Город подвергся колоссальным разрушениям: ни один дом не остался неповрежденным, а те, которые стояли, были опасны для жизни. Город был покинут жителями и больше не восстанавливался.

Кроме прямых разрушений, ураганные волны оказывают сильное воздействие на береговую зону, глубины в прибрежной зоне. Размываются берега и проливы, образуются песчаные косы и отмели, появляются новые лагуны и даже большие заливы.

Во время урагана 1938 года в восточных штатах США во многих местах береговая линия передвинулась на десятки, а иногда и на сотни метров, значительно изменился рельеф морского дна и берега. Песчаная коса на западе Род-Айленда была разделена на несколько островов, у острова Лонг-Айленд появились новые заливы, а некоторые старые заливы углубились. Во многих местах на берегу песчаные дюны высотой до 6 метров были срезаны до уровня океана.

Особенно большие изменения ураганы вызывают в коралловых рифах. Это связано со строением рифов. Верхняя часть рифа толщиной до 2 метров, которая подвергается действию обычных ветровых волн, состоит из наиболее массивных и устойчивых кораллов и гидроидов. Ниже этой зоны растут более хрупкие ветвистые группы, образующие пустоты, полости, проходы. Обычные волны разбиваются о верхнюю часть рифа, почти не проникая в пещерную зону.

Длинные ураганные волны имеют значительно большие размеры, чем обычные волны, и основная сила их удара приходится на нижнюю хрупкую часть рифа. Под ударами таких волн рушатся отдельные части основания рифа и его верхний монолит трескается на глыбы. В итоге на многих рифах образуются новые проливы, появляются и исчезают островки. Разрушение таких островков тем более опасно для судоходства, что, исчезая с поверхности моря, они остаются на глубине 5 — 10 метров, поднимаясь острыми гребнями со дна почти до самой поверхности.

Но не только ветер и волны представляют опасность во время тропических ураганов: как правило, ураганы сопровождаются грозами и ливнями. В зоне ураганных ветров, окружающих «глаз бури», почти не переставая, сверкают молнии, причем особенно сильна грозовая деятельность в тыловой части урагана. Поэтому для жителей районов, подверженных тропическим ураганам, сильная гроза при прохождении бури является признаком ее скорого ослабления. Иногда в урагане наблюдаются шаровые молнии, с треском разрывающиеся вблизи земной поверхности.

Количество осадков, выпадающих при прохождении урагана, зависит от физических свойств воздуха, втянутого в ураган, от его интенсивности и вертикальной протяженности. В отдельных случаях тропические ураганы сопровождаются исключительно сильными ливнями, дающими миллионы и миллиарды тонн воды.

Так, на остров Пуэрто-Рико во время урагана, пронесшегося над ним 8 августа 1899 года, за 6 часов выпало 2,6 миллиарда тонн воды. Возможно, самое большое количество осадков зарегистрировано в июле 1911 года при прохождении тайфуна через Филиппинские острова, когда в Багио за 24 часа выпало 1168 миллиметров, а всего за 4 дня выпало 2233 миллиметра осадков, что составило 2,2 миллиона тонн воды на квадратный километр. В результате возникшего наводнения погибли тысячи человек.

Из-за своего разрушающего действия ураганы издавна привлекали внимание моряков, ученых, жителей побережий. Поэтому сохранились достаточно полные описания многих катастрофических ураганов, затронувших побережья или мореплавателей. Только с 1700 по 1956 годы история насчитывает более 50 ураганов и тайфунов, сопровождавшихся большими разрушениями и человеческими жертвами.

Начиная с 1956 года по решению Всемирной метеорологической организации каждому тропическому циклону, достигающему интенсивности шторма, присваивается женское имя согласно заранее утвержденному списку, насчитывающему 86 имен. Имена составляются по английскому алфавиту, начиная с 1 января, и по названию тайфуна или урагана можно судить о времени его прохождения. С конца 70-х годов «дискриминация»

мужчин в этом деле была отменена, и ныне тропическим вихрям присваиваются и мужские имена.

Одновременно с систематизацией ураганов начали проводиться их интенсивные исследования: была создана сеть радиозондовых станций на тропических островах и побережьях, на удаленных территориях начали устанавливать автоматические метеостанции, а в открытом море — метеостанции-автоматы лодочного типа или на буйах. Большого эффекта достигли разведка и слежение за ураганами с помощью самолетов. Еще большие результаты дает использование метеорологических спутников для изучения и предсказания тропических циклонов.

В общем предсказание ураганов сводится к трем задачам: предсказанию возникновения тропического циклона, определению времени его перехода в ураган и прогнозу пути его перемещения. Третья задача является практически самой важной.

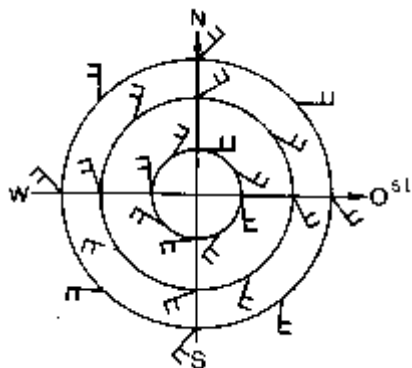


Рис. 33. Штормовая картушка

В начале своего пути ураган, как правило, перемещается на запад параллельно экватору. Трудность прогноза его траектории заключается в том, что надо заранее указать, где ураган повернет на полярный курс и каковы будут его направление и скорость в дальнейшем.

Гидрометеорологические службы многих стран составляют прогнозы развития и движения этих атмосферных образований и передают их по радио или средствами факсимильной связи. Получив такие прогнозы, судоводителям необходимо проанализировать фактическую обстановку в море, сопоставить прогноз передвижения урагана с курсом судна и реальными возможностями плавания данного судна в условиях урагана.

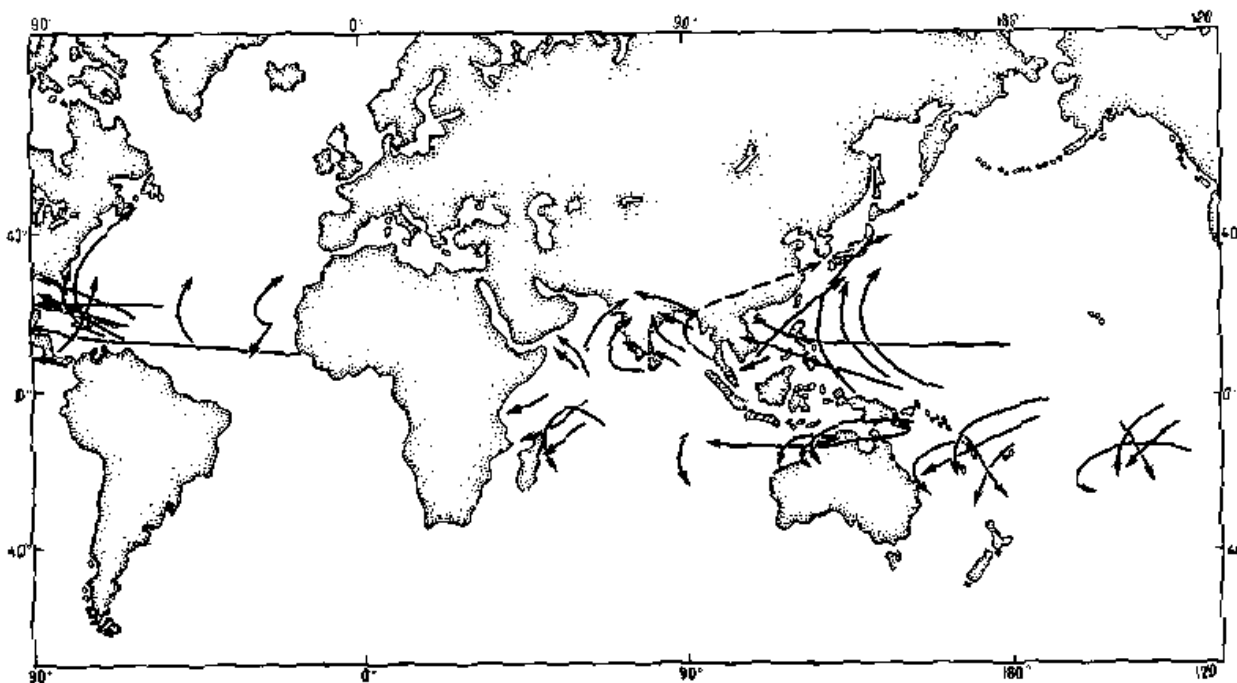


Рис 34. Основные пути движения тропических ураганов

Но поскольку тропические ураганы возникают над открытым океаном и даже в зрелой стадии занимают небольшую площадь, они иногда остаются незамеченными службами погоды. На этот случай необходимо знать основные признаки приближения тропического циклона, они состоят в следующем:

появляется зыбь, направление которой не совпадает с направлением ветра;

нарушается свойственный тропическим широтам правильный суточный ход давления, и оно начинает быстро

падать;

появляются перистые нитеобразные или перисто-кучевые облака, идущие с той стороны, откуда приближается циклон;

устанавливаются душливая погода, затишье, наблюдаются зловещие красные закаты и восходы; часто в красный цвет окрашивается все небо.

Из всех этих признаков наиболее постоянным и надежным является нарушение правильного суточного хода давления, остальные признаки могут и отсутствовать.

Для того чтобы определить направление, в котором находится центр урагана, следует стать спиной к ветру; в этом случае центр циклона окажется на $45 — 90^\circ$ влево в северном полушарии и на столько же градусов вправо — в южном.

Еще более точно можно определить направление на центр тропического циклона с помощью штормовой картушки, представляющей собой целлулоидный планшет (или кальку) с начерченной на нем схемой направления ветра (рис. 33). Картушку накладывают на навигационную карту так, чтобы ее меридиональная ось была параллельна меридиану на карте, а на место судна пришлась бы та точка внешней окружности, на которой один из векторов ветра совпадал бы с направлением истинного ветра, наблюдаемого на судне. Направление от места судна к центру картушки и показывает направление в центр циклона.

На картушке нанесены три окружности. Считается, что место судна приходится на внутреннюю окружность, если давление падает со скоростью не менее 2,7 миллибара в час. Картушка помогает определить направление на центр циклона, но расстояние до него с помощью картушки установить нельзя. Для того чтобы с наибольшей вероятностью избежать встречи с тропическим ураганом, капитанам судов необходимо тщательно следить за синоптической обстановкой над океаном, пользуясь обычными сводками погоды и сопоставляя их с собственными наблюдениями.

Защита от ураганов на море сводится в основном к уклонению судов от наиболее опасных зон ураганов. Способы расхождения с циклонами для отдельных районов и сезонов достаточно подробно изложены в лодиях, однако существует и ряд наиболее общих правил:

если судно находится прямо на пути циклона, оно должно идти так, чтобы ветер был справа, то есть идти правым галсом;

если судно находится в правой передней части циклона, оно должно привести к ветру и, следуя в бейдевинд правого галса, по возможности удалиться от его центра;

если судно находится в левой передней части циклона, оно должно стремиться уйти от центра урагана, следуя курсом бакштаг правого галса.

Следуя этим правилам, нужно также иметь в виду, что:

траектория тропических циклонов в северном полушарии обычно направлена к западу, затем к северо-западу, затем к северу (рис. 34);

фактическое направление и скорость перемещения циклона могут меняться весьма резко; следует учитывать, что тропические циклоны как бы отталкиваются обширными областями высокого давления и притягиваются областями низкого давления, что и служит главной причиной их отклонений от обычных траекторий;

наиболее опасное волнение возникает в правой половине урагана, особенно в тыловой части. Это объясняется тем, что штормовые ветры в этой зоне накладываются на собственное движение урагана, и потому общее движение воздушных масс здесь более сильное, чем в левой половине урагана.

Опыт показывает, что, несмотря на меры предосторожности, не всегда удается уклониться от центра урагана на достаточно безопасное расстояние, особенно если судно находится в области развития урагана или лишено возможности свободно маневрировать. В таких случаях судно должно лечь в дрейф или штормовать, выбрав безопасное положение относительно волн и ветра.

СМЕРЧИ И ВИХРИ

9 июня в 15 — 17 часов на территориях Ивановской, Костромской, Ярославской областей образовались небывалые смерчи... Один из них (шириной 450 м) прошел через Иваново, проделав путь в 16 км.

...Подобного рода разрушительных смерчей, да еще в таком количестве, не было в этих районах ни разу. И, судя по разрушениям, которые они причинили, можно предположить, что скорость ветра достигала 60 — 100, порой 200 метров в секунду.

Известия, 13 июня 1984 года

«14 ноября 1878 г. парусное судно «Прекрасный Стюарт» медленно плыло по зеркальной поверхности Мексиканского залива. Стоял ясный и тихий день; вся команда вышла на палубу и наслаждалась чудесной погодой. Около полудня ветер начал дуть порывами, как бы вздыхая. Небо внезапно покрылось низкими черными угрожающими облаками. Все начали обсуждать эти явления, как вдруг перед судном поверхность моря на небольшом участке вспенилась, покрылась небольшими неправильными волнами. Немного погодя все это усилилось, волны стали выше, началось вихревое вращение. Поверхность моря вздулась, поднялась навстречу опустившемуся облаку, слилась с ним и рванулась на судно. В один момент две мачты с поднятыми парусами

были сломаны и унесены за борт волной. На месте судна с белоснежными парусами осталась беспомощная развалина, болтающаяся среди волн».

Так В. Наливкин в своей книге «Ураганы, бури и смерчи» показывает это своеобразное природное явление, которое представляет собой маломасштабный атмосферный вихрь — смерч. В разных местностях его называют по-разному: «торнадо», «тромб», «тифон».

Смерч — это воздушное образование, возникающее в основании грозового облака. Чаще всего он образуется следующим образом: из грозового облака по направлению к земле протягивается гигантский черный «хобот», воронкообразно расширяющийся у основания облака и сужающийся книзу. Если «хобот» достигает поверхности земли, то здесь он снова расширяется, образуя воронку, содержащую пыль, песок или почву (если смерч развивается над сушей), или воду (если смерч проходит над водной поверхностью).

Образовавшийся вихрь, как правило, имеет циклоническое вращение, причем одновременно наблюдается движение воздуха по спирали вверх. В центре смерча отмечается очень низкое давление, вследствие чего он засасывает в себя все, что встречается на пути, и может поднять воду, почву, отдельные предметы, постройки, перенося их иногда на значительные расстояния.

Число смерчей значительно: только в США ежегодно их бывает 600 — 800. Образуются они и в других областях земного шара: в Европе, Юго-Восточной Азии, Африке. Так же велико и число смерчевых облаков. Однако об их строении, образовании и даже размерах известно сравнительно немного. Многочисленные наблюдатели ограничивались самыми общими описаниями: «громоздкое грозовое облако», «темная тяжелая туча, нависшая над землей».

