

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

УДК 551.465

Е.Г. Морозов

ВНУТРЕННИЕ ПРИЛИВЫ В БАБ ЭЛЬ МАНДЕБСКОМ ПРОЛИВЕ

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Цель работы: показать характеристики внутренних приливов в малоизученном районе.

Научный подход: исследование основано на статистическом анализе данных измерений.

Результат: наблюдения течений и температуры на буйковых станциях в проливе показывают, что в проливе генерируются интенсивные внутренние волны, смещающие частицы воды по вертикали на 80 м, распространяющиеся на юго-восток в Аденский залив. Внутренние волны развиваются на фоне двухслойного течения. Верхнее течение направлено в Красное море из океана и компенсирует испарение. Нижнее течение (глубже 100 м) вод с высокой соленостью направлено из моря в океан. Режим внутренних волн и течений аналогичен Гибралтарскому проливу.

Применение: исследование вносит вклад в изучение динамики внутренних волн в океане.

Новизна: исследование проведено в малоизученном районе океана.

Ключевые слова: внутренние волны, двухслойное течение, узкий пролив.

Баб эль Мандебский пролив соединяет Красное море с Аденским заливом Индийского океана. Ширина пролива около 30 км. Пролив разделен островом Перим на две части. Восточная часть пролива шириной 3 км мелководная. В самой узкой западной части пролива его ширина около 25 км. Максимальная глубина в районе седловины около 220 м. Гидрологический режим Баб эль Мандебского пролива очень похож на режимы Гибралтарского пролива и пролива Карские Ворота [2, 3]. Характерная особенность - это две струи течения противоположных направлений.

Испарение в Красном море существенно преобладает над осадками и речным стоком (практически нет) [1]. Из-за сильного испарения уровень моря без компенсационного течения из океана понижался бы со скоростью более 50 см в год. Компенсирует испарение течение в верхнем слое из Индийского океана. Испарение увеличивает соленость, и соленая вода опускается в глубинные слои Красного моря. Из-за разности плотностей возникает глубинное течение высокосоленой воды из Красного моря в океан. На эту систему течений накладывается волна баротропного прилива со скоростями около 1 м/с. Баротропный прилив генерирует внутреннюю приливную волну при обтекании течениями неровностей топографии, в особенности над седловиной около острова Перим.

Соленость воды, вытекающей нижним течением из Красного моря близка к 40 епс, тогда как на поверхности моря менее 38 епс. Линзы высокосоленой воды образуются в Аденском заливе при вытекании нижнего течения из Красного моря. Эти линзы регистрируются в северо-западной части Индийского океана.

В этой работе мы рассмотрим систему течений и внутренних приливов в южной части Красного моря и Баб эль Мандебском проливе. В 1995-1996 гг. в проливе был проведен эксперимент по измерению течений на буйках. Карта буйев, выставленных в Баб эль Мандебском проливе во время эксперимента, показана на рис. 1. Измерители течений Aandera и Seacat устанавливались на притопленных буйковых станциях, а на дне устанавливались акустиче-

ские доплеровские измерители скорости ADCP, смотрящие вверх. Данные измерений взяты из базы данных эксперимента WOCE (World Ocean Circulation Experiment) свободного доступа. Дискретность данных 1 час.

После обработки данных измерителей течений ADCP получены скорости в слоях толщиной 10 м по всей глубине за исключением верхнего 20-метрового слоя. Поток из океана в Красное море в верхнем слое пролива, который компенсирует испарение, характеризуется скоростями до 40 см/с. Поток обращается в ноль на глубине около 100 м. Нижнее течение из моря в океан характеризуется еще большими скоростями – до 53 см/с и занимает весь слой от глубины 100 м до дна. Максимум скорости находится на глубине 150-160 м. Максимальная глубина пролива в районе седловины близка к 220 м. Надо иметь в виду, что в глубинных слоях ширина пролива уменьшается и на глубине 150 м она равна 8 км. В связи с этим скорость потока в глубинной части выше. Около дна скорость уменьшается. Профиль вертикальной скорости показан на рис. 2.

