

А. Д. ЩЕРБИНИН

О ВЗАИМОСВЯЗИ ЦИРКУЛЯЦИИ И СТРУКТУРЫ ВОД ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

(Представлено академиком Л. М. Брежневским 12 V 1970)

Впервые деление океана по вертикали на две главные макроструктурные зоны было предложено Дефантом (1). По аналогии с атмосферой он выделил тропосферу и стратосферу океана. Первая детализация такого деления проведена В. Н. Степановым (2), который определил основные элементы стратификации как последовательно сменяющие друг друга структурные зоны: поверхностную, промежуточную, глубинную и придонную. Им же (3) обнаружено самостоятельное обращение вод в пределах каждой структурной зоны.

Эти положения удалось развить при исследовании циркуляции и структуры вод Индийского океана. Было установлено, что геострофическая циркуляция вод имеет четырехслойную структуру. Изменение поля течений по вертикали происходит в соответствии с чередованием основных элементов стратификации вод. Это означает, что каждой структурной зоне присуща определенная система циркуляции. Перестройка поля течений осуществляется в пограничных слоях между структурными зонами. В этих слоях, по-видимому, располагаются и так называемые пилевые поверхности.

Анализ вертикального изменения основных свойств воды (температуры, солености, растворенного кислорода), а также градиента плотности позволил выделить естественные границы структурных зон и пограничных слоев между ними в Индийском океане (рис. 1).

Впервые построены карты динамической топографии всего Индийского океана. Динамические расчеты велись относительно отсчетной поверхности 4000 дбар, которая находится в пределах пограничного слоя между глубинной и придонной структурными зонами. Серия динамических карт для разных уровней от 0 до 3000 м (нанесены динамические горизонталы в условных динамических сантиметрах) дала возможность проследить направление переноса поверхностных, промежуточных и глубинных вод (рис. 2).

Поверхностная структурная зона. В поверхностных слоях (рис. 2а) течения на большей части океана почти зональны. Исключения составляют прибрежные районы, а также Аравийское море и Бенгальский залив, где располагаются соответственно циклонический и антициклонический круговороты. Систему экваториальной циркуляции вод создают Северное экваториальное (муссонное), Южное экваториальное (пассатное)

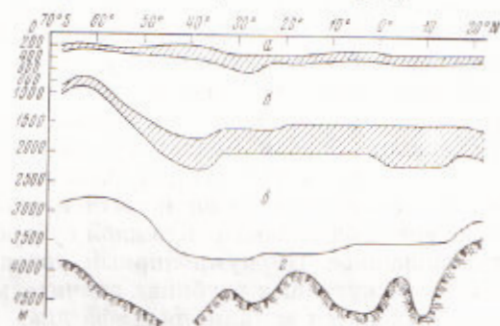


Рис. 1. Структурные зоны и пограничные слои на меридиональном разрезе по 62° в.д. а — поверхностная, б — промежуточная, в — глубинная, г — придонная

течения и Экваториальное противотечение. Последние два образуют вытянутый через весь океан циклонический круговорот, внутри которого (вдоль 5° ю. ш.) прослеживается зона дивергенции. В южных тропических широтах выделяется цепь антициклонических вихрей разной интенсивности, образующих общую линию конвергенции. В южных субтропиках преобладает восточное направление движения вод. Однако заметное отклонение от зональности динамических горизонталей играет весьма важную роль в переносе вод из антарктической области на север Индийского океана. Антарктическое циркумполярное течение сосредоточено между 40° и 60° ю. ш. в виде мощного потока с наибольшими скоростями для всего океана. Непосредственно вдоль берегов Антарктиды ряд циклонических круговоротов формируют Антарктическую дивергенцию. Таковы наиболее крупные элементы циркуляции вод поверхностной структурной зоны, которая занимает слой около 250 м.

На глубинах 300—400 м происходит перестройка поля течений. Этот слой в структуре вод является пограничным между поверхностной и промежуточной структурными зонами.

Промежуточная структурная зона. Ниже 500 м формируется система течений, существенно отличная от циркуляции вод поверхностной структурной зоны. Динамическая карта 800-децибаровой поверхности (рис. 2б) иллюстрирует основные черты циркуляции вод, установившейся в промежуточной структурной зоне, которая охватывает слой от 500 до 1500 м (рис. 1). В сравнении с динамикой вод поверхностной зоны изменяется характер циркуляции в Аравийском море, где образуется два круговорота разных знаков. Полная перестройка поля течений происходит в Бенгальском заливе. Антициклоническое обращение вод в поверхностной структурной зоне сменяется циклоническим в промежуточной. Система экваториальных течений не претерпевает существенных изменений. Заметно лишь ослабление интенсивности Южного экваториального течения. Коренным образом меняется характер циркуляции в центральной части океана. Линия конвергенции, разворачиваясь по часовой стрелке примерно на 30° , смещается на юг и вытягивается вдоль 40° ю. ш. В связи с этим движение вод на восток в южной субтропической области меняется на противоположное. Циркумполярный поток сохраняет восточное направление. На промежуточных глубинах значительно снижается его скорость и заметно усиливается влияние рельефа дна.