Исследование смерчей чрезвычайно затруднено из-за того, что образуются они неожиданно, захватывают небольшую территорию и быстро исчезают. Однако по описаниям удалось установить, что средние размеры смерчевого «материнского» облака сравнительно невелики: 5 — 10 километров, реже до 15 километров в поперечнике, до 4 — 5 километров, иногда до 10 — 15 километров высотой. У очень больших смерчей ширина облака составляет 30 — 40 километров, длина — до 50 километров.

Для смерчевых облаков характерно ровное плотное, почти горизонтальное основание. Оно резко ограничено, и при развитии смерчей хорошо видны крутящиеся воронко- или трубообразные отростки. Расстояние между основанием облака и землей обычно небольшое — несколько сотен метров. Изредка облако движется по земле, и тогда воронка смерча не образуется, заменяясь ураганными вихревыми ветрами.



Рис. 35. Смерч:
I начальная стадия; II — полное развитие

Обычный смерч состоит из трех частей: горизонтальных вихрей в материнском облаке, воронки 2, дополнительных вихрей, создающих каскад 3 и футляр 1 (рис. 35). Смерчевое облако, как и всякое другое грозовое кучево-дождевое облако, характеризуется неоднородностью и высокой турбулентностью. Многие из них к тому же имеют вихревое строение.

В результате интенсивных конвективных потоков воздуха край облака начинает сначала медленно, затем все быстрее и быстрее подниматься, закручиваясь горизонтально вокруг оси, параллельной границе облачности, — образуется ротор небольших размеров. Этот ротор, быстро вращаясь, опускается одним концом (обычно левым по движению облака) к земле в виде воронки. Эта воронка — основная составляющая смерча — представляет собой спиральный вихрь, состоящий из чрезвычайно быстро вращающегося воздуха.

Если воронка не достигла земли или земля очень твердая, то она может быть и невидима. Но обычно вихрь при своем движении захватывает воду, пыль, и воронка становится хорошо видимой.

Воронка состоит из внутренней полости и стенок и по своему строению аналогична миниатюрному тропическому урагану. Однако если у урагана поперечник внутренней полости — «глаза» бури составляет от нескольких километров до немногих десятков километров, то у смерчей он в тысячи раз меньше: от нескольких метров до немногих сотен метров.

В основных чертах эти два явления природы похожи. И ураган, и смерч заключают в себе пространство, более или менее ограниченное «стенками»; оно почти чистое, безоблачное, иногда от стенки до стенки проскакивают небольшие молнии; движение воздуха в нем резко ослабевает. Так же, как в ядре урагана, во внутренней полости воронки смерча давление резко падает — порой на 180 — 200 миллибар.

Такое катастрофически быстрое падение давления служит причиной своеобразного явления: полые предметы, в частности дома, другие постройки, шины автомобилей, при соприкосновении с воронкой смерча взрываются. Интересен факт ошипывания кур во время смерча: во многих случаях куры, мертвые или уцелевшие после прохождения смерча, оказывались без перьев. Как выяснилось, это происходит потому, что воздушные

мешочки, в которых у кур находятся корни перьев, при резком понижении атмосферного давления взрываются изнутри, выбрасывая перья.

Внутренняя полость ураганов наблюдалась с палубы сотен судов, попадавших в нее. Она детально изучена во время полетов в ней специальных самолетов. К сожалению, все, что попадало во внутреннюю полость смерча, разрушалось, а люди погибали. Имеются лишь единичные случаи наблюдений полости смерча тогда, когда он проходил над головой наблюдателя. Из этих наблюдений и сложилось впечатление о внутреннем строении смерча как громадного пустого цилиндра, иногда наполненного хлопьями облаков и освещенного блеском молний.

Характерной частью смерча являются стенки его воронки. Это наиболее активная и разрушающая часть. Строение их весьма разнообразно, но условно стенки можно разделить на плотные, резко ограниченные, и расплывчатые с неясными границами. Плотные стенки иногда имеют толщину до нескольких метров, в то время как расплывчатые утолщаются на сотни метров. Один и тот же смерч на пути своего развития может иметь гладкие стенки, затем принять расплывчатую массивную форму, в конце снова стать узким и гладким.

Так, известный смерч Трех штатов 18 марта 1925 года, унесший в штатах Миссури, Иллинойс и Индиана до 700 человеческих жизней и причинивший ущерб в 40 миллионов долларов, в начале своего пути обладал гладкой воронкой, но основную свою дистанцию более 40 километров он прошел в виде темного крутящегося облака, движущегося по земле.

По-видимому, стенки воронки становятся расплывчатыми, когда их окружная скорость падает ниже определенного значения.

Одним из важнейших и своеобразнейших свойств смерчей является их резкое ограничение в пространстве с наличием почти гладких плотных стенок. По-видимому, ни у каких других атмосферных образований нет таких резких границ, разве только у молний, скорость движения которых еще более значительна.

О резкости границ смерчей свидетельствуют случаи, происшедшие во время их прохождения в США. Так, в штате Небраска 9 октября 1913 года смерч прошел по небольшому саду. Он вырвал с корнем большую яблоню, ствол которой имел диаметр 30 сантиметров, и разорвал ее на отдельные щепки, но оставил невредимым улей с пчелами, стоявший в одном метре от яблони.

В том же штате на ферме хозяйка доила корову. Внезапно налетевшим смерчем коровник и корова были унесены в воздух, хозяйка же осталась сидеть на стуле, рядом с ней стояло ведро, полное молока.

Во всех этих случаях расстояние между вихрем в стенках воронки и неподвижным воздухом было ничтожным — несколько десятков сантиметров. По-видимому, причиной возникновения резкой границы вихря может быть его необычайно большая скорость.

К сожалению, пока невозможно непосредственно измерить скорость ветра в смерчах, так как ни один прибор не выдерживает огромных ускорений. Однако инженеры, специалисты по сопротивлению материалов, довольно точно высчитали эту скорость, основываясь на характере разрушений и аварий.

Так, смерч 2 апреля 1957 года в городе Далласе (штат Техас), пересекая железную дорогу, опрокинул несколько тяжелых груженых вагонов. По их массе и форме специалисты определили, что скорость ветра достигала 70 — 80 метров в секунду, а порывами — до 100 метров в секунду. Немного дальше была разрушена огромная прочная подставка для объявлений: скорость ветра достигала 130 метров в секунду. Некоторые специалисты называют цифру скорости ветра в смерче 170 — 200 метров в секунду, а иногда даже 350 — 360 метров в секунду, то есть она больше скорости звука!

Такие определения сделаны на основании ряда поразительных фактов, а именно: повреждения стен домов, стекол и даже куриных яиц. Во время некоторых смерчей мелкая галька пробивала стекла и кирпичные стены домов, не повреждая их вокруг пробоины, то есть так же, как при прохождении винтовочной пули.

Подъем и перенос тяжелых предметов показывает, что окружные скорости в воронке быстро и значительно изменяются. Нижняя часть воронки вращается много быстрее, чем верхняя. Она способна поднять тяжелые и большие предметы, но высота подъема не превышает немногих десятков метров. Выше вращение становится медленнее, и большие предметы выбрасываются из воронки, падают на землю. В облако поднимаются только предметы, масса которых не превышает нескольких килограммов.

Формы воронок смерчей необыкновенно разнообразны и быстро изменяются у одного и того же смерча. Характерными особенностями смерча в отличие от других атмосферных образований являются устойчивая плотная поверхность, значительная длина и небольшой диаметр, а также более или менее вертикальное положение.

В зависимости от соотношения длины и ширины выделяют две группы плотных смерчей: змееобразные (или бичеподобные) и воронкообразные (или колонноподобные).

Змееобразные смерчи образуются сравнительно редко. Кроме длинного извивающегося тела, напоминающего бич или змею, они отличаются наиболее близким к горизонтальному положением в пространстве и сильно изгибаются. Как правило, такие бичеподобные формы смерча принимает в конце своего существования.

Воронкообразные смерчи наиболее типичны и многочисленны. Их очертания и размеры чрезвычайно изменчивы; даже один и тот же смерч непрерывно изменяет форму. Такие смерчи и представляют собой классический вид воронки, свешивающейся из материнского облака.

Наибольшие разрушения вызывают широкие и низкие расплывчатые смерчи. Они захватывают большую территорию, чем плотные смерчи, и приносят больше ущерба.

Уже упоминавшийся смерч Трех штатов представлял собой именно такой вид смерча, его ширина колебалась

от 800 до 1000 метров, а длина пути оказалась 350 километров. Он двигался три с половиной часа и произвел полное разрушение на площади в 164 квадратные мили. Форма смерча была своеобразна: он все время имел вид неправильного бешено вращающегося вихря, временами была видна воронка, но она очень скоро скрылась в облаке, наполненном пылью и обломками.

Дополнительные вихри возникают у основания воронки и высоко не поднимаются, но иногда, вращаясь вокруг воронки, они достигают облака. Более редко дополнительные вихри спускаются из облака.

Когда воронка касается земли или идет по ней, у ее подножия почти всегда образуются облака или столб пыли либо водяных брызг. У водяных смерчей он состоит из воды. Эта вода поднимается, а потом падает, образуя каскад. В образовании каскада большую роль играют дополнительные вихри: благодаря им ширина каскада увеличивается во много раз и зачастую превосходит высоту вихря.

Иногда дополнительные вихри способствуют появлению у водяных смерчей, кроме основной воронки с резко ограниченной стенкой, второй — внешней — стенки, менее ярко выраженной. Она располагается вблизи основной воронки и служит как бы ее футляром, куда смерч «вкладывается», подобно шпаге в ножны. Футляр смерча также обладает интенсивным вращением и принимает участие в разрушениях, производимых основной воронкой.

Причины образования смерчей до сих пор окончательно не выяснены, но условия, при которых они возникают, достаточно хорошо известны. Смерч можно ожидать, когда:

в нижних слоях атмосферы находится теплый влажный воздух и преобладают южные ветры;

в верхних слоях атмосферы располагается холодный сухой воздух и дуют сильные ветры различных направлений, преимущественно западные и юго-западные, при этом происходит подъем приземного воздуха.

Как и многие природные явления, смерчи проходят три стадии развития. В начальной стадии, характеризуемой появлением из материнского облака начальной воронки, висящей над землей, смерч формируется за счет потенциальной энергии, накапливаемой при термической конвекции во время подъема воздуха. Эта энергия переходит в кинетическую энергию вначале вертикального, а затем вращательного движения. В дальнейшем окружная скорость смерча возрастает, и он приобретает свой классический вид.

Вращательная составляющая скорости еще больше растет вследствие поступления энергии всех видов из приземного слоя. Из-за все возрастающего притока воздуха начинает меняться характер вращения: область максимальных значений вертикальной составляющей скорости вмещается вниз к приземному слою. Начинается вторая стадия существования вихря — стадия его полного развития. Смерч полностью оформляется и непрерывно движется по поверхности земли или моря.

Третья стадия — разрушение вихря — характеризуется ослаблением окружной скорости, сужением воронки, ее отрывом от поверхности земли. Воронка начинает светлеть, принимает бичеподобную форму и разрывается. Верхняя часть поднимается в облако, нижняя падает на землю.

Время существования каждой стадии и всего смерча различно и составляет, как правило, несколько минут. В очень редких случаях смерч существует несколько часов. Скорость продвижения смерчей также различна. Иногда облако движется очень медленно, почти стоит на месте, иногда несется с большой скоростью. Метеорологи определяют среднюю скорость передвижения смерчей в 40 — 60 километров в час, но иногда она доходит до 200 километров в час.

При своем движении смерч проходит путь, равный в среднем 20 — 30 километрам. Однако нередки случаи прохождения смерчами расстояния в 100 — 120 километров. Смерчи-гиганты могут проходить путь до 300 — 500 километров, но это исключительные явления.

Своеобразной особенностью смерчей является их «пры-гание». Пройдя некоторое расстояние по земле, они поднимаются и несутся по воздуху, не производя разрушений, затем снова опускаются — снова разрушения, далее опять поднимаются, снова опускаются, и так повторяется несколько раз.

Полоса разрушений зависит от ширины смерча. Змееобразные смерчи имеют наименьшую ширину — несколько метров. Преобладающие воронкообразные смерчи шире — до 100 метров. Наибольшей шириной характеризуются размытые смерчи: она составляет несколько сотен метров, достигая иногда 1000 метров.

На земном шаре смерчи широко распространены и в некоторых областях представляют собой обычное, многократно повторяющееся явление. Наиболее благоприятны для образования смерчевых облаков обширные равнины, над которыми встречаются холодные и теплые воздушные течения.

На таких равнинах расположены центральные штаты США. По статистике за 35 лет (с 1916 по 1950 год) здесь было зарегистрировано более 5000 смерчей. От них погибли примерно 8000 человек, убытки составили полмиллиарда долларов. В отдельные годы число смерчей здесь превышало 900.

Нередко смерчи образуются над европейской территорией СССР, Западной Европой, Китаем, Вьетнамом, Индией и в других местах. Однако слежение за ними здесь не столь тщательное, как в США, поэтому привести точную цифру трудно.

Еще более затруднительно оценить число смерчей над океаном: они могут возникать и исчезать в стороне от основных судоходных трасс, вне зоны визуальной или радиолокационной наблюдаемости. Поэтому описания морских смерчей редки, хотя последние встречаются и на Балтике, и в заливе Святого Лаврентия, и на Черном море и в Мексиканском заливе. Они распространяются в Атлантическом, Индийском, Тихом океанах, от Японии до берегов Австралии.

Морские водяные смерчи обычно возникают группами из одного материнского облака. Чаще всего они образуются и достигают наибольшей силы у грозových кучево-дождевых облаков, но нередко связаны и с

облачностью другого типа. Иногда они сопровождают тропические циклоны. Ливни и молнии, наблюдающиеся одновременно со смерчами, непосредственно с ними не связаны, но образуются из одного и того же облака. Как и над сушей, водяные смерчи часто сопровождаются громкими звуковыми явлениями: страшным ревом, грохотом, шипением.

Сила ветра весьма различна, но чаще всего небольшая — более слабая, чем у наземных смерчей. Проходя над судами, они обливают их водой, сдирают чехлы и крышки трюмов, уносят легкие предметы. Когда они разрушительны (что бывает редко), смерчи переворачивают или разламывают суда, особенно небольшие.

Часто водяные смерчи стоят на месте или медленно передвигаются на небольшие расстояния. Нередко они движутся со скоростью 40 — 60 километров в час. Длительность существования водяных смерчей небольшая, обычно 15 — 20 минут, изредка до часа и более.

Водяные смерчи по свойствам близки к наземным смерчам. Приведенные различия: меньшие размеры, меньшая длительность существования, меньшая сила у водяных смерчей — несущественны и полностью укладываются в пределы обычной изменчивости смерчей.

