

коэффициент лобового сопротивления C_D , то окажется, что, для того чтобы набрать такую скорость, рыбе необходимо развить мощность автомобильного мотора – порядка 100 лошадиных сил. Энергия живых существ – это энергия окислительных процессов. Но рыбы – существа холоднокровные, их температура ненамного выше температуры воды. Поэтому такие мощности для них просто недостижимы. Остается предположить, что рыбы каким-то образом «умеют» очень сильно снижать сопротивление воды.

При быстром движении обычного предмета в воде вихри образуются только позади тела. Согласно закону Бернулли, давление в области вихрей падает, что оказывает на тело тормозящее действие. Одна из гипотез, объясняющих резкое снижение сопротивления воды у меч-рыбы, состоит в том, что меч, находящийся спереди, служит генератором вихрей. В результате рыба движется, со всех сторон окруженная вихрями – областями пониженного давления, что соответствует чрезвычайно низкому сопротивлению движения. Такого же эффекта можно достичь, если поверхность тела сделать шероховатой, возмущая пограничный слой между жидкостью и телом и превращая течение в вихревое (турбулентное) по всей поверхности контакта. Какой из этих механизмов уменьшения C_D реализуется у меч-рыбы и дельфинов, ученые до сих пор не знают.

Почему щука всегда догонит карася? Общеизвестна поговорка: «На то и щука в море, чтобы карась не дремал». Каждому ясно, что щука всегда догонит карася, если он, конечно, не успеет где-нибудь спрятаться. Да и не только карася, а любую мелкую рыбешку. Но почему максимальная скорость у крупной рыбы больше, чем у мелкой?

Сила сопротивления, которую преодолевает рыба, двигаясь в воде, пропорциональна площади поперечного сечения рыбы и квадрату скорости ее движения. Поэтому выражение для мощности N , которую затрачивает рыба при движении, имеет вид

$$N = k_1 v^3, \text{ где } k_1 = \frac{1}{2} C_D S \rho_v.$$

Оценим, как связаны между собой максимальная мощность, развиваемая мышцей животного, и ее размеры. Известно, что максимальная сила каждой мышцы пропорциональна площади ее поперечного сечения, а каждый см^2 мышцы способен развить силу около 50 Н. Мышца, развивая усилие, укорачивается, и максимальная величина этого укорочения не может быть больше 50% ее исходной длины. Таким образом, укорочение мышцы

пропорционально ее длине. Значит, максимальная работа, производимая каждой мышцей и равная произведению максимальной силы на максимальное укорочение, должна быть пропорциональна ее объему. Так как механизм сокращения всех мышц один и тот же, то и максимальная мощность также должна быть пропорциональна объему мышцы.

Если считать, что большие и маленькие рыбы подобны, используют один и тот же стиль плавания и аналогичные мышцы, то максимальная мощность, развиваемая этими рыбами, должна быть прямо пропорциональна объему мышц, занятых в движении, а значит, и объему каждой рыбы:

$$N = k_2 Q,$$

где Q – объем рыбы, а k_2 – постоянный коэффициент, зависящий от стиля плавания и типа рыбы. Приравнивая два последних выражения для мощности, получаем

$$v = C_2 \left(\frac{Q}{S} \right)^{1/3},$$

где C_2 – коэффициент, не зависящий от размеров рыбы. Пусть $v_1, v_2, Q_1, Q_2, S_1, S_2$ – скорости, объемы и площади поперечного сечения большой и маленькой рыб соответственно. Тогда имеем

$$\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^3 = \frac{Q_1 S_2}{Q_2 S_1}.$$

Считая формы рыб подобными, а их длины равными L_1 и L_2 , можно утверждать, что $Q_1/Q_2 = (L_1/L_2)^3$, а $S_1/S_2 = (L_1/L_2)^2$. Поэтому последнее выражение можно переписать в виде

$$\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^3 = \frac{L_1}{L_2}.$$

Если учесть, что длина тела щуки около 1 м, а длина тела карася лишь 0,1 м, то перспектива карасю попасть в пасть щуки обрисовывается вполне четко.