Глубинная структурная зона. В пограничном слое между промежуточной и глубинной структурными зонами (1500—2000 м) обнаруживается дальнейшее изменение горизонтальной циркуляции вод. Топография динамических высот на поверхности 2500 дбар (рис. 2в) репрезентативна для всей глубинной структурной зоны. В отличие от вышележащих слоев, здесь очевидно преобладание меридиональной составляющей в системе циркуляции вод. На общем фоне существенно сглаженного динамического рельефа выделяется сравнительно интенсивное антициклоническое обращение вод в западной субтропической части океана. В сравнении с положением, которое занимает этот круговорот на промежуточных глубинах, его ориентировка изменяется на угол в 90° , и в глубинной структурной зоне он вытянут вдоль меридиана. Течение в восточной половине субтропической области снова меняется на противоположное. В антарктическом районе продолжается слабое движение вод на восток. Перепад динамических высот в 50 дин·см поперек циркумполярного потока в промежуточной структурной зоне уменьшается до 4 дин·см в глубинной.

Придонная структурная зона. Характер циркуляции придонных вод (глубже 4000 м) выявить динамическим методом не удастся. Определенные сведения о переносе вод в этой структурной зоне дает анализ распределения физико-химических свойств. Известно, что придонные водные массы Мирового океана имеют общий источник — море Уэддела и некоторые другие районы прибрежной части Антарктики. Это тем более



в

б

а

Рис. 2. Динамические карты: а — на поверхности, б — на глубине 800 м, в — на глубине 2500 м

очевидно в отношении Индийского океана, северные границы которого не выходят за пределы тропиков. Между тем, температура придонных вод даже в Аравийском море и Бенгальском заливе не превышает $1,75^{\circ}$. Следовательно, придонные воды, в значительной степени подчиняясь рельефу дна, распространяются с юга на север, где компенсируют уходящие на юг массы промежуточных и глубинных вод. Таким образом, циркуляция придонных вод обладает чертами, существенно отличными от тех, которые наблюдаются в вышележащих слоях. Малая дискретность определения физико-химических характеристик на вертикали не позволяет выделить пограничный слой между глубинной и придонной структурными зонами. Несомненно, что мощность этого слоя из-за малых вертикальных градиентов плотности значительно больше других аналогичных слоев.

Роль пограничных слоев в вертикальной структуре водных масс и течений весьма велика. С точки зрения структуры вод они являются контактными в процессе обмена и трансформации соседних по вертикали водных масс. В то же время в пограничных слоях осуществляется перестройка поля течений, вследствие чего характер циркуляции внутри них должен быть существенно неустойчивым. Это позволяет предположить, что средняя глубина каждого из пограничных слоев (400; 1600 и 4000 м) может служить отсчетной поверхностью для динамических расчетов. Поэтому вполне закономерно то обстоятельство, что наша динамическая карта поверхности океана (рис. 2а) во всех деталях повторяет аналогичную карту, построенную В. Г. Нейманом⁽⁵⁾ для центральной и северной частей Индийского океана, ибо принятая им отсчетная поверхность 1500 дбар находится в пределах одного из пограничных слоев.

Мы рассмотрели наиболее крупные элементы стратификации вод океана и их взаимосвязь с вертикальной структурой течений. Следует иметь в виду, что поверхностная структурная зона включает в себя по крайней мере два самостоятельных слоя (поверхностный гомогенный и подповерхностный), разделенных переходным с большими градиентами плотности (слой скачка). Этот последний, по-видимому, аналогичным образом связан с перестройкой циркуляции по вертикали. Инструментальные измерения течений показали, что во многих районах Мирового океана имеет место многократная переслоенность в вертикальной структуре течений в верхней 500-метровой толще. Вышеизложенное позволяет утверждать, что в силу природных условий эти районы должны обладать столь же сложной термохалинной структурой вод. Иными словами, взаимосвязь циркуляции с термохалинной структурой вод осуществляется как в макро-, так и в мезомасштабных элементах стратификации океана.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
7 V 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Defant, Naturwiss. Deutschl., 24, № 24, Berlin (1936). ² В. Н. Степанов, Океанология, 7, № 3 (1967). ³ В. Н. Степанов, Океанология, 9, № 3 (1969).
⁴ В. Г. Нейман, Океанологические исследования, № 3 (1961). ⁵ В. Г. Нейман, ДАН, 195, № 4 (1970).