

Внутренние волны в океане, или Нет покоя в толще вод

А. ЯМПОЛЬСКИЙ

В БЛИЗИ ПОЛУОСТРОВА ТАЙМЬЕР, небольшого островка того же названия, летом 1893 года произошел любопытный случай, которому суждено было стать толчком к интенсивному исследованию такого интереснейшего явления, как внутренние волны в океанах и морях. Работала тогда в этом районе норвежская полярная экспедиция под руководством знаменитого ученого-мороведа Фритьофа Нансена на корабле «Фрам».

Ф.Нансен (1861—1930) известен не только как выдающийся моревед и исследователь Арктики, но и как выдающийся общественный деятель. После первой мировой войны он был верховным комиссаром Лиги Наций по делам военнопленных, одним из организаторов продовольственной помощи голодающим Поволжья (1921 г.). За плодотворную общественную деятельность в 1922 году Нансену была присуждена Нобелевская премия мира.

«Фрам» (по-норвежски «вперед») — исследовательское судно, предназначенное для работы в полярных водах. Построено по специальному проекту в 1892 году. Водоизмещение около 400 т. Характерной особенностью его конструкции была яйцевидная форма корпуса, благодаря которой при сжатии во льдах «Фрам» не мог быть раздавлен, а просто выжимался вверх из ледовых объятий. После многолетних плаваний как в арктических, так и в антарктических водах «Фрам» помещен навечно в специально построенном павильоне музея в столице Норвегии Осло.

Однажды «Фрам» шел по направлению к кромке льда. Лед был далеко, погода стояла отличная, был полный штиль, шли полным ходом. Вдруг судно почти остановилось, как бы

наткнувшись на какое-то препятствие. Скорость движения резко упала. По словам самого Нансена, «чтобы пройти то небольшое расстояние, которое мы и на веслах прошли бы в полчаса или того меньше, «Фраму» понадобилась целая вахта (4 часа)». Как потом выяснилось, такая ситуация возникла благодаря тому, что над соленой морской и, естественно, более тяжелой водой оказался слой распресненной из-за таяния льда воды меньшей плотности. «Вода, взятая с поверхности, была годна даже для питья, а вода, поступавшая через кингстон, была слишком солона даже для котла» (Ф.Нансен). Причиной такой резкой переслоенности была летняя теплая штилевая погода — пресная вода от таяния льдов накапливалась, не смешиваясь, сравнительно тонким слоем на поверхности воды обычной океанской солености и плотности.

Опубликованные Нансеном материалы наблюдений послужили толчком для теоретических исследований этого вопроса. В результате удалось установить, что в такой ситуации почти вся энергия судового двигателя расходуется не на продвижение судна, а на образование волн на поверхности раздела между слоями (скорость этих волн, как показывают оценки, была сравнима со скоростью судна). Иначе говоря, в этом случае «Фрам» тащил за собой целую вереницу волн, которые, в отличие от волн на поверхности океана, называются внутренними, а обнаруженная резкая переслоенность впоследствии была названа «мертвой водой».

В Мировом океане внутренние волны встречаются не только в таких

экзотических условиях, в которых их наблюдал знаменитый норвежец Нансен. В большинстве случаев в океане нет столь резкого деления на слои различной плотности. Обычно плотность морской воды весьма плавно увеличивается с глубиной. Основным параметром, от которого зависит плотность воды на не очень большой глубине, является температура. С увеличением глубины h температура уменьшается все медленнее (градиент температуры $|dT/dh|$ становится все меньше), и на большой глубине надо учитывать сжимаемость воды, т.е. зависимость плотности от давления. Кроме того, плотность воды зависит от ее химического состава («солености»), и в некоторых случаях изменение состава с глубиной играет, наряду с изменением температуры, важную роль в образовании вертикального градиента плотности (т.е. величины dp/dh).

Простейшая схематическая модель возникновения внутренних волн выглядит следующим образом. Пусть некоторый объем воды сместился по вертикали из положения равновесия так, что его глубина изменилась на x . Будем считать, что, хотя смещение происходит плавно, температура воды в рассматриваемом объеме измениться не успевает (пренебрежем процессом теплообмена). Тогда плотность воды в смещающемся объеме можно считать неизменной (сжимаемостью воды пренебрежем). В то же время плотность окружающей воды изменилась на $\Delta\rho = \frac{d\rho}{dh} x$, где $\frac{d\rho}{dh}$ — градиент плотности в рассматриваемом месте. Значит, на сместившийся объем воды действует сила, равная измене-