Заметим, что рост известных пловцов – выше среднего. Так, рост многократного чемпиона по плаванию Александра Попова 197 см. Очевидно, успехи этих «гулливеров» в плавании можно оценить так же, как и историю со щукой и карасем.

Почему мелкие рыбы ходят косяками? В косяке все рыбы движутся в одном направлении друг за другом (рис.61). При этом количество рыб в косяке может быть от нескольких штук до миллионов. Плыть в косяке не только безопаснее, но и энергетичнее.

чески выгоднее, если держаться точно за виляющим впереди хвостом, который оставляет после себя завихрения, подталкивающие плывущих сзади вперед. Двигаться так, чтобы оказаться точно меж-



Рис.61. Косяк мелкой рыбы и кольца завихрений в нем, облегчающие рыбам движение вперед

ду двумя завихрениями, оставленными впереди плывущей рыбой, помогают специальные рецепторы боковой линии – высокочувствительные датчики давления.

Что мешает двигаться в воде со скоростью звука? Вся энергия при движении в воде уходит на преодоление силы сопротивления воды. Вязкость воды в 50 раз, а плотность в 800 раз больше, чем у воздуха. Это и является основной причиной того, что самолеты летают в десятки, а иногда и в сотни раз быстрее, чем плывут обычные подводные лодки и торпеды (их скорость не более 130 км/ч).

Но тормозят движение в воде не только ее большая вязкость и плотность, но и зоны низкого давления (турбулентности и вихри), возникающие на хвосте подлодок и торпед. В тех местах, где давление падает ниже давления насыщенных паров воды (0,023 атм при нормальных условиях), образуются пузырьки пара. Другими словами, когда давление падает, его не хватает, чтобы держать молекулы воды вместе, и они разбегаются, образуя пар. Такие пузырьки пара называют кавитационными пузырьками, а процесс их образования – кавитацией. Последующее схлопывание кавитационных пузырьков рождает ударные волны, которые являются причиной акустического шума подводных лодок и эрозии их гребных винтов. Поэтому когда раньше конструировали обычные торпеды и подводные лодки, то всегда боролись с возникновением кавитационных пузырьков пара.

Что нам мешает, то нам и поможет! Еще в начале 1960-х годов перед советскими учеными была поставлена задача разработать принцип движения под водой со скоростями, близкими к скорости звука. И тогда возникла идея превратить заклятого врага – кавитацию – в помощника. Если не бороться с кавитацией, а, наоборот, создать все условия для нее, тодвигающееся под водой тело будет со всех сторон окружено облаком кавитационных пузырьков. Такие условия, названные суперкавитацией, приводят к тому, что тело перестает соприкасаться с водой и как будто летит в окружающем ее газовом пузыре. А это значит, что резко уменьшается сила сопротивления и, соответственно, увеличивается скорость движения под водой. Однако очевидно, что сила тяги гребного винта в условиях суперкавитации падает, так как со всех сторон он окружен газовыми пузырьками, поэтому для источника тяги в таких условиях больше подходит ракетный двигатель.

В 1977 году противолодочная торпеда «Шквал», двигающаяся в условиях суперкавитации со скоростью более 100 м/с, была принята на вооружение ВМФ нашей страны. Технологию создания таких подводных средств не могли воспроизвести в течение 30 лет, и только в середине 2005 году Германия заявила, что разработала аналогичную высокоскоростную торпеду «Барракуда». В настоящее время ученые и конструкторы пытаются использовать суперкавитацию для создания пассажирских подводных судов.

ЧТО ТЯНЕТ ГОЛЬФСТРИМ НА СЕВЕР?

Океанские воды, находясь в постоянном движении, переносят тепло от экваториальных широт к полюсам, что уравнивает температуру на поверхности Земли и влияет на ее климат. Океанские течения образуются и находятся под влиянием ветров, солености воды, ее температуры, топографии океанского дна и силы Кориолиса, вызванной вращением Земли вокруг оси.