Надо заметить, что и среди водяных смерчей наблюдались гиганты. Так, разрушительный смерч в заливе Маскарусетс имел высоту свыше 1000 метров, диаметр у облака 250, у воды 70 метров, диаметр каскада более 200 метров и его высоту до 150 метров.

Максимальная ширина, наблюдавшаяся у водяных смерчей, составляла примерно 1500 метров. По-видимому, это были низкие, очень широкие расплывчатые смерчи. Подобные широкие воронки над морем редки, подавляющее большинство их — плотные, резко ограниченные, узкие и высокие.

Такие смерчи видны с достаточно большого расстояния, хорошо обнаруживаются на экране радиолокатора. Увидев приближение этого природного образования, судоводители должны принять меры к тому, чтобы избежать с ним встречи.

БЕСПОКОЙНЫЕ ГЛУБИНЫ

Весенним днем 1937 г. несколько рыбаков, удививших с причала в Редон-до (Калифорния), внезапно почувствовали, что грузила их удочек начали резко уходить на глубину. На поверхность воды поднялись облака взмученного ила, за несколько минут глубина дна на месте ужения увеличилась на десять метров!...

О. К. Леонтьев, Г. И. Сафьянов. Каньоны под морем

В 1886 году для обеспечения устойчивой связи между метрополией и Анголой, бывшей в то время португальской колонией в Африке, был проложен подводный кабель. Однако телеграфисты, обеспечивавшие работу кабеля, буквально проклинали его: напротив устья реки Конго он рвался ежегодно. А какова сложность ремонта кабеля, проложенного на глубинах более 1000 метров, нетрудно себе представить. Поэтому трассу кабеля неоднократно переносили то ближе к берегу на глубины до 100 метров, то дальше от берега на глубины более 1200 м, а результат каждый раз был тот же. Причиной обрыва кабеля было то, что он проходил в районе побережья, где имелись так называемые подводные каньоны и предполагались мутьевые потоки.



Рис. 36. Подводная окраина материка

Исследования морских глубин, которые были интенсивно начаты лишь с середины прошлого века, позволили установить основные закономерности рельефа океанского дна. Оказалось, что к берегам материков обычно прилежит полоса мелководья — материковая отмель, или, как ее иначе называют, шельф. Материковая отмель заканчивается резким перегибом профиля дна — бровкой шельфа. Ниже бровки идет сравнительно узкая зона морского дна с быстрым нарастанием глубин — материковый склон. В океанах он заканчивается на глубине примерно 3000 метров, в глубоких морях — на немного меньших глубинах. Ниже расположено ложе океана или абиссальная равнина дна глубокого моря.

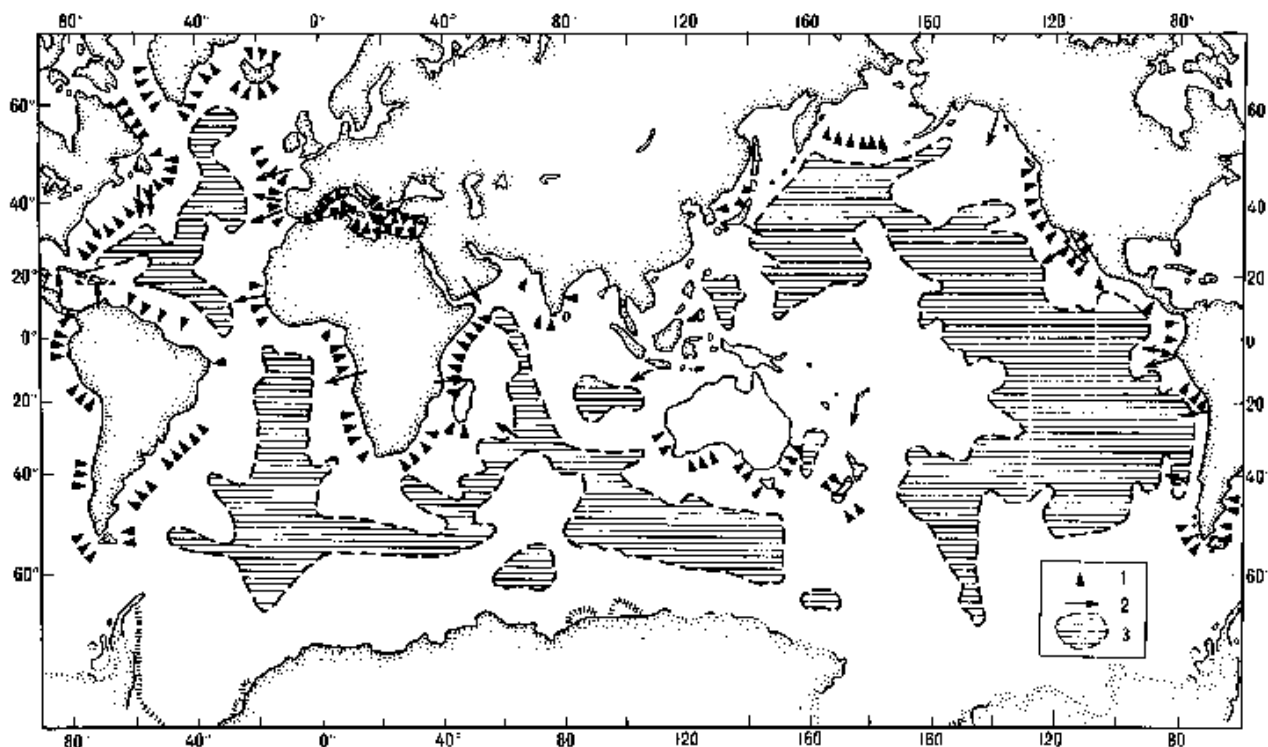


Рис. 37. Области распространения подводных каньонов (1), наблюдавшихся мутьевых потоков (2) и предположительно мутьевых течений (3)

На многих участках материковый склон прорезают глубокие ложбины, начинающиеся у бровки шельфа и заканчивающиеся у подножия склона (рис. 36). Глубина вреза этих ложбин может достигать 1 — 2 километров, длина — нескольких сотен километров. Нередко они имеют V-образный поперечный профиль и в целом внешне напоминают крупные каньоны суши или ущелья горных рек. Эти ложбины и получили название подводных каньонов. Вершины подводных каньонов часто бывают разветвленными, подобно системе оврагов на суше; их ветви, а в некоторых случаях и главный ствол каньона могут врезаться в поверхность шельфа.

В настоящее время освоение береговой зоны протекает очень бурно: сооружаются морские порты, которые нужно обезопасить и от морского волнения, и от вдольбереговых наносов. Строятся сложные сооружения для защиты берегов от размыва волнами, сооружаются водозаборные устройства. Вторжение подводных каньонов в пределы береговой зоны сильно осложняет решение этих задач. В открытом океане подводные каньоны имеют навигационное значение, и не только для подводного плавания.

Однако на дне морей и океанов, кроме подводных каньонов, есть другие долинообразные формы рельефа: это широкодонные желобообразные долины, мелководные прерывистые углубления, ложбины, являющиеся продолжением дельт рек, и т. п.

Скалистые извилистые долины V-образного профиля с многочисленными притоками, пересекающими материковый склон, которые соответствуют определению «каньона», являются лишь одной из составных частей всех подводных образований, хотя и самой впечатляющей. При разнообразии форм поперечного сечения каньоны имеют большую крутизну склонов, нередко составляющую 0,6 — 1,2, то есть подобную крутизне горных ущелий. Склоны каньонов могут иметь уклон с противоположным знаком, то есть быть с нависающими стенками. Поперечный профиль такого каньона имеет вид нижней части песочных часов. Например, хорошо обследованный водолазами один из отрогов каньона Скриппса (вблизи полуострова Калифорния) при общей глубине 40 метров имеет в нижней части ширину до 15 метров, а выше — 9 метров.

Уклоны дна каньонов достигают больших значений. Например, каньон Сюр-Партигтон (вблизи полуострова Калифорния) на протяжении 49 миль углубляется с 90 до 500 метров, то есть его уклон составляет 34 метра на километр. Еще больший уклон — до 100 метров на километр — имеет соседний с ним каньон Скриппса; на протяжении 1,5 мили его глубина увеличивается с 20 до 300 метров.

Длина каньонов колеблется от нескольких километров до сотен километров. Например, протяженность подводного каньона Конго составляет более 800 километров.

Подводные каньоны распространены очень широко (рис. 37). Их известно сейчас несколько тысяч в различных районах Мирового океана. Подводных каньонов много там, где четко выражен материковый склон, однако на очень крутых прямолинейных склонах каньонов может и не быть. На пологих материковых склонах их мало или совсем нет. Сравнительно мало каньонов у берегов пустынь; обычно их нет, если вдоль края шельфа тянутся острова или подводные рифы.

Каньоны обнаруживаются на материковых склонах древних платформ (Северо-Американской или Индостанской) и в областях с молодыми горными хребтами, например, в Черном и Средиземном морях. Подводные каньоны встречаются у берегов, где земная кора погружается (а такое, к примеру, происходит в вершинах Аравийского и Бенгальского заливов), и у берегов с признаками поднятия земной коры (побережье Атлантического океана у полуострова Калифорния). Вершины каньонов чаще расположены на бровке шельфа, но нередко проникают и в его пределы. А там, где шельф узок, например, у побережья Калифорнийского залива или у Кавказских берегов Черного моря, каньоны внедряются и в пределы береговой зоны.

Подводный каньон Конго проникает своим верховьем в эстуарий одноименной реки. У берегов Черного моря есть каньоны, в которые можно проникнуть с берега в акваланге: они подступают к береговой линии почти вплотную.

Чаще всего каньоны располагаются группами. К примеру, у берегов острова Великобритания в юго-западной части их насчитывается в среднем до 20 на 100 миль протяжения склона. Обилие подводных каньонов на материковом склоне у Атлантического побережья США придает кромке шельфа при ее изображении на карте своеобразное «бахромчатое» очертание.

При всем разнообразии условий распространения подводных каньонов в их присутствии на материковом склоне есть некоторые закономерности. Как правило, каньоны встречаются в тех местах, где в береговую зону поступает (или поступало в далеком прошлом) большое количество обломочного материала с материков. Каждый каньон по естественным морфологическим признакам можно подразделить на три части.

Верхняя часть каньона формируется в условиях поступления большого количества обломочного материала. Она является как бы временным накопителем этого материала и начальным пунктом его движения вниз.

Средняя часть каньона наиболее глубоко врежется в поверхность материкового склона и характеризуется наибольшей шириной и средними значениями уклонов. Эта часть каньона преимущественно транзитная: обломочный материал здесь скатывается вниз практически без задержки. При его движении стенки каньона как бы полируются и обрабатываются.

Нижняя часть каньона является аккумулятором обломочного материала. Здесь наблюдаются самые малые уклоны продольного профиля: каньон формирует свою глубоководную дельту. Однако и здесь в условиях осадения обломочного материала каньон может представлять собой глубокий ров, обвалованный огромными естественными дамбами. Так, каньон Конго с глубины 3300 метров окаймлен своеобразными прирусловыми валами, и на глубине 4000 метров его дно лежит на 130 метров ниже этих валов.

Самыми грандиозными формами рельефа дна, связанными с каньонами, являются глубоководные конусы выноса обломочного материала, которые располагаются на глубинах, соответствующих подошве материкового склона. Объем материалов в таком конусе огромен; он зависит от «возраста» каньона и в отдельных случаях достигает десятков и сотен кубических километров. Наибольший же конус выноса обломочного материала располагается у каньона Суоти-оф-но-Граунд в Бенгальском заливе. Установлено, что его длина достигает 3000 километров, ширина 1000 километров, а толщина слоя осадков доходит до 13 километров (!). Он образовался примерно за 8,8 миллиона лет, и его объем составляет более 10 миллионов кубических километров. По сути дела это Гималаи, уничтоженные эрозией и превращенные в осадки океанического дна.

Конусы выноса обычно имеют асимметричную форму. Каналы, продолжающие каньон, располагаются вдоль левого края конуса, правый «прирусловой» вынос выше левого, да и основная масса языка конуса расположена направо от основного русла каньона. Эти выводы относятся к северному полушарию, и такое асимметричное расположение форм рельефа объясняется влиянием сил Кориолиса на частицы воды и твердого материала при их совместном движении.

Происхождение подводных каньонов до сих пор вызывает споры среди ученых. Есть предположение, что каньоны — это речные долины, выработанные в дочетвертичный период, еще в то время, когда территория, ныне лежащая под водой, находилась выше уровня моря. Основанием для этого предположения служит тот факт, что многие каньоны являются прямым продолжением современных русел рек, например Гудзона, Роны, Конго.

Другие ученые считают, что в происхождении каньонов решающую роль играют тектонические явления. При землетрясениях на краю материкового склона могут возникать трещины, которые в дальнейшем служат руслами течений ледниковых потоков.

Но все ученые сходятся в одном: каково бы ни было происхождение каньонов, в их развитии и трансформации огромное значение играют мутьевые потоки.

Эти потоки представляют собой смесь воды и взвешенных или полувзвешенных твердых частиц и возникают при определенных условиях. Если концентрация взвесей в обычной морской воде составляет несколько десятых долей грамма в кубическом метре, то в мутьевом потоке она достигает 150 и даже 200 килограммов в кубическом метре. Из-за высокой плотности массы, составляющей мутьевой поток, он обладает большими скоростями и может проходить значительные расстояния.

К сожалению, непосредственные измерения скорости мутьевых потоков очень редки, однако по характеру

подводных образований и частым разрывам подводных кабелей можно определить ее значение.

К примеру, при оценке обстоятельств обрыва кабелей у Большой Ньюфаундлендской банки (после землетрясения 1952 года) было установлено, что обрывы по крайней мере пяти кабелей на глубинах от 4000 до 5100 метров были вызваны мутьевым потоком.

Скорость потока в его верховьях достигала 19 — 23 метров в секунду, в средней части составила 10,2 и постепенно уменьшилась до 2,2 метра в секунду в районе последнего поврежденного кабеля, наиболее удаленного от эпицентра землетрясения. Уклон подводного склона вблизи последнего кабеля был равен лишь 1 : 1500 (1 метр на 1,5 километра). От подножия материкового склона мутьевой поток прошел расстояние более 550 километров почти за 12 часов, то есть даже осредненная скорость его движения по этому отрезку пути составила более 12,5 метра в секунду.

После землетрясения 14 сентября 1953 года на архипелаге Фиджи мутьевым потоком, спустившимся по долинообразному понижению, был поврежден кабель на протяжении 110 километров. Он был захоронен на этом отрезке или перемещен на расстояние до 3,7 километра. Силу потока характеризует такой факт: один из проводов, найденных после обрыва, оказался очищенным от изоляции в результате полировки песком.

