

Академик Л. М. БРЕХОВСКИХ, М. Н. КОПЛЯКОВ, К. Н. ФЕДОРОВ,
Л. М. ФОМИН, А. Д. ЯМПОЛЬСКИЙ

ПОЛИГОННЫЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ АТЛАНТИКИ

В развитие ранее проводившихся Институтом океанологии АН СССР полигонных работ в море и океане (¹), в период февраль — сентябрь 1970 г. в Атлантическом океане был осуществлен крупномасштабный эксперимент на полигоне 113×113 кв. миль с центром в точке $16^{\circ}30' N$, $33^{\circ}30' W$. Задачей эксперимента было исследование изменчивости течений, температуры воды и других гидрофизических характеристик в океане в пространственных масштабах от десятков сантиметров до сотни километров и по времени от десятков секунд до нескольких месяцев. Для исследований был избран район со сравнительно стабильными средними гидрометеорологическими условиями. В эксперименте участвовало 6 исследовательских кораблей: «Дмитрий Менделеев», «Академик Курчатов», «Андрей Вилькицкий», «Сергей Вавилов», «Петр Лебедев», «Академик Вернадский». Головной организацией являлся Институт океанологии АН СССР.

На полигоне было выставлено 17 буйковых станций с самописцами течений БПВ на горизонтах 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 1000 и 1500 м (регистрация скорости и направлений течений через 30 мин.) и фототермографами на горизонтах 50 и 200 м (регистрация температуры через 10 или 15 мин.). Буйковые станции согласно схеме, предложенной К. В. Коняевым (Акустический институт АН СССР), были расположены на четырех лучах креста, направленных от центральной точки по меридиану и параллели. Интервалы между соседними станциями увеличивались при удалении от центра и составляли на каждом луче 5, 10, 17,5 и 24 мили. Такое расположение давало достаточную разрешающую способность системы по волновым векторам k двумерного пространственного спектра.

В районе полигона во время всего эксперимента, за исключением начала марта и августа — сентября, устойчиво дул северо-восточный пассат со средней скоростью 7,5 м/сек.

Наиболее важные результаты эксперимента относятся к изменчивости течений. На рис. 1 приведены так называемые прогрессивно-векторные диаграммы, составленные из векторов средней за каждые сутки скорости течения на горизонтах 50 и 1500 м. По осям отложен интегральный перенос воды в км. Из рис. 1 видно, что на обоих горизонтах (как, впрочем, и на всех остальных) вплоть до 10.03 течение было направлено на восток-северо-восток, т. е. в сторону, противоположную направлению ожидаемого северо-пассатного течения. На обоих горизонтах направление потока остается приблизительно постоянным на отрезках времени порядка 20—50 суток и сравнительно быстро изменяется при переходе от одного отрезка к другому. Это может быть обусловлено прохождением через полигон или крупных вихрей, или волн Россби. Более определенно это будет ясно после изучения пространственных корреляционных зависимостей или двумерных спектров.

На обоих горизонтах в разные периоды заметно нерегулярное изменение средних векторов от суток к суткам (см., например, 20—30.03 на горизонте 1500 м), что, по-видимому, обусловлено колебаниями течения с

инерционным периодом (см. ниже). На указанных особенностях и кончается сходство кривых на рис. 1. Генеральный перенос вод за период 1.03—1.08 на этих горизонтах происходил почти в противоположных направлениях. На горизонте 50 м имеет место резкая перестройка течений около 10.03, в то время как на 1500 м перестройка происходит плавно с 10.03 по 5.04.

Путем спектрального анализа длинных рядов измерений течений были получены спектры энергии в интервале периодов 5—200 час. Колебания с более низкими и более высокими частотами были при этом отфильтрованы. На полученных спектрах имеются хорошо выраженные максимумы вблизи инерционной частоты (расчетный инерционный период — 42 часа), на приливных частотах ($T = 24$ и 12 час.) и на периоде 6 час. Анализ спектров на различных горизонтах показывает, что колебания с периодом 12 час. в основном сконцентрированы в термоклине (см. также рис. 2), т. е. являются внутренними волнами. Период, близкий к 40 час., обусловлен движениями инерционного характера. Последние наблюдаются нерегулярно. В одно и то же время они могут наблюдаться на одних горизонтах и отсутствовать на других. Наблюдаются временные исчезновения колебаний на 2—3 суток с последующей регенерацией в виде почти классических орбит.

На рис. 2а изображена зависимость кинетической энергии инерционных (кривая 1) и приливных (кривая 2) течений от глубины, полученная на основе спектрального анализа 48-суточного ряда (начиная с 28.02) в точке, отстоящей на 32 мили к востоку от центральной (точка 4). Здесь же изображена зависимость частоты Виясяля (в циклах/час) от глубины (кривая 3), отражающая характер плотностной стратификации. Неожиданным является, что энергия инерционных колебаний оказалась сконцентрированной в основном термоклине. Для классических инерционных колебаний орбиты частиц лежат в горизонтальных плоскостях и стратификация среды не играет роли. Когерентность между широтной и меридиональной составляющими скорости для этого же ряда измерений для колебаний с инерционным периодом оказалась равной 0,7 на горизонте 50 м и 0,95 на горизонте 300 м.