Гольфстрим (в переводе с английского – поток из залива) – теплое поверхностное течение, несущее около 150 млн кубических метров воды в секунду из Мексиканского залива в Северную Атлантику и достигающее берегов Западной Европы, где оно меняет свое название на Северо-Атлантическое течение (рис.62). Оно смягчает климат северо-запада Европы и остывает с приближением к полюсу. Теплую воду для Гольфстрима приносят пассаты – ветры, дующие на запад в экваториальных широтах. Теплое экваториальное течение, разогнавшись от Африки, разбивается у берегов Америки на два – одно идет на север (Гольфстрим), а другое – на юг (Бразильское). Между Кубой и Флоридой Гольфстрим имеет скорость около 5 км/ч, ширину около 70 км, глубину



Рис.62. Карта Атлантического океана; жирной стрелкой, обозначен Гольфстрим

700 м и температуру 25 °С. Двигаясь на северо-восток, Гольфстрим постепенно расширяется и замедляется, и на полпути к Европе его скорость составляет уже не более 7 километров в день.

Для сравнения, самая полноводная река в мире Амазонка несет в Тихий океан лишь около 0,2 млн кубических метров воды в секунду – в 10000 раз меньше, чем Гольфстрим. Что касается Амазонки, как впрочем и всех остальных рек, вода в них течет, как по наклонной плоскости – с гор в моря и океаны. Трудно себе представить, чтобы Гольфстрим скатывался с экватора к Северному полюсу, как с горы. Что же тогда тянет Гольфстрим на север?

Но сначала ответим на другой вопрос: куда в Северной Атлантике исчезает такое огромное количество воды, пришедшее с Гольфстримом? Ответ, казалось бы, очень простой – вода у берегов Гренландии остывает и уходит на дно, а потом с холодным глубинным течением возвращается к экватору, всплывает на поверхность, нагревается солнцем и опять с Гольфстримом несется к Гренландии.

Круговорот воды в Атлантике напоминает картину конвективных потоков воды в кастрюле, центральная часть дна которой подогревается газовой горелкой (рис.63). Стрелки на рисунке показывают направление движения жидкости в кастрюле – жидкость поднимается в центре от дна, потом движется к стенкам и опускается вдоль них опять на дно. Эти конвективные потоки легко сделать видимыми, если опустить в кастрюлю какие-нибудь маленькие частички (фильтровальной бумаги или промокашки) или добавить в нее несколько капель краски. Объяснить

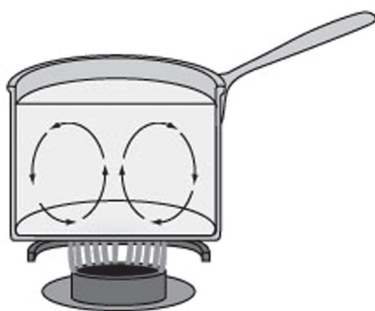


Рис. 63. Схематический разрез кастрюли с водой, стоящей на газовой горелке

движение воды в кастрюле, стоящей на огне, довольно просто. Вода, нагретая у дна кастрюли, имеет меньшую плотность и поднимается вверх, а ей на смену приходит остывшая у стенок вода, имеющая большую плотность.

Чтобы объяснить движение Гольфстрима через Атлантику так же, как мы объяснили движение воды в кастрюле, нам надо знать, как изменяется температура воды на поверхности – от экватора

до Гренландии и по глубине – от поверхности до дна. Оказывается, что в январе разница температур в Мексиканском заливе и у берегов Гренландии составляет около 30°C , а глубинные воды Атлантики (на глубине более 3000 м) имеют одну и ту же температуру – около 3°C . Температуры же глубинных и поверхностных вод у берегов Гренландии практически не отличаются. Достаточно ли такого распределения температур, чтобы толкать Гольфстрим от Флориды к берегам Гренландии?

Конвективные потоки воды в кастрюле, стоящей на огне, возникают из-за того, что ее нагревают *снизу*. Нагрев кастрюли *сверху* (например, лампой) приведет к тому, что верхние слои жидкости нагреются больше, чем нижние, и верхние слои станут легче нижних, но никакого движения воды это не вызовет, так как верхние слои и до нагрева были наверху! Океан нагревается сверху, а температура верхних слоев океана всегда выше, чем нижних, и поэтому такое распределение температуры не сможет стать движителем Гольфстрима.