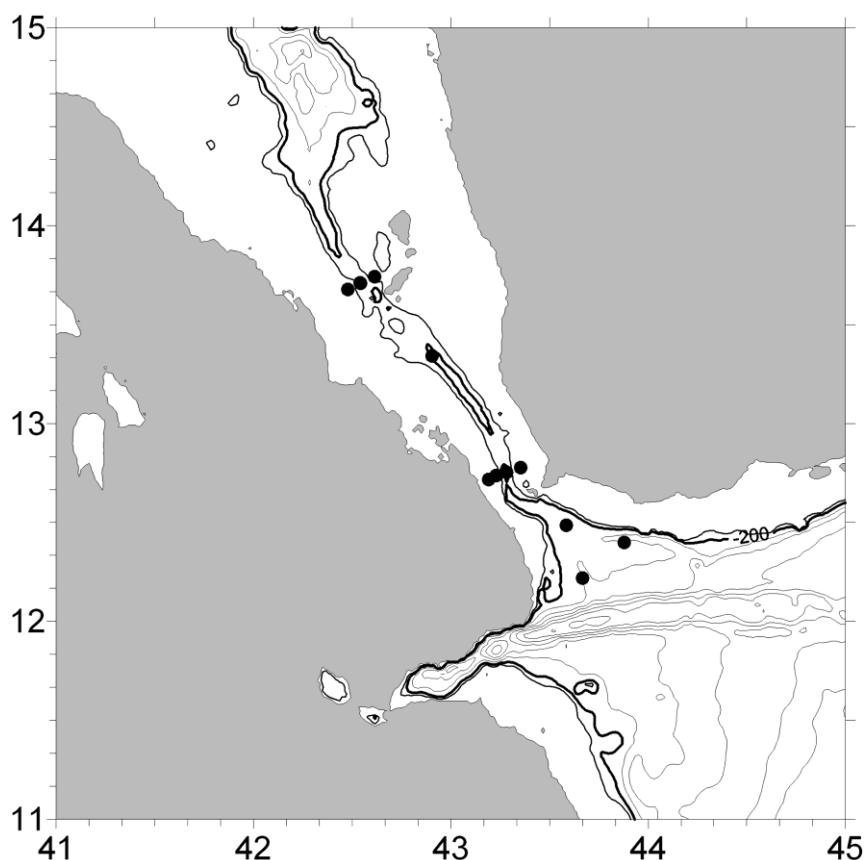


Рис. 1. Карта Баб эл Мандебского пролива. Показаны изобаты 100, 200, 400, 600, 800, 1200 м. Жирной линией выделена изобата 200 м

На спектрах колебаний течений и температуры имеются пики с высокой достоверностью на периодах 24.0 и 12.4 ч. На спектрах температуры появляются обертоны на периодах 8.2 и 6.2 ч. Надо думать, что отклонения периодов от кратных 12.42 ч связаны с эффектом Доплера для внутренних волн, существующих на сильном течении. Спектр флуктуаций температуры для буйковой станции на седловине показан на рис. 3 (горизонт измерений 117 м при глубине 162 м). Амплитуда волн полусуточного периода (вертикальное смещение частиц воды) на седловине около острова Перим (широта $12^{\circ}30'$) оценена как 80 м, а на северной группе буев (широта $13^{\circ}30'$) как 20 м. Затухание волн аналогично затуханию в Гибралтарском проливе, где на расстоянии около 50 км от хребта их амплитуда уменьшается в три раза.