Но возникновение мутьевого потока с высокими скоростями не обязательно связано с землетрясениями. Известны разрушения подводных кабелей в устье реки Магдалена, впадающей в Карибское море (Колумбия), и в других районах, когда начало мутьевым потокам давали подводные оползни, возникавшие в результате оседания приустьевых баров, стенок каньонов или береговых обрывов.

Упомянутые разрушения телефонного кабеля в каньоне Конго в большинстве случаев совпадали по времени с максимальными значениями твердого стока реки Конго.

Обрывы кабелей чаще всего происходят вдоль оси подводных каньонов, то есть там, где мутьевые потоки сконцентрированы и имеют наибольшую скорость. Несомненно, что такие потоки сильно влияют на формирование каньонов: шлифовку бровки, вынос материалов, углубление русла.

Однако мутьевые потоки могут образовываться не только в подводных каньонах. На обширных просторах абиссальных глубин Мирового океана существуют все предпосылки для их появления (см. рис. 37). Таких предпосылок немного: достаточно наличия на дне слоя ила толщиной несколько метров и небольшого уклона дна (до 0,01). При этих условиях даже незначительное внешнее воздействие: толчок воды или дна от землетрясения, обвала, оползня, поступление некоторой критической массы материала с речным стоком (как в случаях в каньоне Конго) — и вода, насыщенная осадочным материалом, начинает скользить по более плотному грунту, разрушая кабели, обрывая якорные цепи, сдвигая донные сооружения. Если турбулентность потока достаточна для поддержания осадочного материала во взвешенном состоянии, мутьевые потоки могут распространяться на большие расстояния — до тысячи километров. В конце концов осадочный материал откладывается на обширных абиссальных равнинах.

Мутьевые потоки многообразны; они могут представлять собой и едва заметное движение взвеси в придонном слое, и грозное катастрофическое явление природы. Но мутьевыми потоками отнюдь не исчерпываются проявления динамических условий на океанском дне.

Ввиду того что осадки на дне перенасыщены водой, здесь очень часто возникают подводные оползни. Местами локализации оползней служат крутые участки морского дна, устьевые бары, склоны каньонов. Размеры оползней на дне гораздо более обширны, чем размеры самых больших оползней на суше.

Так, оползень на взморье в районе реки Магдалены 30 августа 1935 года уничтожил волнолом в устье реки на протяжении 480 метров, а в предустьевом взморье способствовал образованию канала глубиной 10 метров. В ту же ночь в 24 километрах от устья на глубине 1400 метров был разорван подводный телеграфный кабель. Оползень перекрыл площадь более 10 миллионов километров.

Грандиозный оползень возник 1 сентября 1923 года в заливе Сагами близ Токио. Чтобы представить его размеры, достаточно указать, что перемещенного этим оползнем материала хватило бы для заполнения всего мелководья Мексиканского залива до изобаты 100 метров. Вызванный оползнем мутьевой поток устремился в подводный каньон, опускающийся в Японский желоб, в результате чего глубина дна каньона увеличилась в среднем почти на 100 метров.

Наиболее часто оползни возникают на участках обильного накопления осадков, то есть в устьях рек или в тех районах, которые служат ловушками при вдольбереговом перемещении наносов волнами и течениями. Соответственно и мутьевые потоки, нередко вызываемые оползнями, связаны с этими районами.

Устойчивость осадков на подводном склоне зависит прежде всего от степени их сопротивления сдвигу, а оно возрастает по мере углубления в толщу осадков. Чем древнее осадок, тем более он уплотнен, тем больше силы сцепления между частицами грунта. Существенное уменьшение устойчивости осадков вызывают землетрясения. Всякое землетрясение под водой порождает в самой воде и в придонном слое грунтов продольные упругие волны, подобные звуковым. Контакт таких волн с корпусом судна производит впечатление удара, вызывая тревогу у моряков.

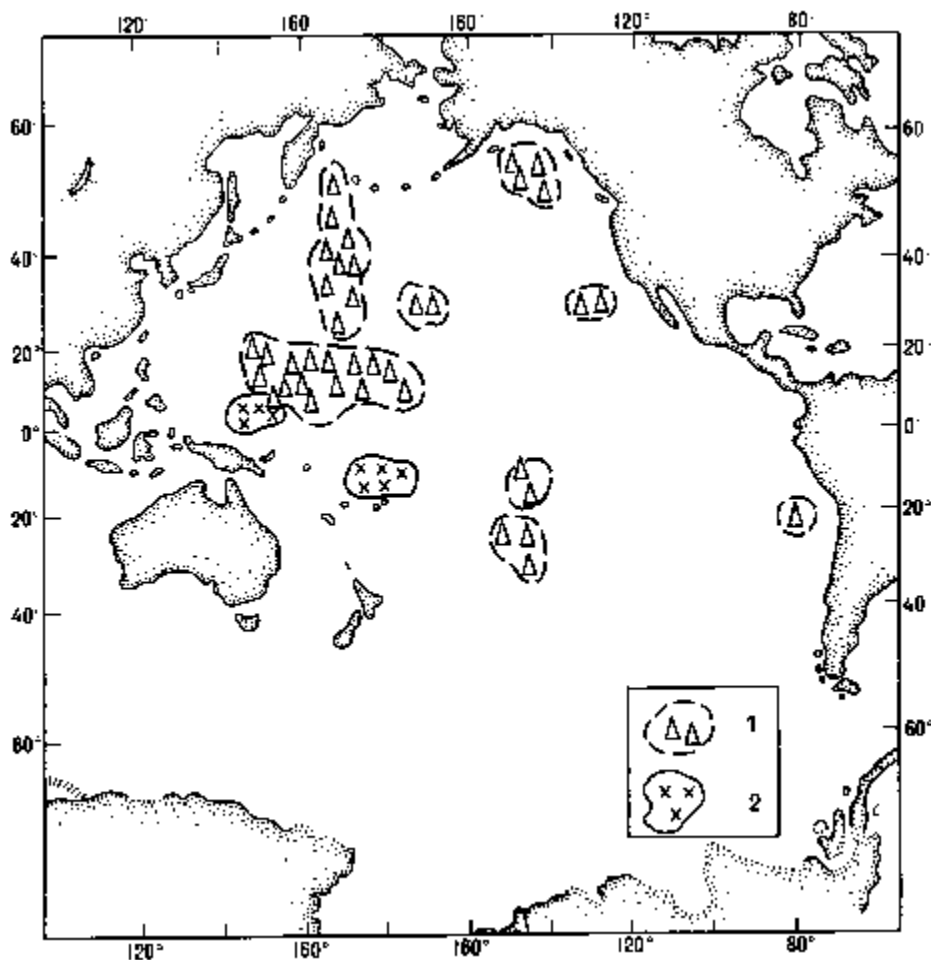
Вибрация придонного слоя грунта при землетрясении сопровождается разжижением осадков, потерей грунтом несущей способности и как следствие массовым сползанием грунта. Сползание грунта, мутьевые потоки, кроме перемещения придонных масс осадков, вызывают вихревое движение воды на своих границах, которое в некоторых случаях может достигнуть поверхности и отразиться на динамике поверхностных вод.

На динамику вод существенно влияют и подводные каньоны. Экспериментальные измерения скорости течений показали, что в каньонах она обычно выше, чем на материковом склоне, а направления течений имеют

реверсивный характер, то есть временами течения движутся вниз, а временами — вверх по каньону. Как правило, течения, направленные вниз, более сильные (были измерены скорости более 50 сантиметров в секунду), однако течения, направленные вверх, имеют большую повторяемость. Благодаря этому каньоны способствуют интенсивному обмену вод между глубоководными районами и шельфом, создают зоны выноса питательных веществ из глубинных слоев.

Вторгаясь в пределы береговой зоны, подводные каньоны создают аномально большие глубины, не характерные для соседних участков подводного берегового склона. А это прежде всего проявляется в изменениях скорости распределения и высоты волн.

Еще издавна рыбаки замечали, что во время шторма волнение спокойнее над вершиной каньона. Желая переждать шторм на своих небольших судах, они нередко отстаивались на якорю именно здесь, над прибрежной частью подводных каньонов.



**Рис. 38. Погруженные острова Тихого океана:
1 — гайоты; 2 — погруженные атоллы**

Причина ослабления волн над каньоном состоит в том, что волны на большей глубине более длинные, их скорость больше, чем на соседних участках «вне каньона». В этих районах волны уже начинают испытывать тормозящее действие дна, возрастают и опрокидываются, а над каньоном процесс еще подобен процессу волнения в открытом море.

Во время второй мировой войны, готовясь к десантным операциям, союзники были вынуждены изучать трансформацию штормовых волн в зависимости от рельефа дна. В результате этих исследований выяснилось, что в прибрежной части — вершине каньона — высота волны составляет 40% средней, тогда как между каньонами на таком же расстоянии от берега высота волн достигает 140 — 150% средней.

Вершины каньонов сильно влияют на характеристики упоминавшихся ранее вдольбереговых и разрывных течений. Как известно, разрывные течения развивают скорость несколько метров в секунду. Такие течения, прорвавшись на внешнюю сторону бурунов, устремляются к началу подводного каньона, поскольку здесь меньше высота волн, а сам рельеф дна облегчает сток воды. Подводные каньоны как бы втягивают в себя разрывное течение. Вместе с течением втягиваются в каньон и массы влекомых течением наносов, а это в свою очередь влияет на развитие каньона.

Влияние подводных каньонов на навигацию проявляется не только в изменении волнения или поверхностных течений. Их положение служит довольно точным ориентиром. В условиях плохой погоды и непрохождения радиоволн показания эхолота могут служить отправной точкой для определения места судна. При прохождении

двух каньонов по взаимному расположению измеренных глубин можно определить и место, и скорость судна.

Таковыми же естественными подводными ориентирами могут служить не только отрицательные формы рельефа дна океана — каньоны, но и положительные — гайоты и погруженные атоллы (рис. 38).

Гайоты представляют собой отдельно стоящие подводные горы, имеющие форму усеченного конуса с плоской вершиной. Глубина океана в районе гайота составляет 2000 — 3000, а иногда и 4000 метров, а расстояние от вершины гайота до поверхности моря — несколько десятков метров. Так, глубина моря над известной горой Ампер в Атлантическом океане напротив Гибралтарского пролива составляет 40 м при средней глубине в этом районе примерно 4000 метров.

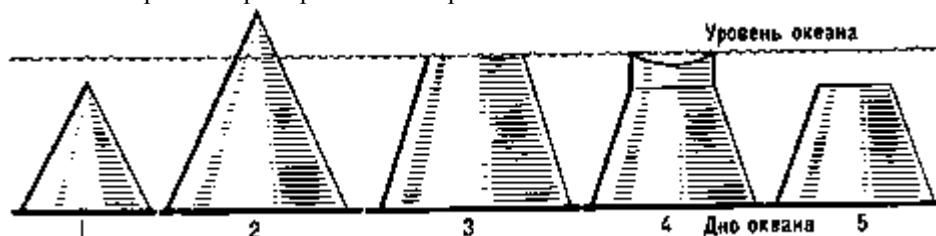


Рис. 39. Процесс образования гайота:

1 подводный вулкан; **2** — вулканический остров; **3** — остров с плоским верхом; **4** атолл; **5** — гайот

Гайоты, как и все другие подводные горы, имеют вулканическое происхождение. Когда-то гайоты представляли собой обычные вулканы, возвышавшиеся над уровнем моря. После того как они потухли, вершины вулканов были срезаны в результате разрушительного действия волн. Еще позднее плосковерхие потухшие вулканы оказались погребенными под слоем воды, «утонули» в океане то ли вследствие подъема уровня воды (из-за увеличения объема вод в океане), то ли в результате прогибания дна океана. В тропических районах Тихого океана образовавшиеся гайоты дали основу для роста на них атоллов (рис. 39). Многие такие атоллы до сих пор возвышаются над поверхностью океана в виде коралловых островов, другие же под действием продолжающегося прогибания дна опустились под поверхность и образовали погруженные атоллы. Эти атоллы, так же как и гайоты, с одной стороны, являются препятствием для плавания, с другой, наоборот, служат подводными ориентирами и позволяют мореплавателям точнее определить свое место в просторах океана.

БОЛЬШИЕ ВОЛНЫ В БУХТЕ

Иной раз, когда стены и крыши уже падали в пыли и пламени, посреди крика и тишины, когда все казалось уже навсегда успокоенным в смерти, выходила из Моря, как последний ужас, Великая Волна, гигантская рука моря, которая, грозно надвигаясь, подымалась вверх, как башня мести, смывая жизнь во всю ширину своего пути.

П. Неруда. Скитаясь по Вальпараисо...

Вынесенная в название главы фраза является буквальным переводом японского слова «цунами» и обозначает уникальное природное явление, которое известно всем, кто хоть немного соприкасается с морем, и многим, кто никогда даже не видел океанских просторов. Словосочетание «большие волны в бухте» дает представление о том, в чем выражается это природное явление в заливах.

Термин «цунами», давно ставший международным понятием, обозначает несколько следующих друг за другом длинных океанских волн, порождаемых резкими смещениями значительных участков дна океана. Цунами, как и землетрясения, — страшное бедствие, вызывающее огромные разрушения, опустошения и гибель людей. Поэтому не вызывает удивления, что сведения о цунами сохранились с 479 года до нашей эры. За весь прошедший с тех пор период продолжительностью почти 2500 лет было отмечено примерно 400 катастрофических цунами. Из этого числа более 86% приходится на акваторию Тихого океана, около 7% — на Атлантику.

Из приведенных данных следует, что основной район, где зарождаются цунами, — это сейсмический пояс разломов Тихого океана, к которому относится до 80% всех землетрясений, регистрируемых на земном шаре. Недаром эту зону Тихого океана называют «Огненным кольцом».

В пределах этого пояса участки земной коры, находящиеся под дном океана, опускаются, а края континентов поднимаются. Зона контакта поднимающихся и опускающихся участков земной коры довольно узкая, и это приводит к огромным напряжениям в коре. Когда породы не выдерживают напряжений, происходит разрыв земной коры, что и вызывает землетрясение. Продолжительность периода, в течение которого происходит разрыв, весьма мала, поэтому мощность землетрясения достигает огромного значения. Разрывы земной коры — землетрясения — вызывают сбросы, взбросы, сдвиги на дне, приводящие к опусканию или поднятию значительных площадей дна океана. В таких условиях в воде происходят практически мгновенные изменения объема и давления.

В момент опускания дна и возникновения провала вода устремляется к центру образовавшейся впадины, заполняет ее, затем под действием инерционных сил переполняет, формируя невысокий, но громадный по объему холм воды на поверхности океана. Под действием собственной тяжести эта выпуклость начинает совершать колебательные движения относительно среднего уровня океана — образуется цунами.