На рис. 2б приведен вертикальный годограф скорости течения, осредненный за 160 суток, для центра полигона. По осям отложены компоненты скорости в см/сек. Числа на кривой указывают глубины. Как видно, между горизонтами 25 и 50 м вектор течения поворачивается с глубиной вправо, что может быть связано с присутствием в верхнем слое

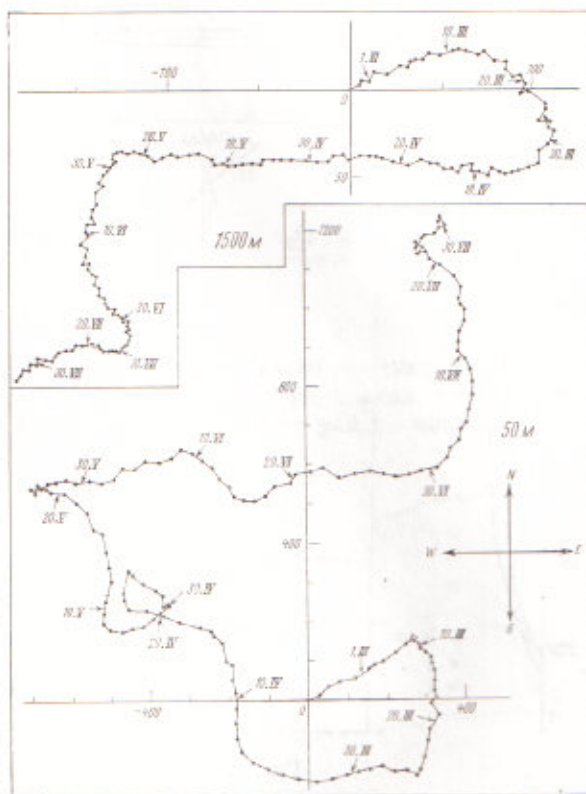


Рис. 1

океана чисто дрейфового течения. В слое от 50 до 400 м наблюдается хорошо выраженное вращение вектора скорости влево. Наконец, в слое от 400 до 1500 м вектор снова преимущественно поворачивается вправо. Поворот вектора скорости в термоклине был обнаружен ранее В. Б. Титовым и Л. М. Фоминым в Аравийском море и связан с изменением градиента плотности с глубиной (²).

Тонкая термохалинная структура исследовалась с кораблей «Академик Курчатов» и «Дмитрий Менделеев» до глубины 600—1000 м с помощью

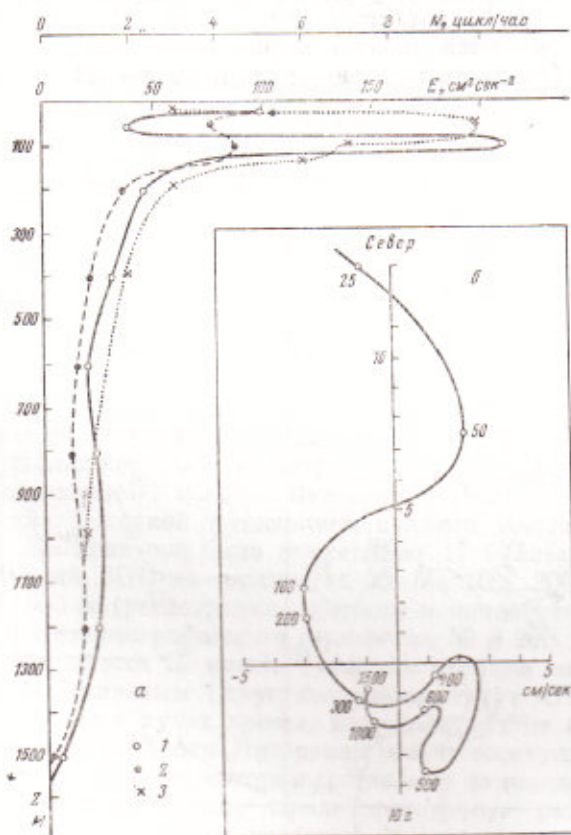


Рис. 2

Короткопериодные внутренние волны исследовались методом буксировки цепочек термисторов по различным ориентированным галсам, с помощью термосолезондов в одной точке и методом трех точек. В последнем случае с борта судна «Сергей Вавилов» температура регистрировалась с носа и кормы (расстояние 91 м) и на расстоянии 245 м по траверзу корабля. По трем записям температуры была определена истинная длина волны (480 м), период (18,6 мин.) и направление распространения волны.