Что же все-таки толкает Гольфстрим на север?

Как и в случае с кастрюлей на огне, в Атлантике должны быть места, где более легкие слои воды поднимались бы с глубины и/или более тяжелые слои опускались бы с поверхности на глубину. Эти места и могли бы служить «моторами» Гольфстрима. Здесь нам необходимо вспомнить, что вода в океане соленая, а массовая плотность воды зависит не только от температуры, но и от ее солёности. На рисунке 64 показана зависимость массовой плотности воды от содержания в ней хлористого натрия. Большая часть солей, содержащихся в морской воде, это соли земных минералов. Реки, стекая с гор и неся свои воды в моря и океаны, вымывают соли из камней, делая морскую воду соленой. Содержание соли в океане составляет в среднем около 3%, а 85% всех солей, растворенных в океанской воде, это NaCl. Масса океанской соли так велика, что если всю ее уложить вдоль земного экватора стеной шириной в 1 км, то высота этой соляной стены составит 500 км.

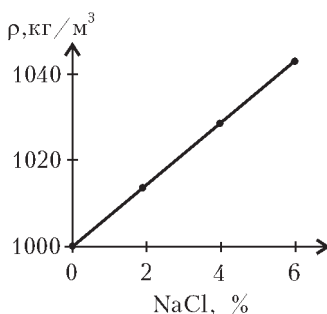


Рис. 64. Зависимость массовой плотности воды от содержания в ней хлористого натрия при 15°C .

А теперь обратим внимание на то, что около берегов Гренландии солёность воды, а значит, и ее

плотность резко увеличиваются. Происходит это потому, что даже в июле температура воздуха в Гренландии не поднимается выше -20°C . В результате весь год у берегов Гренландии океанская вода замерзает и превращается в лед. Так как лед пресный (не содержит соли), то под ним концентрация соли очень высока. Вода под гренландским льдом не только очень соленая, но и тяжелая, поэтому она опускается на дно, а на образовавшееся «пустое» место у берегов Гренландии поступает легкая вода Гольфстрима. Опускающиеся на дно соленые и холодные воды образуют в нескольких сотнях километрах к югу от Гренландии водовороты диаметром 10–15 км, которые хорошо видны из космоса и были отмечены на многих древних морских картах.

Итак, можно считать, что мороз у берегов Гренландии притягивает к себе Гольфстрим.

Гольфстрим делает климат в Западной Европе очень мягким, и зимняя температура, например, в Лиссабоне никогда не опускается ниже $+10^{\circ}\text{C}$, хотя в Нью-Йорке, находящемся вдалеке от Гольфстрима, но на той же широте, температура зимой часто опускается ниже 0°C . Ученые утверждают, что мягкий климат способствовал развитию цивилизации в Западной Европе. Глобальное потепление, постепенно увеличивающее температуру нашей планеты, может лишить Гренландию своей притягательной силы. Происходящее таяние ледников Гренландии уменьшает соленость воды у ее берегов, а это, в свою очередь, лишает Гольфстрим силы, толкающей его на север, и Европа на некоторое время замерзает, что происходит все чаще и чаще. Ученые оценили, как может измениться климат в Европе, если глобальное потепление не будет остановлено. Самый худший сценарий – это возвращение в Европу ледникового периода в течение 3–5 лет. Наиболее же вероятное развитие событий – более суровые зимы, засухи летом, неурожай и, как следствие, войны.

ФИЗИКА СТИРКИ И ЧИСТКИ: КАК МОЮТ МЫЛО И УЛЬТРАЗВУК

Что такое «вымыть руки»? Если бы все, что нас окружает, растворялось в воде (как, например, поваренная соль), то вымыть руки было бы очень легко – опустить их в воду и подождать чуть-чуть. К сожалению, большая часть веществ, к которым мы прикасаемся, нерастворимы в воде, и поэтому, если они прилипают к рукам или одежде, одна вода не позволяет избавиться от грязи и пятен. Однако можно заставить любое вещество хотя бы на короткое время (несколько секунд) раствориться в воде, образовав эмульсию – взвесь (суспензию) мельчайших частичек вещества в воде. Этого времени часто бывает достаточно для того, чтобы поток чистой воды смыл эмульгированную грязь, сделав руки чистыми. Мыло и служит прекрасным эмульгатором – химическим соединением, облегчающим получение водных эмульсий частичек самых различных веществ.