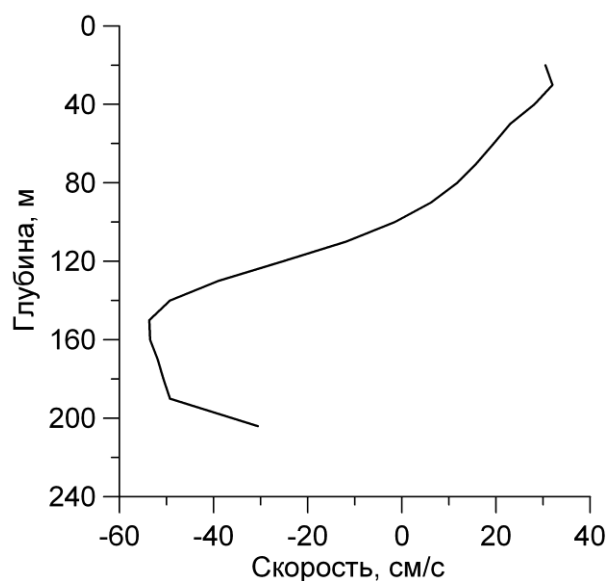


Рис. 2. Профиль течения вдоль пролива. Положительные скорости направлены на северо-запад

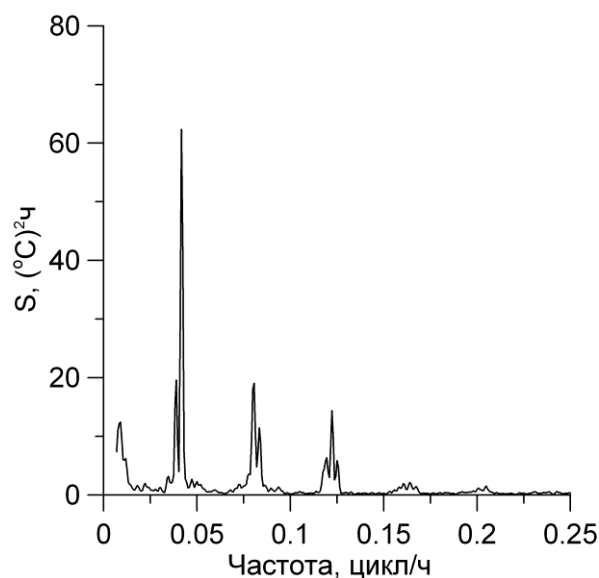


Рис. 3. Спектр колебаний температуры на буйковой станции, расположенной на седловине (широта 12°30' с.ш.), горизонт 117 м, глубина 162 м

Для того, чтобы оценить длину волны полусуточных внутренних волн, использовался антенный метод. Для оценки длины волны и направления полусуточных приливных волн использовался метод Барбера, который был разработан для сейсмологии и применен к океанским волнам [4]. Предполагается произвольное расположение датчиков. Метод основан на расчете взаимных спектров для каждой пары возможных комбинаций датчиков с последующей сверткой на частоте изучаемой волны (период 12.4 ч). Амплитуды и фазы взаимных характеристик используются для расчета пространственно-временного спектра на частоте изучаемой волны для оценки горизонтального волнового числа. Метод использует статистическую разность фаз между каждыми двумя парами датчиков. Для наших расчетов применялись датчики температуры, которые отражают вертикальные движения, связанные с внутренними волнами. Важно, чтобы расстояния между датчиками были сравнимы с длиной волны изучаемых волн, но расстояния между соседними датчиками не были больше длины

волны. Если иначе, то возникает неопределенность в интерпретации разностей фаз. Если расстояние между датчиками слишком мало, а размах антенны буев также мал, то определения длины волны будут неточными. В силу малого числа датчиков, спектр получается недельтообразный, пик спектра, соответствующий волновому числу, оказывается размытым. Поэтому обычно пространственно-временные спектры для определенной частоты представляют в виде изолиний от максимума спектра в процентах.

Расчет производился для треугольника буев в южной части пролива на горизонте измерений около 400 м при глубине океана более 500 м, увеличивающейся на юго-восток. Спектр показан на рис. 4. По данным расчета, направление волн 150° , длина волны 80 км. Эти волны можно интерпретировать как внутренние полусуточные волны, генерированные на седловине подводного хребта между Азией и Африкой в проливе около острова Перим.