При резком поднятии дна вначале образуется выпуклость, которая под действием сил тяжести приходит в колебательное движение, и таким образом возникает цунами.

Цунами могут также образовываться при извержении подводных вулканов. По извержению вулкана Кракатау 27 августа 1883 года, которое непосредственно наблюдали многие очевидцы, можно утверждать, что в отдельных случаях высота волн достигает 40 метров. В этом случае механизм формирования волн был иной. Так, силой, вызвавшей цунами, был подводный взрыв. При этом с поперечными волнами, которые и представляют собой цунами, могут возникать продольные волны сжатия, контакт которых с днищем судна выражается в виде достаточно резких ударов, подобных тем, которые судно испытывает при посадке на мель. Свидетельством воздействия продольных волн служат многочисленные записи в вахтенных журналах об ударах о грунт в таких районах океана, где глубины достигают нескольких тысяч метров.

Существует также предположение о том, что цунами могут возникать вследствие воздействия огромных оползней, вытесняющих большие массы воды. Эта гипотеза не получила широкого распространения.

Но так или иначе, образовавшиеся на больших глубинах цунами представляют собой поперечную длинную волну (длиной 100 — 300 километров) ничтожно малой высоты (не более 2 метров), распространяющуюся со скоростью $v = \sqrt{gH}$ (где H глубина океана в метрах, g — ускорение свободного падения в метрах на секунду в квадрате). Эта скорость даже не может быть измерена, поскольку никакие суда, под килем которых эта волна проходит, не реагируют на нее. При средней глубине океана 4 километра скорость распространения цунами составляет около 0,2 километра в секунду (приблизительно 700 километров в час), их период равен 15 — 60 минутам.

Во время движения волн от эпицентра к побережьям их высота под действием сил трения уменьшается приблизительно обратно пропорционально пройденному расстоянию, а длина увеличивается. Но при выходе на мелководье эти волны резко увеличиваются по высоте, уменьшается их длина, гребни начинают разрушаться и по существу формируются огромные волны перемещения, к которым собственно и относится название «цунами». В некоторых случаях высота волн достигает 30 — 40 метров.

Наступлению цунами на берег обычно предшествуют понижение уровня моря и приход сравнительно небольших волн. Затем может быть вторичное понижение уровня, и после этого приходит цунами. За первой волной, как правило, приходит еще несколько волн большей величины с интервалами от 15 минут до 1 — 2 часов. Обычно максимальной бывает третья или четвертая волна.

Волны проникают в глубь суши в зависимости от ее рельефа иногда на 10 — 15 километров и, обладая большой скоростью, вызывают огромные разрушения и колоссальные человеческие жертвы.

Уже упомянутое цунами, сопровождавшее взрыв вулкана Кракатау, по-видимому, было самым разрушительным за последние десятилетия. Волны полностью затопили берега Явы и Суматры, граничащие с проливом, вода поднялась на 25 — 30 метров, смыла многие наземные пункты. Утонули более 36000 человек. На берег было выброшено множество судов, среди них крейсер «Бероу», занесенный волной на 1,8 мили в глубь материка и осевший на высоте около 10 метров над уровнем моря. Образовавшиеся волны проникли в Индийский океан, обогнули мыс Доброй Надежды и были зарегистрированы в Северной Атлантике.

Другие цунами, хоть и менее мощные, производили колоссальные разрушения в отдельных районах земного шара.

Более всего от цунами страдают берега Камчатки, Японии, Курильские и Гавайские острова. Цунами наблюдались также и в Черном море: за последние 60 лет здесь зарегистрировано 5 землетрясений, сопровождавшихся цунами. Правда, величина их у берега составляла всего лишь несколько сантиметров, но все же...

А жизнь народов побережья Тихого океана тесно связана с морем. Одни из них ведут активную внешнюю торговлю и располагают большим торговым флотом, крупными портовыми сооружениями. Другие — народы преимущественно островных государств, а также стран с береговой линией большой протяженности — занимаются каботажными перевозками, используя множество мелких судов и небольших портов. Такие страны, как, например, Япония, обладают большим числом портов, судостроительных верфей, электростанций, нефтеочистных сооружений и других важных промышленных объектов. Зависимость этого региона, экономических интересов многих стран от цунами заставила скоординировать научные усилия тихоокеанских государств на изучении этого грозного природного явления.

В 1965 году в Гонолулу (США) был создан Тихоокеанский международный центр по предупреждению цунами. Двадцать два государства, в том числе Советский Союз, вошли в состав Международной координационной группы. На территории некоторых государств этого региона размещены станции, принадлежащие Тихоокеанскому международному центру, а на некоторых островах действуют службы наблюдений за приливами. Существующая Международная система по предупреждению цунами включает в себя 24 сейсмические станции, 53 станции наблюдений за приливами и 52 пункта оповещения, находящиеся в ведении различных государств-участников. В ее задачи входят регистрация и определение наиболее сильных землетрясений в районе Тихого океана, выяснение возможности образования цунами, представление заблаговременной и достоверной информации и оповещение населения региона, с тем чтобы свести до минимума

возможные отрицательные последствия цунами.

Созданию Международной системы по предупреждению цунами предшествовало проведение крупных научных исследований природы цунами, продолжающихся до сих пор. Прежде всего были определены основные районы очагов цунами. Ими оказались глубоководные впадины Курило-Камчатского, Перуанского и Чилийского желобов, разломов Тонга и Нова-Кантон и др.

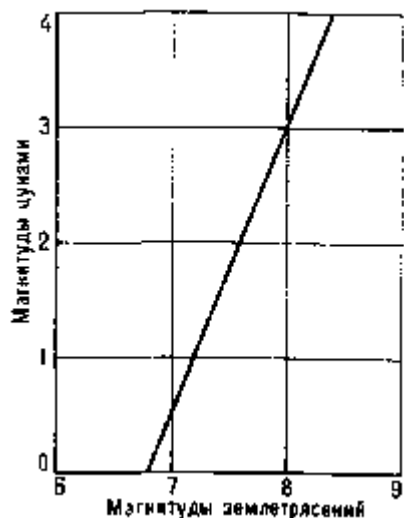


Рис. 40. График зависимости интенсивности цунами от интенсивности землетрясения

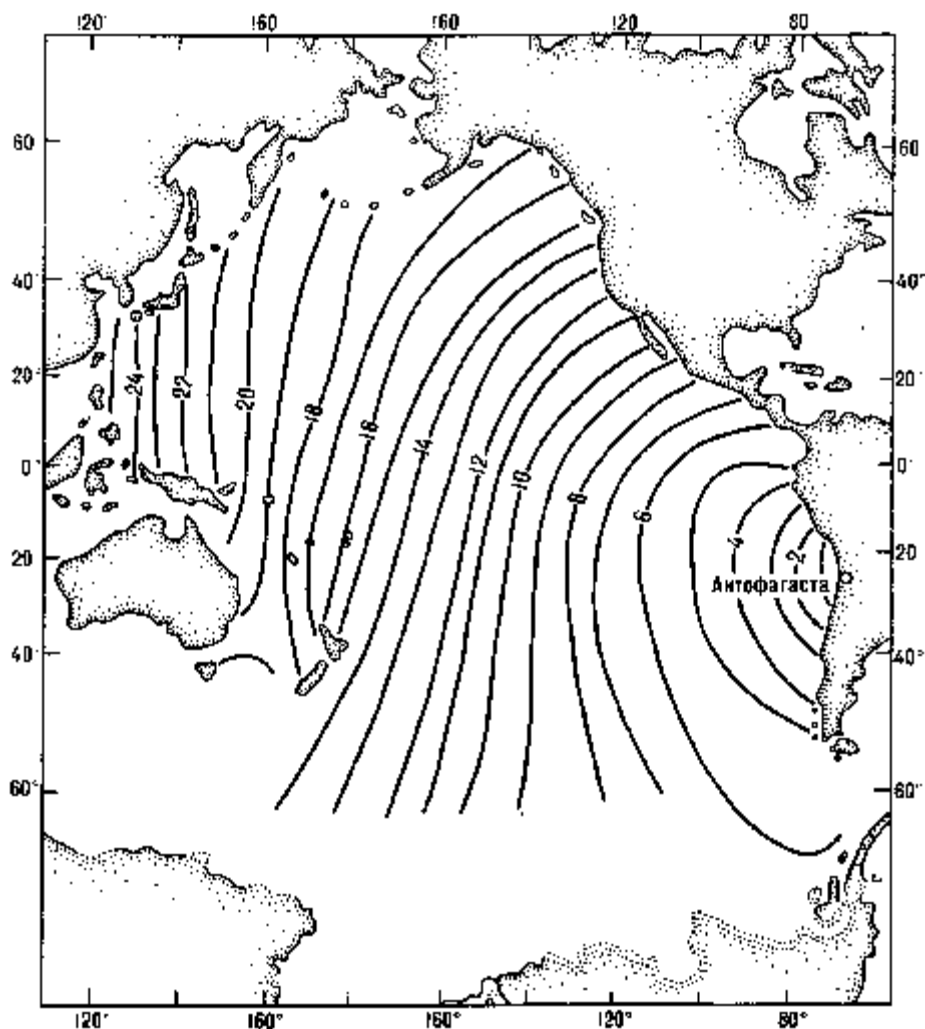


Рис. 41. Последовательное (через 1 час) положение фронта волны Чилийского цунами 22 мая 1960 года

Затем были сделаны попытки связать появление цунами с интенсивностью землетрясений. Выяснилось, что только 1 % подводных землетрясений вызывает цунами. Цунами образуются, если очаг землетрясения

находится на сравнительно небольшой глубине (до 40 километров) от поверхности дна. Реже наблюдаются цунами при глубине очага землетрясения от 50 до 80 километров и практически не наблюдаются при глубине, большей 80 километров, несмотря на большую силу землетрясения.

Сила цунами прямо пропорциональна силе землетрясений. Интенсивность землетрясений оценивается в магнитудах от 0 до 8,5; по аналогии с землетрясениями и интенсивность цунами оценивается в магнитудах от 0 до 4 (только в целых числах). Оказалось, что цунами вызывают землетрясения с магнитудой, большей 6,5 (рис. 40). Размеры цунами сильно зависят от площади, охваченной землетрясением, то есть от зоны зарождения цунами.

Некоторые цунами возникают в результате деформаций дна, имеющих протяженность в сотни километров. Эпицентр землетрясения не всегда находится в зоне зарождения цунами, иногда он может располагаться и в стороне от него.

Большое значение в познании природы цунами и их воздействия на берега имеют результаты изучения путей движения цунами. Сразу после своего образования цунами бегут по просторам океана как свободные длинные гравитационные волны приблизительно концентрической формы. Они покрывают огромные расстояния.

Скорость волны определяется глубиной океана и потому на всем ее пути является переменной. Одни части волнового фронта опережают другие, фронт теряет кольцеобразную форму, изгибается, иногда даже ломается. Волны начинают пересекать друг друга. Наконец, от берегов и островов происходит отражение волн. Отраженные волны накладываются на прямые — интерферируют. Словом, возникает очень сложная картина (рис.41).

Цунами, приходящее на побережье, является продуктом собственной трансформации. Воздействие такой волны на береговые объекты, степень ее разрушительных свойств зависят от формы волны, точнее, от обрушения или необрушения ее переднего склона. С одной стороны, обрушивающаяся волна при прочих равных условиях более опасна как для населения прибрежных районов, так и для сооружений. С другой стороны, вследствие перехода части энергии обрушивающейся волны в турбулентное движение воды такая волна проходит меньшее расстояние, чем необрушивающаяся, следовательно, размер затопляемой зоны будет меньше, чем в случае спокойного подтопления берега.

Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев (более 75%) накат цунами на берег происходит без обрушения переднего склона. Это характерно прежде всего для цунами высотой до 10 метров, которых большинство. Доля обрушивающихся цунами растет с увеличением высоты волн. Число таких цунами составляет примерно четверть, и потому обрушение волн необходимо принимать во внимание при расчете зданий и портовых сооружений в зоне затопления.

Воздействие цунами сильно зависит от формы береговой линии, наличия или отсутствия бухт, заливов, ширины входа в бухту и ее длины. В частности, была получена зависимость высоты волны от ширины бухты при входе и в вершине. Оказалось, что при ширине бухты при входе, большей в 6 — 8 раз, чем в вершине, высота цунами возрастает в 2 — 2,5 раза. Наоборот, при расширении бухты к вершине высота волны уменьшается.

Влияние формы берега на цунами очень существенно. Прямолинейное очертание берега, значительный уклон дна при достаточной высоте берега вызывают только повышение уровня. При невысоком берегу происходит кратковременное затопление побережья. Значительный рост цунами наблюдается в бухтах, имеющих сужающиеся берега и равномерно уменьшающиеся по направлению к берегу глубины, а также в проливах с достаточной длиной, суживающимися от входа берегами и уменьшающимися глубинами.

Так, во время цунами 1 апреля 1946 года был разрушен порт Хило (остров Гавайи), который был близко расположен к эпицентру и к тому же обладал изрезанной узкими проливами береговой линией, как бы созданной для того, чтобы «притягивать» цунами. Капитан судна, находившегося недалеко от порта в открытом море, с изумлением видел, как город гибнет под ударами тех самых волн, которые проходили под его судном, не причиняя ему вреда. Другое судно «Бригэм Виктори» в это время разгружало в порту лес. В столкновении с цунами оно было сильно повреждено, но не затонуло, между тем как причал и все портовые сооружения были разрушены. В то утро в Хило погибли 173 человека, а убытки исчислялись в 25 миллионов долларов.

Широкие бухты с узким входом вызывают существенное уменьшение высот волн. При входе длинных волн в залив в нем возбуждаются собственные колебания. В случае совпадения периода этих собственных колебаний бассейна с периодом входящих цунами возникает явление резонанса, что приводит к появлению волн особенно большой высоты.

Для борьбы с различными стихийными бедствиями человечество выработало два надежных способа: пассивный (прогноз или предупреждение о явлении) и активный (строительство защитных сооружений). В частности, для защиты населенных пунктов от цунами могут возводиться всевозможные сооружения: волноломы, дамбы, стенки, искусственные отмели. В Японии используются насаждения лесных полос и кустарников вдоль берега. Однако все эти меры пригодны для защиты от слабых и средних цунами высотой до 6 — 7 метров. При сильных цунами они становятся неэффективными.

Основная мера защиты от цунами — это его прогноз и предупреждение. Предсказание цунами в первую очередь зависит от того, как будет предсказано землетрясение. В настоящее время землетрясения не предсказываются, поэтому задача прогноза цунами в прямом смысле этого слова пока также неразрешима. Общие сведения о циклах сейсмичности тех или иных районов могут дать только ожидаемую картину в

многолетнем плане, то есть в такой-то ряд лет, например в 1985 — 1987 годы наиболее вероятно ожидать сильные подводные землетрясения. Но задачу прогноза цунами такое предсказание, конечно же, не решает.