На научно-исследовательском судне «Петр Лебедев» под руководством Р. Ф. Швачко проводилось исследование флуктуаций скорости звука до глубин 3 км. Для этого на различных глубинах протаскивалась пара разнесенных по вертикали на расстояния 12,5; 25, 50 и 100 м рециркуляционных измерителей скорости звука. Длина каждого ряда измерений 40 мин. На рис. 4 изображены флуктуации скорости звука, выраженные через эквивалентные флуктуации температуры как функции времени на горизонте 900 м с разнесением по вертикали на 12,5 м (верхняя пара кривых) и на 25 м (нижняя пара кривых). Видна сильная перемежаемость флуктуаций и малая их корреляция при указанных разнесениях

цифровых термосолезондов. При этом были обнаружены многочисленные структурные особенности: однородные слои, инверсии температуры, резкие скачки свойств, ступеньки и серии ступенек в вертикальном распределении температуры и солености. Вертикальные масштабы отдельных особенностей колебались в пределах 3—25 м, тогда как горизонтальные оцениваются в 3—8 миль. Замечена быстрая изменчивость этих форм микроструктуры, а также способность к регенерации. На рис. 3 видна сложная и быстроизменяющаяся зависимость температуры и солености от глубины, обнаруженная многократным зондированием в точке у буя № 5 на восточном крае полигона. Хорошо видна серия ступенек (ст. № 603), которая может свидетельствовать о конвективных процессах в термохалоклине (²).

измерителей. Флуктуации температуры порядка $0,1^{\circ}\text{C}$ наблюдались вплоть до глубины 3 км, до которой производили измерения.

Помимо перечисленных выше исследований, во время эксперимента на полигоне в тропической зоне Атлантики был выполнен большой комплекс других гидрофизических и метеорологических наблюдений.

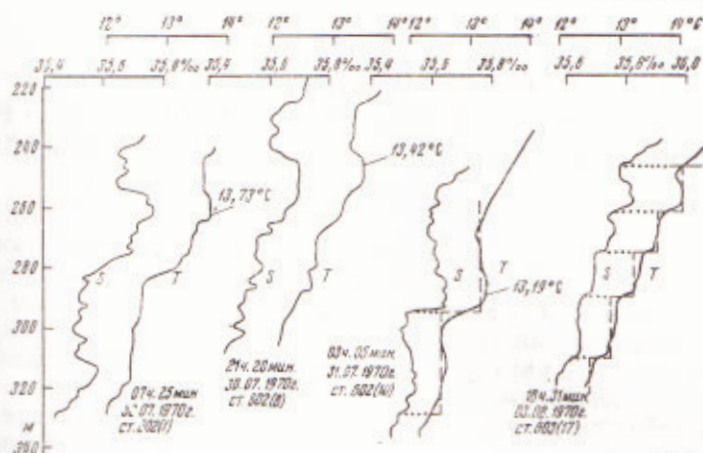


Рис. 3

Организационная структура эксперимента была следующая. Научный руководитель эксперимента — академик Л. М. Бреховских, зам. научного руководителя — В. Г. Корт, начальник 3-го и 4-го рейсов корабля «Дмит-

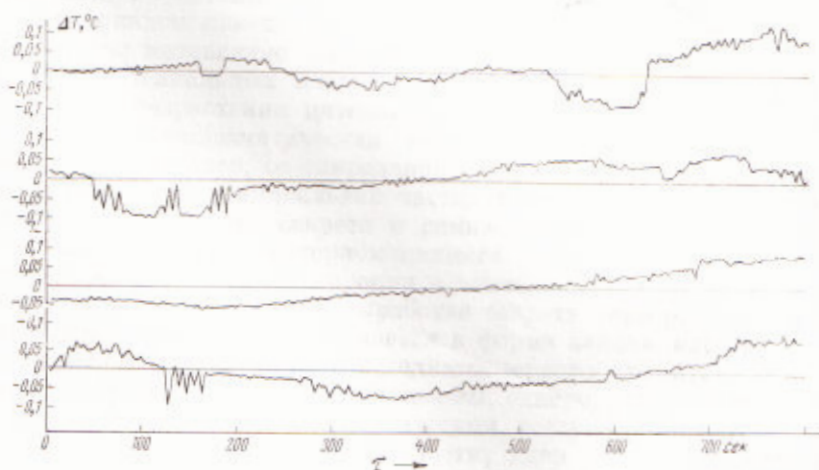


Рис. 4

рий Менделеев» (являвшегося головным кораблем на полигоне) — Л. М. Фомин, начальники рейсов на судне «Академик Курчатов» — Г. Н. Иванов-Францкевич и К. В. Морошкин, начальники экспедиции на судне «Андрей Вилькицкий» — Г. В. Седов, на научно-исследовательских кораблях «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев» — Ю. П. Лысанов, «Академик Вернадский» — П. П. Гансон.

Поступило
13 I 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Б. Штокман, М. Н. Кошляков и др., ДАН, 186, № 5, 1070, 1969.
² В. Б. Титов, Л. М. Фомин, Океанология, 11, № 4 (1971). ³ J. S. Turner, Deep-Sea Res., 14, № 5, 599 (1967).