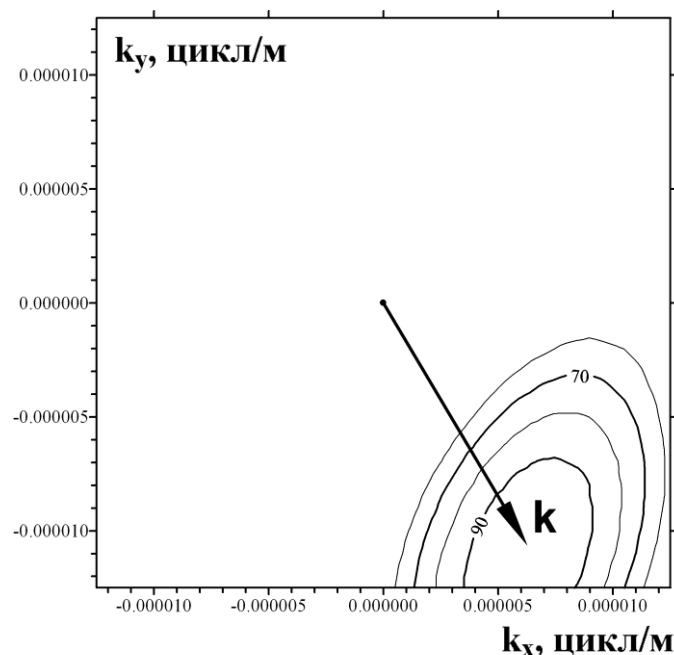


Рис. 4. Сечение пространственно-временного спектра для внутренних волн полусуточной частоты по данным измерений на треугольнике буев в южной части полигона

Таким образом, в результате анализа данных наблюдений течений и температуры на буйковых станциях в проливе показано, что в проливе генерируются интенсивные внутренние волны, смещающие частицы воды по вертикали на 80 м, распространяющиеся на юго-восток в Аденский залив. Внутренние волны развиваются на фоне двухслойного течения. Верхнее течение направлено в Красное море из океана и компенсирует испарение. Нижнее течение (глубже 100 м) вод с высокой соленостью направлено из моря в океан. Режим внутренних волн и течений аналогичен Гибралтарскому проливу.

Работа поддержана грантом РФФИ 11-08-00076-а.

Библиографический список

1. Добровольский, А.Д. Региональная океанология / А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 224 с.
2. Internal tides in the Strait of Gibraltar / E.G. Morozov [et al.] // J. Phys. Oceanogr. 2002. V. 32. P. 3193–3206.
3. The Straits of Gibraltar and Kara Gates: A Comparison of Internal Tides / E.G. Morozov [et al.] // Oceanologica Acta. 2003. V. 26. № 3. P. 231–241.

4. **Barber, N.F.** The directional resolving power of an array of wave detectors / N.F. Barber // Ocean wave spectra. – N.Y.: Engelwood Cliffs, Prentice Hall. 1963. P. 137–150.

*Дата поступления
в редакцию 04.06.2013*

E.G. Morozov

INTERNAL TIDES IN THE BAB EL MANDEB STRAIT

Institute of Oceanology. PP Shirshov Russian Academy of Science

Purpose: Demonstrate the characteristics of internal tides in a poorly studied region.

Scientific approach: The study is based on the statistical analysis of observations.

Results: Observations of currents and temperature on moored stations in the strait demonstrate that intense internal waves are generated in the strait with an amplitude of 80 m. The waves propagate to the southeast into the Aden Gulf. Internal waves develop on the background of a two-layer current. The upper current is directed to the Red sea from the ocean and compensates for evaporation. The lower current (deeper than 100 m) with waters of high salinity is directed from the sea to the ocean. The regime of internal waves and currents is similar to the Strait of Gibraltar.

Applications: The study contributes to the investigation of internal wave dynamics in the ocean.

Originality: The study was carried out in a poorly studied region.

Key words: Internal waves, two-layer current, narrow strait.