Сейчас под прогнозом цунами подразумевается расчет времени, необходимого для подхода волны от эпицентра уже свершившегося в океане землетрясения до заданного пункта побережья. Основой для такого прогноза служит разность по времени Δt (в секундах) между приходом сейсмической волны от эпицентра землетрясения, которая идет со скоростью v_c (в километрах в секунду), и приходом волны цунами, которая имеет скорость распространения $v_n = \sqrt{gH}$,

$$\Delta t = [(v_c - v_n) x] / v_c$$

В этой формуле x — расстояние в километрах от эпицентра землетрясения до данного пункта. Принимая среднюю скорость распространения упругих сейсмических волн v_c равной 10 километрам в секунду, а скорость длинной волны в открытом океане v_n равной 0,2 километра в секунду, получим $\Delta t = 5x$.

На сейсмических станциях, получив сигнал о происшедшем землетрясении, в первую очередь определяют интенсивность и эпицентр. Для этого собственные данные сопоставляют с данными других сейсмических станций (которые приходят по радио или телеграфом) и по полученным азимутам достаточно точно определяют положение центра землетрясения.

Дело в том, что определенная интенсивность землетрясения не является единственной предпосылкой того, что возникнет цунами, а данные сейсмических станций не позволяют определить глубины залегания его очага. Поэтому расположение эпицентра является дополнительным фактором, увеличивающим возможность правильного предсказания факта цунами, поскольку известны наиболее опасные районы океана, где землетрясения чаще всего вызывают это явление.

Так, у берегов Японии землетрясения, сопровождаемые цунами, появляются чаще тогда, когда их эпицентры расположены к востоку от Сангарского пролива и к югу от острова Сикоку. Для дальневосточных районов Советского Союза, наиболее подверженных воздействию цунами, — Камчатки и Курильских островов наиболее опасными являются цунами, возникающие в районах Курило-Камчатской впадины.

Сейсмическая станция, оценив интенсивность землетрясения и потенциальную опасность района, где оно произошло, передает сообщение о возможном образовании цунами и наиболее вероятном времени его появления у того или иного пункта.

Большую помощь в выявлении цунами дают наблюдения за уровнем океана вдоль пути прохождения волны: на океанских островах и вдоль побережья. Сведения о волне цунами, непосредственно измеренной мареографами, немедленно передают в центр оповещения, что позволяет уточнить величину явления и время его подхода к различным пунктам. Такая система работает практически безошибочно.

Но она может функционировать только тогда, когда очаг землетрясения находится достаточно далеко и на пути движения волны есть острова и пункты, оборудованные мареографами.

Например, для Тихоокеанского побережья США и Гавайских островов наиболее опасными с точки зрения возникновения цунами являются землетрясения у берегов Южной Америки. Обратившись к рис. 41, устанавливаем, что время добегания волны цунами в этом случае составляет несколько часов (до десяти). За это время ответственные службы не только успевают уточнить величину волны, но и послать навстречу ей самолет, который сбрасывает буи — измерители уровня воды и с их помощью уточняет время прихода волны с точностью до минут.

По-иному обстоит дело на советских берегах Дальнего Востока. Наиболее опасный цунамигенный район Курило-Камчатского желоба отстоит всего на 100 — 150 километров от побережья. Волна цунами добежит здесь до берега всего за 20 — 30 минут после землетрясения, и на ее пути нет ни одного пункта, где можно установить измерители уровня.

Система оповещения о цунами основана здесь лишь на анализе сейсмических данных группы станций. Для быстрого определения эпицентра землетрясения создана специальная установка (размещенная в Петропавловске-Камчатском, Ключах, Курильске, Южно-Сахалинске).

Однако без непосредственного измерения самих цунами система, основанная на анализе сигналов о землетрясениях, может давать ошибки. Так, с 1956 года этой системой было дано приблизительно 20 оповещений. Из них полностью подтвердилась примерно четверть оповещений, примерно столько же не подтвердилось. Кроме того, пять цунами не были предсказаны.

С одной стороны, непредсказуемые цунами наносят большой ущерб хозяйству, а главное — уносят человеческие жизни. С другой стороны, не оправдавшиеся прогнозы, ложные тревоги подрывают доверие населения к системе предупреждения, и население может бездействовать в случае действительной опасности. Поэтому перед учеными была поставлена задача создать такую службу оповещения о цунами, которая имеет 100-процентную гарантию надежности и позволяет дать оповещение о явлении через 3 — 7 минут после его возникновения. Был разработан и сейчас реализуется проект Единой автоматизированной системы оповещения о цунами (ЕАС «Цунами»). По этому проекту к 1990 году должен быть создан комплекс, включающий в себя:

автоматические сейсмические станции во многих пунктах на Курильских островах, Камчатке и острове Сахалин;

автоматические донные измерители уровня, которые будут установлены на расстоянии 20 — 50 километров от берега вдоль Тихоокеанского побережья Камчатки и Курильских островов и по кабельным каналам или радиоканалам связи передавать в береговые центры информацию о колебаниях уровня в открытом море;

береговые центры сбора информации, которые с помощью электронно-вычислительных машин будут анализировать данные сейсмических станций и мареографов, определять вероятность наступления цунами в месте своего базирования, давать оповещения о цунами в этом месте и с помощью спутников связи передавать все данные в Южно-Сахалинск в Центр цунами;

Центр цунами, оценивающий опасность цунами для всего Дальнего Востока и оповещающий заинтересованные организации и население.

Для оснащения Единой автоматизированной системы оповещения о цунами учеными созданы новые приемники и передатчики информации, разработаны программы для электронно-вычислительных машин, с помощью которых эта информация обрабатывается, из нее выделяется сигнал, несущий информацию о цунами, автоматически дается команда оповещения. Создано главное первичное звено системы — уникальный измерительный прибор, который, будучи установлен на дне моря на глубине 5 — 6 километров, позволяет регистрировать колебания уровня до 50 — 100 миллиметров и отфильтровывать из всех изменений уровня те, которые возникают при прохождении цунами. На первом этапе создания НАС отдано предпочтение наиболее апробированному кабельному каналу связи донных уровнемеров с берегом. Для радиоканалов нужно установить в море заякоренные буи с антеннами. Установить же их у восточных берегов Курильских островов, где часты жестокие штормы и ветер и волны не только срывают с якорей буи и рыболовные снасти, но и сдирают краску с металлической арматуры буев, — очень сложная техническая задача.

Для увеличения надежности и исключения случаев прохождения непредсказанного цунами зоны действия сейсмических станций, донных мареографов, каналы связи будут иметь тоекратные перекрытия. Создание автоматизированной системы позволит впервые в Советском Союзе установить надежное наблюдение за этим грозным явлением природы, уменьшить материальный ущерб от затоплений, исключить случаи гибели людей.

Но и после создания ЕАС «Цунами» многое будет зависеть от оперативности действий людей. Способами защиты от цунами были и остаются эвакуация населения и материальных ценностей в возвышенные районы, затопление которых исключается, и вывод судов в открытое море навстречу волне.

При невозможности вывода судов принимают меры к усилению швартовов, закрепляют судовые и портовые механизмы. Это достаточно общие рекомендации, но в каждом порту существуют правила, разработанные для него на случай возникновения цунами. При получении судном предупреждения о цунами экипаж должен действовать в соответствии с этими правилами.

СВЕТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ОКЕАНЕ

...А океан, вы думаете, заснул? Нет, он кипит и сверкает пуще звезд. Под кораблем разверзается пучина пламени, с шумом вырываются потоки золота, серебра, раскаленных углей... Наступает за знойным днем душнo-нослaдкaя нoчь с мерцанием в небесах, с огненным потоком под ногами, с трепетом неги в воздухе.

И. А. Гончаров. Фрегат «Паллада»

Еще в эпоху плаваний древних греков и финикийцев, арабов и индусов отмечалось свечение моря. Его красочные описания можно найти и в «Одиссее», и в арабских сказках «Книги тысячи и одной ночи». Со времени Великих географических открытий известно оно и европейцам.

Путешественники отмечали, что зачастую, особенно в тропических широтах, в темное время суток хорошо заметно свечение воды, набегающей на форштевень судна: светится бурлящая вода у бортов, обтекая корпус, за кормой образуется клубящаяся постепенно суживающаяся и загущающаяся светлая полоса. Свечение воды не только повышает общую яркость в открытом море, но и выделяет на фоне моря берег, скалы, рифы, отмели, молы, буи и суда.

Почему же море светится?

Еще в первом русском кругосветном путешествии, предпринятом И. Ф. Крузенштерном, его участники — естествоиспытатели изыскивали «причину светящихся явлений в воде морской» и пришли к выводу, что «морская вода светится не от движения и трения частиц оной» и что «действительной виной того суть органические вещества».

Время подтвердило догадку путешественников. Как выяснили гидробиологи, свечение моря вызывается в основном биолюминесценцией морских организмов. Чаще всего встречается «искрящееся» или «мерцающее» свечение разнообразных одно- и многоклеточных существ планктона размерами от десятков микронов до нескольких миллиметров. Когда таких светящихся существ много, отдельные точки света сливаются в неравномерное сияние.

Это свечение возникает при механическом раздражении организмов, например при движении животных и рыб, при ударе веслом по воде, а также при химическом воздействии выделений из желез морских беспозвоночных организмов. Особенность свечения этого типа состоит в том, что оно вызывается у испускающих свет мелких организмов механическими или химическими раздражителями на более или менее короткое время непосредственного воздействия и последствий раздражителя на организм.

Даже при большом количестве способных к свечению организмов вода не светится, если она ничем механически не возмущена. Поэтому такое свечение наблюдается чаще и бывает интенсивнее в прибрежных

водах, особенно в заливах, бухтах и гаванях, то есть там, где распространены местные возмущения воды от прилива и колебаний уровня вблизи молов, берегов, причалов.

Движущееся по воде судно создает значительное местное механическое возмущение, которое проявляется на поверхности в виде судовых волн, а при определенных гидрологических условиях — в виде внутренних волн на некоторой глубине. К тому же вокруг подводной части плывущего судна возникает более или менее заметное облако пузырьков воздуха, густое у ватерлинии и более мощное в зоне действия винта. Поэтому кильватерный след судна еще долго сохраняется в море: интенсивность его свечения тем больше, чем больше скорость и осадка судна.

Вторым типом свечения является «разлитое», или «молочное», свечение. Его создают бактерии. Оно, как выяснилось, не усиливается при механических или химических воздействиях. Такое свечение создает как бы общий светлый фон. Оно отличается от свечения первого типа большим распространением в пространстве. Зачастую при свечении такого типа молочным светом залито все видимое вокруг судна пространство. Если светящиеся бактерии находятся в некотором слое на глубине, то кажется, что море подсвечено снизу. При этом при прохождении внутренних волн, гребни которых находятся ближе к поверхности, чем их подошвы, светящиеся бактерии создают впечатление пульсации света при приближении данного слоя к поверхности.

Молочное свечение моря встречается гораздо реже, чем искрящееся. Еще реже встречается свечение третьего типа — вспышковое, или свечение крупных животных.

Известно, что некоторые глубоководные беспозвоночные и даже рыбы светятся целиком или имеют светящиеся части тела: это рыба-удильщик с приманкой — фонарем впереди головы, это неглубоководная бразильская акула, у которой нижняя часть тела испускает яркий зеленый свет. Обычная в Баренцевом море гренландская акула обладает светящимися органами над задней жаберной частью, на затылке, в передней части туловища и над боковой линией в виде продольных полос. Гидробиологами обнаружено также много видов светящихся медуз, иглокожих, моллюсков. Этот тип свечения определяется видом организмов, испускающих свет. Зачастую организмы светятся постоянно, но для свечения некоторых требуется механическое или химическое возбуждение.

В реальных морских условиях трудно различить указанные три типа свечения. Зачастую невозможно отличить искрящееся свечение, вызванное движением несветящихся рыб и медуз в спокойной воде, от собственного свечения этих организмов, так как светящийся планктон окружает эти крупные организмы облаком искорок. При таких условиях несветящиеся медузы могут быть приняты за светящиеся, а искрящееся свечение за свечение медуз. Трудно выделить типы свечения еще и потому, что они люгут встречаться в море не только по отдельности, но и в сочетании.

Своеобразным феноменом является свечение морского льда. Как известно, морской лед, особенно молодой, имеет своеобразную решетчатую структуру, перекладинами которой служат игольчатые кристаллы льда, а «просветы» заполнены морской водой, концентрация солей в которой повышена вследствие вымораживания. В этих «просветах» часто сохраняют жизнеспособность и способность к свечению планктонные организмы. Поэтому при разломах льда может появляться свечение, которое достигает наибольшей яркости при движении ледоколов. Тогда лед, разламываемый корпусом судна, светится, освещая все трещины, грани и разломы «горящими» точками и искрами. Из-под скал ледокола по временам вырываются «горящими брызгами» куски раскрошенного льда.

Такие случаи иногда наблюдаются в Охотском море. Установлено, что молодой лед толщиной до 5 сантиметров не светится вовсе. Отчетливо светится лед толщиной 5 — 10 сантиметров, но сильнее всего — лед толщиной 10 — 30 сантиметров. Еще более толстый лед светится слабее; при одинаковой толщине с гладким льдом торосистый лед светится сильнее. Иногда во льду светятся крупные пятна диаметром от 5 до 30 сантиметров.

Снег на льду, пропитанный морской водой, при механическом воздействии также светится. Светятся, например, в течение нескольких минут отпечатки шагов или полозьев саней.

Наряду с биолюминесценцией в морской воде обнаружено явление фотолуминесценции или флуоресценции. Этот тип свечения возбуждается в морской воде оптическим излучением. Он обусловлен наличием в морской воде стойких растворенных органических веществ, которые образуются из остатков растений на суше и в воде.

Интенсивность фотолуминесценции зависит преимущественно от концентрации растворенных органических веществ, главным образом хлорофилла. Поэтому в местах большого содержания хлорофилла — в устьевых областях рек, высокопродуктивных районах морей и океанов — этот тип люминесценции встречается чаще. Поскольку, с одной стороны, фотолуминесценция возбуждается световым излучением, а с другой, — концентрация хлорофилла зависит от интенсивности солнечного освещения, интенсивность люминесценции имеет суточный ритм. Эта закономерность проявляется во всех районах Мирового океана.

Многообразие и изменчивость картин свечения моря огромны. Трудность анализа и объяснения этого многообразия и изменчивости во времени и в пространстве объясняются не только тем, что обычно не известно, какие организмы светятся в данный момент, но и тем, что не известны причины, возбуждающие свечение моря. Поэтому все объяснения явлений био- или фотолуминесценции можно дать лишь в качестве предположения. Особый интерес вызывают случаи фигурного свечения моря.