Как родилось мыло, и как его делают сейчас? При раскопках древнего Вавилона были найдены глиняные емкости, наполненные веществом, похожим на мыло. Надписи на этих сосудах гласили, что содержимое сделано при кипячении жира с пеплом. Поэтому считается, что варить мыло умели еще в 2800-х годах до н.э. Записи на папирусах, оставленные древними египтянами 1500 лет до н.э., тоже сохранили рецепты мыловарения из смеси животных и растительных масел и пепла. Древние греки не знали мыла, а когда мылись, то сначала терли себя глиной, песком, пемзой и пеплом, потом наносили на тело растительное масло и соскребали его вместе с грязью. Одежду свою они стирали без всякого мыла в проточной воде.

Английское слово «soap» – мыло – произошло от названия горы Сапо в Италии, на вершине которой, согласно легенде, приносили животных в жертву, убивая и сжигая их. Дождь смывал в реку Тибр, протекающую неподалеку, смесь расплавленного жира и древесного пепла, поэтому глина вдоль Тибра хорошо мылилась, что быстро оценили женщины, стирающие белье на его берегах.

До второй мировой войны мыло варили кипячением в воде жирных масел со щелочами. Жиры – это соединения глицерина и органических кислот, известных как жирные кислоты. Во

время кипячения жиров со щелочами образуются глицерин и соли жирных кислот, т.е. мыла. Использование мыла после второй мировой войны шло на убыль, и его постепенно вытесняли синтетические моющие средства. Главная причина спада потребления мыла состояла в том, что в жесткой воде образовывались нерастворимые соли жирных кислот, выпадающие в осадок (кольцевые пятна в ванне или серый оттенок белья). Синтетические моющие средства (детергенты) имеют такой состав, что этой реакции не происходит.

Что такое мыло? Мыло – это натриевая или калиевая соль одной из жирных кислот. Натриевые мыла более густые и, как правило, твердые; калиевые мыла более мягкие или жидкие. Молекула мыла представляет собой длинную цепочку (хвост), состоящую из десятка и более звеньев CH_2 , соединенных друг с другом, к одному концу которой (голове) прикреплена карбоксильная группа CO_2 . Простейшим мылом, например, является стеарат Na, который можно представить формулой $\text{NaC}_{17}\text{H}_{35}\text{COO}$, где 17 атомов углерода с присоединенными к ним атомами водорода вытянуты в извилистую цепочку (рис.65).

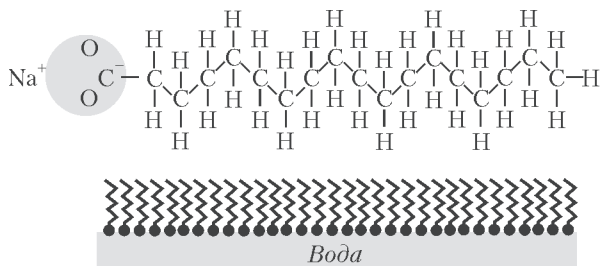


Рис. 65. Схематическое изображение мыльной молекулы (вверху) и расположение этих молекул на поверхности воды (внизу)

Асимметрия молекулы мыла – ее важнейшее свойство. Голова молекулы в растворе заряжена отрицательно и поэтому притягивается к положительным полюсам диполей молекул воды или, как говорят, испытывает сродство к воде. Другой конец молекулы мыла электрически нейтрален и поэтому инертен по отношению к воде.

Когда мыльная молекула стеарата Na попадает в воду, она диссоциирует на положительно заряженный ион натрия и отрицательное основание жирной кислоты. Отрицательные ионы мыльных молекул выстраиваются так, чтобы с водой соприкасались лишь их головы, которые испытывают к ней сродство.