Вот запись, сделанная в вахтенном журнале английского парохода «Арракан» 19 декабря 1927 года в Андамском море:

«В два часа ночи судно прошло мимо нескольких мерцающих пятен света на поверхности моря. От этих пятен

постепенно вытягивались светлые полосы, и все явление, постепенно приобретая форму колеса со спицами, начало вращаться против часовой стрелки в 200 ярдах к западу от судна. Через 5 минут фосфоресцирующий свет ослабел, но затем снова стал ярче, при этом «спицы колеса» вращались в противоположном направлении, то есть по часовой стрелке. Через 15 минут это явление исчезло».

В 1973 году моряки теплохода «Антон Макаренко» наблюдали в Малаккском проливе светящиеся пятна, которые внезапно стали вытягиваться в полосы, радиально расходящиеся от судна. Затем концы полос загнулись в одну сторону, образовав огромное колесо, которое стало все быстрее и быстрее вращаться против часовой стрелки.

С давних пор моряки, возвратившиеся из тропических морей Юго-Восточной Азии, рассказывали о встречающихся там гигантских, диаметром по несколько миль, светящихся колесах, вращавшихся с большой скоростью на поверхности моря. Западно-европейские моряки окрестили их «дьявольской каруселью», в Азии их называют «колеса Будды». Эти светящиеся колеса имеют частоту вращения до 100 оборотов в минуту, диаметр от нескольких десятков метров до нескольких километров, а из центра круга исходят прямые или изогнутые «спицы».

В Охотском море часто наблюдается в различных его местах и в разное время года сложное и очень подвижное фигурное свечение. Русский военно-морской врач Ф. Д. Дернак так описывал этот эффект:

«С наступлением темноты замечалось сильное свечение обычного характера... Но внезапно в 11 часов вечера за кормой вспыхнул интенсивный зеленовато-белый свет: световое пятно быстро увеличилось и, продвигаясь вперед, окружило судно. Имея корабль в центре, эта ярко освещенная поверхность некоторое время двигалась вместе с ним, а затем быстро удалась от судна, в 2 — 3 минуты достигла горизонта и светилась там в виде яркой светлой полосы, давая отблеск на облаках. Световые пятна возникали за кормой одно за другим и, обгоняя корабль, исчезали за горизонтом. Были такие моменты, когда зарождение пятен, их отделение от корабля и дальнейшее самостоятельное движение можно было наблюдать одновременно: одно пятно появлялось за кормой, другое уже отделялось от судна, третье плыло в некотором отдалении от него, а четвертое уже освещало горизонт».

Биологическая основа свечения моря не вызывает сомнений. И все же наибольшую трудность представляет объяснение быстрого передвижения пятен света и феномена светящихся колес. В случаях «вращающихся колес» свечение, по-видимому, возникает на гребнях внутренних волн, возбужденных действием судна.

Другим объяснением этих явлений можно считать образование мелкомасштабных вихрей с вертикальной составляющей, достигающей силы и масштаба водоворота. Такие вихри и водовороты возникают по краям течений, в местах стыка различно направленных течений любого происхождения, где глубина невелика и где сильны приливно-отливные течения.

Наконец, механическое воздействие может совпадать с химическим (или биологическим?) взаимодействием самих светящихся организмов: раздражение, вызванное движением воды, передается от организма к организму. При этом вспыхнувшие вначале организмы успокаиваются, и в этом месте свет «гаснет». Возмущение передается по цепочке в виде своего рода волны.

Возможно, подобная картина имела место и в Охотском море. Сам Ф. Д. Дернак пытается объяснить это следующим образом:

«В районе хода судна шли полосой массы организмов, способных при раздражении издавать яркий свет. Попадая в такую полосу, пароход движением винта вызывал раздражение этих организмов, передававшееся от одного к другому, и тем самым — свечение. Чем больше организмов втягивалось в это раздражение, тем больше становилась светящаяся область. Область эта, достигнув известного предела, уже более не увеличивалась (момент появления вокруг судна большого светящегося пятна). Затем пароход выходил из полосы этих организмов, а вызванное им раздражение сохранялось (момент отхода пятна от парохода). Дальнейшее движение светящегося пятна можно объяснить, по-видимому, тем, что вызванное пароходом раздражение передавалось соседним организмам и свечение направлялось по пути их хода. Благодаря этому величина удалявшегося светящегося пятна оставалась приблизительно одинаковой. В пользу такого объяснения говорит быстрота движения световых пятен, проходивших за 2 — 3 минуты от судна до горизонта. С такой быстротой сами организмы продвигаться, конечно, не могли. Затем пароход пересекал полосу организмов в другом месте или другую полосу, и тогда появлялось второе светящееся пятно, которое в свою очередь удалялось, и т. д.» Фигурное свечение моря представляет собой, конечно, весьма своеобразное и грандиозное зрелище. Но не меньшее впечатление может произвести и молочное свечение. Вот что писал в 1977 году в журнале «Морской флот» первый помощник капитана теплохода «Николай Кремлянский» Н. Урс:

«Теплоход «Николай Кремлянский» вышел из Аденского залива и, следуя вдоль восточного побережья Африки, направился на о. Реюньон (Франция).

14 августа в 02 часа 00 мин судно находилось на траверзе мыса Хафун. Ночь была безлунная, дул обычный для этого времени года юго-западный муссон.

Вдруг море засветилось бело-матовым светом, образовав вокруг судна огромный, почти доходящий до горизонта светящийся круг. «Такое впечатление, что как будто гигантский фонарь подсвечивал воду снизу», — говорит по этому поводу вахтенный — второй помощник капитана В. В. Шило. Вокруг стало совсем светло. Забеспокоился вахтенный механик В. Т. Рудь. Позвонив на мостик, он доложил, что без видимой причины упали обороты главного двигателя с 107 до 104 об/мин, изменилась температура забортной воды с +26 до +19°.

Спустя минут 25 — 30 свечение воды стало уменьшаться, а пройдя около 8 миль, судно вышло из

светящегося круга вообще, оставив его угасающим за кормой. Прежними стали обороты главного двигателя, поднялась температура забортной воды».

Этот случай, вероятно, связан с апвеллингом глубинных холодных вод вблизи Сомалийских берегов. В этом районе возникшее под действием летнего юго-западного муссона Сомалийское течение поворачивает и удаляется от берега. На место теплых поверхностных вод поднимается глубинная вода, богатая планктоном и фосфоресцирующими бактериями, и в темное время суток наблюдается молочное свечение моря.

Если в центре ядра апвеллинга глубинная вода обычно выходит на поверхность, то на периферии этой зоны выше тяжелой глубинной водной массы может оставаться тонкий, толщиной 5 — 10 метров, слой легкой и теплой поверхностной воды. Такое «поднятие» холодных и более плотных вод к поверхности привело к переслоению ее по вертикали и к возникновению «мертвой воды», что в свою очередь явилось причиной снижения частоты вращения вала двигателя, поскольку винт и устройства для забора воды оказались ниже границы, разделяющей поверхностные теплые воды и глубинные холодные.

Очень часто подобное явление наблюдается в Андаманском море, где речные воды, распространяясь поверх плотной морской воды, одновременно являются возбудителем свечения морских организмов и причиной возникновения «мертвой воды».

Особое место занимают световые явления при землетрясениях, подводных оползнях, обвалах и вызываемых ими цунами. Необычайно интенсивным, относительно длинным и нередко повторяющимся механическим импульсам во время землетрясений соответствуют и исключительно яркие и сравнительно продолжительные явления свечения моря.

Так, во время грандиозного землетрясения 1 сентября 1923 года, известного в Японии под названием Кван-то, рыбаки видели несколько огненных столбов в заливе Сагами перед входом в токийскую бухту. Рельеф дна в заливе Сагами изменился тогда очень резко — на десятки и сотни метров. Можно представить себе, какие мощные импульсы передавались светящимся организмам через воду.

В 1792 году в одной из бухт острова Кюсю ночью произошел оползень. Скалы рухнули в воду, вызвав огромные волны, которые излучали пылающий свет.

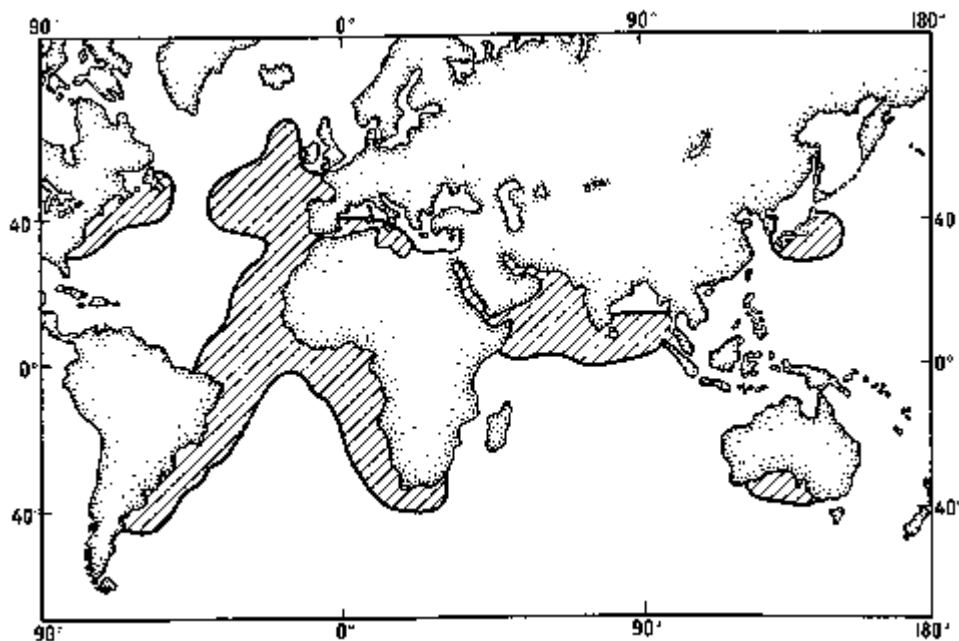


Рис. 42. Районы с наибольшей повторяемостью свечения воды (заштрихованы)

Пятнадцатого июня 1896 года в области Санрику в северной части Тихоокеанского берега острова Хонсю цунами до 25 метров высотой смыли несколько деревень и городов. Море отступило на треть мили, обнажившееся дно стало испускать голубовато-белый свет, такой яркий, что в безлунную ночь были хорошо видны деревья. Находившиеся в море ощутили сильные толчки, море засветилось так ярко, что можно было различить узоры на одежде.

Наконец, наиболее часто встречающееся искрящееся свечение появляется тогда, когда вода, содержащая планктонные организмы, способные светиться, встречается с препятствием на пути движения. Появляются вспышки, которые очерчивают линии соприкосновения предметов с водой. Эти вспышки помогают судоводителям в темное время суток обнаружить препятствия и принять меры к предупреждению столкновения с ними. Но они могут быть и причиной недоразумений. Судоводители должны помнить о том, что подобные вспышки появляются также при движении косяков рыб, дельфинов, акул, китов, прохождении внутренних волн, ветровом волнении.

Интенсивность и повторяемость свечения зависят от видового и количественного состава светящихся организмов и их сезонной изменчивости. К настоящему времени выявлено и описано более 50 видов

светящихся одноклеточных водорослей фитопланктона, многие виды медуз, донных организмов: гребневиков, гидроидов, червей, а также ракообразных, моллюсков, иглокожих и рыб. В тех районах океанов и морей, где биогенные элементы выносятся к поверхности, наблюдается интенсивная жизнедеятельность и высокая биологическая продуктивность.

Свечение моря наблюдается во многих морях, но наибольшую повторяемость это явление имеет в Бискайском заливе, на подходе к Буэнос-Айресу, около южной оконечности полуострова Индостан, у островов Зеленого Мыса, в южной части Красного моря (рис. 42). Важно то, что области океана с частым свечением характеризуются большими годовыми изменениями температуры, вызванными чаще всего сгонно-нагонными явлениями муссонного происхождения; это области взаимодействия холодных и теплых течений, районы впадения крупных рек.

Каково же практическое значение свечения моря?

Свечение не только дает подсветку ночному морскому пейзажу, но и выделяет наиболее существенные для штурмана предметы и места: мели, рифы, льдины, айсберги, оголовки молов. При свечении моря можно легко определить дрейф по отклонению кильватерной струи от курса судна. Ночью при свечении моря легче идти в кильватерном строю. Во время второй мировой войны свечение моря позволяло увидеть место торпедного выстрела, а также след торпеды и вовремя уклониться от встречи с ней. Свечение моря позволяет визуально находить косяки рыбы и отдельных морских животных, поскольку стаи рыб и единичные крупные объекты заметны ночью, если в воде достаточно светящегося планктона. Волнообразные движения рыбы, расталкивание ею воды, дрейф и рыскание вызывают в воде далеко за контурами рыбы вихревые явления, а тем самым и свечение. Опытные рыбаки различают «мертвое» свечение, представляющее собой обычное искрящееся свечение, и «рыбное» свечение — интенсивные вспышки, вызванные стремительными движениями рыб. Изучение поведения рыбы при свечении моря дает возможность проводить лов на свет, выбирая интенсивность света, цвет лампы, время лова.

Наконец, определение интенсивности люминесценции в морской воде позволяет обнаружить присутствие антропогенных загрязнений, в первую очередь нефтепродуктов. С помощью этого метода проводят изучение динамики вод океана. Оказалось, что растворенное органическое вещество довольно стойко в морской воде. Это помогает получать быструю информацию о перемещениях зон ап-веллингов, распространении в море речных струй, меандрировании течений.

Но известны и отрицательные эффекты свечения моря, касающиеся в первую очередь судоводителей. Первое отрицательное последствие свечения моря, хотя и не самое распространенное, — это снижение остроты ночного зрения судоводителей при большой яркости свечения моря или при сильном контрасте светящегося моря с окружающей тьмой. Вторая помеха от свечения моря заключается в ослаблении внимания судоводителей, вызванном трудностью сосредоточения среди переливов искрящегося свечения или неожиданных вспышек отдельных, но нередко крупных организмов. Третий отрицательный эффект состоит в том, что отдельные участки поверхности моря светятся по тем или другим причинам ярче и напоминают своим видом мели или буруны прибоа, реально не существующие. Недаром, например, в лоции Красного моря обращается внимание судоводителей на тот факт, что при часто бывающем здесь свечении его вспышки на гребнях волн выглядят, как буруны мелководья.

Вот что пишет В. Конецкий в книге «Вчерашние заботы» о переходе через тропические воды Атлантики: «Идем на Касабланку. Все-таки к северу идти, в домашнем направлении. В ночь под Новый год мой рулевой матрос так перепугался, что убежал с мостика! Честно говоря, я тоже перепугался: вдруг появилась в дожде и теплом тумане с левого борта белесая и чуть светящаяся в ночном мраке полоса, уперлась нам в правый борт в безмолвии и бескачании. Если бы не множество попутных и встречных судов, то я бы решил, что мы нормально вылезаем на береговой накатик и сейчас загремим брюхом по камням. А это, вероятно, были фосфоресцирующие полосы пены, взбитые пролетевшим узким дождевым шквалом на штилевой ночной гладкой воде...»

А когда рулевой убегает от штурвала, это уже не шутки, а предпосылка к аварийной ситуации.

Таким образом, свечение морской воды — своеобразное явление природы. Хотя оно прямо и не воздействует на суда, однако косвенно (влияя на органы чувств и психику человека) влияет на условия плавания в отдельных районах. Поэтому факты свечения моря описаны в книгах путешественников, научных публикациях ученых-мореведов, зарегистрированы в лоциях. Да и моряки долго хранят в памяти фантастические картины искрящегося «живого» океана и учитывают фактор свечения воды при повторном плавании в этих местах.

Многие выводы о свечении моря сделаны океанологами не по данным собственных наблюдений, а по описаниям мореплавателей. Световые эффекты — явление довольно редкое, поэтому такие описания еще долго будут служить фундаментом научных исследований. Следовательно, морякам нужно четко фиксировать замеченные явления, а также окружающую обстановку, и пытаться дать собственный ответ на поставленные океаном вопросы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Более 100 лет назад в книге «Климаты Земного шара, в особенности России» русский климатолог А. И. Воейков писал: «...Важнейшей задачей физических наук является ведение приходно-расходной книги солнечного тепла, получаемого Землей с ее воздушной и водяной оболочкой». В настоящее время задача

определения поступления солнечного тепла к поверхности суши и океана и распределения его в атмосфере и в водной оболочке Земли приобрела еще большее значение.

Почти все природные явления, о которых рассказано в данной книге, имеют в первооснове солнечную энергию, ее накопление в океане и атмосфере, неравномерность поступления этой энергии в различные районы и в разное время года. И не только эти явления.

Солнечная радиация — основа всего живого на Земле, движущая сила и источник энергии всех процессов на нашей планете. Но особенно велика роль солнечной энергии в процессах, происходящих в океане, во взаимодействии океана с атмосферой.

Это происходит потому, что, во-первых, поверхность океана занимает 71 процент поверхности земного шара; во-вторых, солнечная радиация поглощается водой в два раза интенсивнее, чем сушей, и в четыре раза интенсивнее, чем воздухом. И это при одинаковой плотности. А поскольку плотность воды в 300 раз превышает плотность воздуха, при охлаждении на 1 градус всего лишь 1 кубического сантиметра воды выделяется столько теплоты, сколько необходимо для того, чтобы нагреть на 1 градус более 3000 кубических сантиметров воздуха. Масса вод Мирового океана огромна: она превышает $1,4 \cdot 10^{18}$ тонн. Масса атмосферы почти в тысячу раз меньше.

Таким образом, океан, обладающий значительно большей по сравнению с воздухом теплоемкостью и колоссальной массой, является поистине гигантской кладовой теплоты для атмосферы. Действительно, средняя температура океана (3,8 градуса Цельсия) более чем на 20 градусов превышает среднюю температуру атмосферы.

В-третьих, в океане постоянно испаряется вода с поверхности, причем в среднем по его акватории количество испаряющейся воды превышает количество выпадающих осадков на 1 метр. При испарении этого слоя выделяется и передается атмосфере огромное количество скрытой теплоты.

Существуют еще и «в-четвертых», и «в-пятых» и т. д., но первые три фактора являются главными при формировании движения вод в океане, обмене теплотой между океаном и атмосферой. Следствием этого обмена является движение огромных воздушных масс с их влиянием на возникновение таких природных явлений в океане, как ветровые течения, колебания уровня, перемешивание вод.

В атмосфере эти три фактора определяют перенос воздуха от экватора к полюсам на большой высоте и обратно вблизи поверхности Земли, с океана на сушу летом и с суши на океан зимой и др. При таком движении воздушных масс большую роль играет переносчик скрытой теплоты — водяной пар. Поглотив теплоту у поверхности океана в момент своего образования, водяной пар отдает ее окружающему воздуху, конденсируясь в облака. Этим он способствует поддержанию восходящих воздушных потоков и образованию циклонов. А ведь именно циклоны формируют погоду средних широт.

И в самом океане мощной движущей силой является механизм неравномерности содержания теплоты. К примеру, Тихий океан на поверхности теплее Атлантического на 2,2 градуса, на глубинах же, наоборот, Атлантический океан теплее Тихого. Уровенная поверхность Тихого океана на 1 метр выше уровенной поверхности Атлантического, причем ее понижение идет с севера Тихого океана на юг и с юга Атлантики на север. Это дает основание предположить, что существуют перетекание вод на поверхности из Тихого океана в Атлантический и компенсирующее течение на глубинах из Атлантики в Тихий океан.

Благодаря поступлению солнечного тепла происходит и вертикальное движение вод: весной и летом температура верхнего перемешанного слоя воды в океане выше, чем осенью и зимой, когда океан отдает накопленную теплоту в атмосферу. При этом развивается вертикальная конвекция, вследствие которой океанская вода выхолаживается до глубины в несколько сотен метров.

И поскольку поступление солнечного тепла в океан и тепловое взаимодействие океана и атмосферы являются главным механизмом существования океана во всем многообразии его природных явлений, постольку изучению этих процессов океанологи отдают много сил и на эти исследования затрачивается много средств.

Все описанные в книге природные явления были открыты или получили научные объяснения в последние десятилетия — и это не случайно.

История современной океанографии насчитывает чуть более 100 лет. Первым по-настоящему научным исследованием была крупная экспедиция 1872 — 1876 годов на британском корвете «Челленджер», оборудованном для детального изучения морей, обитающих там организмов и морского дна.

С каждым годом увеличивалась заинтересованность человечества в исследовании морей, что нашло отражение в создании морских исследовательских учреждений в районах, представляющих научный интерес, постройке научно-исследовательских судов, широком международном сотрудничестве в деле изучения Мирового океана. Изучение океанских явлений, проводившееся с одного судна, сменилось комплексными исследованиями с привлечением десятков судов, использованием новых технических средств наблюдения, участием самолетов и искусственных спутников Земли.

Необходимость таких исследований диктовалась самой природой океана: действительно, разовое наблюдение за любой океанографической характеристикой (течением, температурой, волнением) подобно булавочному уколу в огромное полотно непознанных природных явлений. Трудно, да и практически невозможно определить, на какое расстояние или на какой период времени распространяется результат наблюдения. И как тысячи мазков кистью, если они не объединены замыслом художника, не создадут целостного художественного полотна, так и тысячи разрозненных наблюдений не могли дать единой картины природы океанских явлений. Поэтому океанологи пошли по пути подготовки и реализации больших комплексных научных программ.

Дальнейшие направления исследований определил Полигонный эксперимент советских океанологов, проведенный в 1970 году в тропической Атлантике. Впервые в истории океанологической науки в океане на полигоне площадью 4 тысячи квадратных километров была раскинута сеть из 17 буйковых станций. На каждой станции на десяти горизонтах были установлены приборы, фиксирующие температуру воды и течения. Эти станции работали в течение полугода и дали материал, коренным образом изменивший представление о морских течениях. Тогда-то и были получены данные о динамике и структуре вихрей в океане.

Крупнейшими по масштабу работами были эксперименты в тропиках (основной области, где, по современным данным, формируется погода на Земле): национальный Тропический эксперимент (Тропэкс) 1972 года, международные Атлантический тропический эксперимент (АТЭП) 1974 года и Глобальный эксперимент (ПГЭП) 1979 года. Цель этих исследований заключалась в том, чтобы понять процессы взаимодействия атмосферы и океана в тропической области и формирования основных перемещений водных масс в нем.

Особенно большими были эксперименты 1974 и 1979 годов, в каждом из них участвовали до 50 научно-исследовательских судов из разных стран, искусственные спутники Земли, самолеты и другие средства. Было получено так много данных, что их обработка продолжается до настоящего времени и каждый год появляются новые результаты. Опыт показывает, что при изучении глобальных явлений сколько-нибудь ценные сведения можно получить только при экспериментах подобного масштаба.

Огромный вклад в объяснение процессов, происходящих в океане, внесла спутниковая океанография. С помощью одних лишь измерений, выполненных с судов, невозможно получить полные сведения об океане. Обычное научно-исследовательское судно движется со скоростью примерно 10 узлов. С такой скоростью оно, например, пересечет Северную Атлантику приблизительно за 10 суток. Детальная съемка им крупной акватории займет несколько месяцев, а за это время в океане могут произойти существенные изменения.

Искусственные спутники Земли позволяют исследователю практически мгновенно «охватить взглядом» большую акваторию. С помощью измерений инфракрасного теплового излучения можно установить температуру поверхности воды.

Радиолокационное зондирование со спутников дает возможность измерить высоту волн, скорость приводного ветра, определить положение уровня океана. Фотосъемка в различных диапазонах видимого спектра позволяет уточнить ледовую обстановку, характеристики циркуляции вод.

Используя искусственные спутники Земли, можно получать изображения земной поверхности разного масштаба: либо одновременный снимок почти целого полушария, выполненный с геостационарного спутника, либо монтаж из нескольких кадров, снятых с орбитальных спутников, движущихся близко к Земле. Подобные фотоснимки и другие материалы, полученные с использованием спутников, резко изменили методы исследования океана и позволили спланировать новые научные программы. Открылась возможность описать и понять закономерность некоторых важных климатических циклов, круговоротов и миграции питательных элементов, а также других экологических факторов. Гармоничное сочетание судовых, береговых, авиационных, спутниковых наблюдений позволило выявить многие из описанных в книге природных явлений.

Все, с чем познакомился читатель в этой книге, может быть объединено таким понятием, как неосновные по усредненной шкале воздействия на суда природные явления. Штормовое волнение, ледовая обстановка, приливы и отливы куда сильнее сказываются на навигации, чем те явления, которые описаны в книге.

Однако, подчеркивая этот факт, мы должны вспомнить основное правило моряка: ничего второстепенного на море нет (как нет и средней гидрометеорологической обстановки). Никто не может предсказать, в какой момент времени и в каком месте может наиболее сильно проявиться действие такого фактора, который в средней шкале оценок занимает одно из последних мест. И тогда, по выражению Козьмы Пруткова, наступают «великие последствия от малых величин»: посадка на грунт, повреждение грузов, приостановка погрузки, а может быть, и более значительные — вплоть до гибели судна и экипажа.

Судоводитель должен всегда «считать свое место ближе к опасности», понимая под этим учет всех условий плавания, включая и те, о которых рассказано в книге.

Познание многих природных явлений в океане в многообразии процессов их возникновения, существования и влияния на мореплавание находится сейчас в начальной стадии. Недаром говорят, что поверхность обращенной к земле части Луны известна лучше поверхности океанского дна. Однако знание судоводителями самого факта воздействия этих природных явлений на судовождение, а тем более качественная оценка их влияния позволяют свести к минимуму возможные негативные последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров М. Н. Безопасность человека на море. Л.: Судостроение, 1983. 206 с.
Глинский Н. Т. Внутренние волны. М.: Наука, 1973. 130 с.
Давидан И. Н., Лопатухин Л. И. На встречу со штормами. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 136 с.
Дремлют В. В., Шифрин Л. С. Навигационная гидрометеорология. М.: Транспорт. 1970. 296 с.
Динамика гидрографической сети неприливных устьев рек/В. Н. Михайлов, М. М. Рогов, Т. А. Макарова, В. Ф. Полонский. М.: Гидрометеоиздат, 1977. 294 с.
Дуванин А. И. Уровень моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. 60 с.
Дуэль И. И. Мы открываем океан. М.: Советская Россия, 1973 224 с.

- Егоров Н. И. Физическая океанография. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 454 с.
Зубов Н. Н. Морские воды и льды. М.: Гидрометеиздат, 1938. 450 с.
Лабзовский Н. А. Непериодические колебания уровня моря. -Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1968. 488 с.
Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 632 с.
Смирнов Г. Н. Океанология. М.: Высшая школа, 1974. 342 с.
Тиرون З. М. Ураганы. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 238 с.
Шадрин И. Ф. Течения береговой зоны бесприливного моря. М.: Наука, 1972. 128 с.
Шепард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 344 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

- Предисловие
Природные явления и судоходство в прибрежных районах
Непериодические колебания уровня моря
Непериодические течения
Сейши и тягун
Падающие ветры
Ненормальные волны
Сулой
Внутренние волны и «мертвая вода»
Апвеллинг
Изменения рельефа дна
Морские устья рек
Антропогенные изменения режима морей
Природные явления и мореплавание в открытом море
Непостоянство постоянных течений
Тропические ураганы
Смерчи и вихри
Беспокойные глубины
Большие волны в бухте
Световые эффекты в океане
Заключение
Список литературы

Научно-популярное издание

ИГОРЬ АЛЕКСЕЕВИЧ ШЛЫГИН

ПОПУЛЯРНАЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И СУДОВОЖДЕНИЕ

Обложка художника Ю. Н. Ноздрина
Технический редактор Н. Б. Усанова
Корректор Л. А. Шарапова
Рецензент М. В. Бурханов
Заведующий редакцией Н. В. Глубокова
Редактор З. Д. Лапина

Ш69 УДК 551.46+ 656.61.052

Шлыгин И. А.

Ш69 Популярная гидрометеорология и судоходство. М.: Транспорт. 1987. 192 с., ил.

В книге даны современные научные представления, в том числе гипотезы, о природе малоизученных явлений Мирового океана, их влиянии на суда и экипажи, а также советы мореплавателям: схемы расчета или прогноза явления, описания его распространения, возможности учета его действия в практике плавания.

Книга предназначена для широкого круга читателей, желающих расширить свои знания о Мировом океане. Особенно заинтересует она судоводителей морских транспортных и промысловых судов, работников портовых служб, прогнозистов-океанологов.

3605040000 — 251
Ш-----228 — 87
049(01) — 87

ББК. 39.471.7

ИБ N 3385

Сдано в набор 28.11.86. Подписано в печать 22.05.87. Т-13703.
Формат 84X108^{1/32}. Бумага офс. .М- 1. Гарнитура литературная.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 10, 08. Усл. кр.-отг. 10,32. Уч.-изд. л. 10.64.
Тираж 26000 экз. Заказ 6255. Цена 40 коп. Изд. N 1-5-0/11 Л^о 3392
Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ», 103064, .Москва. Басманный туп.. ба
Ордена Трудового Красного Знамени
типография изд-ва Куйбышевского обкома КПСС,
443086. г Куйбышев, пр. Карла Маркса. 201.