ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОГО ХРЕБТА НА ОПУСКАНИЕ ВОДЫ В ЭКМАНОВСКОМ ПОГРАНСЛОЕ НА НАКЛОННОМ ДНЕ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, тел. +7 499 129-1954, e-mail: dmelkin@ocean.ru*

One of the poorly studied mechanisms of ventilation of the Black Sea active layer is the lowering of oxygen-containing waters along the underwater slope in the Ekman bottom layer in the presence of the Rim current [1]. At the sea shelf and continental slope the bottom often has a complex topography, characterized by the presence of ridges, canyons, liftings and depressions. In the laboratory tank on a rotating platform, experiments were carried out to study this mechanism in the presence of an along slope ridge.

При наличии прибрежного течения, достигающего дна моря, образуется придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае прибрежного циклонического течения, или антициклонического течения вокруг острова, в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой плотностной стратификации водной среды, достигая определенной глубины опускания, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами. Поскольку дна имеет сложный рельеф, этот процесс зачастую происходит при наличии хребтов, каньонов, возвышенностей и впадин.

Цель работы – изучение динамики ПЭС в лабораторных условиях при наличии вдоль склонового хребта на наклонном дне в однородной и стратифицированной жидкости.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, сделанном из оргстекла и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижнем основанием на дне бассейна. На внешней стороне к образующей усеченного конуса перпендикулярно наклонной поверхности прикреплена тонкая пластинка треугольной формы, меньший угол, которой меньше угла конической поверхности.

Пластика расположена так, чтобы меньший угол касался верхнего основания, а сторона, противоположная меньшему углу, вблизи стенки бассейна. В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над этим отверстием осесимметрично расположен пустотелый цилиндр. В верхней части цилиндра имеется щель, служащая кольцевым источником, через который из сосуда Мариотта в бассейн подается с постоянным расходом вода плотности ρ_1 : такой же, или меньшей, чем плотность ρ_0 воды в бассейне. Перед началом опыта бассейн заполнялся водой до уровня верхнего края кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся водой, подкрашенной красителем. Поступающая в бассейн вода образует «прибрежное» (прижатое к боковой поверхности цилиндра) фронтальное течение. Из-за трения о дно в области этого течения возникает ПЭС в котором происходит опускание подкрашенной воды источника. На протяжении каждого опыта вид прибрежного течения и связанного с ним ПЭС снимался сверху и сбоку с помощью видеокамер. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки.

Рис. 1. Баротропный случай ($\rho_1 \approx \rho_0$): а) боковой вид; б) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС при наличии хребта; Бароклинный случай ($\rho_1 < \rho_0$): в) боковой вид; г) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС при наличии хребта; д) трехмерные конвективные структуры крупным планом. Прямая радиальная линия – положение хребта; пунктир – внешняя фронтальная граница прибрежного течения вне области хребта. Толстая стрелка – направление вращения платформы. Тонкая стрелка – направление прибрежного течения.

В [1] было проведено две серии опытов. В опытах первой серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в баротропном случае ($\rho_1 \approx \rho_0$). Вода, поступающая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Через некоторое время ширина слоя подкра-

шенной жидкости и связанного с ним прибрежного течения практически переставала расти, несмотря на продолжавшийся приток из источника. Стабилизация положения фронта подкрашенной жидкости была обусловлена с формированием в вязком ПЭС течения вниз по склону, выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны слоя прибрежного фронтального течения.

В описываемом здесь эксперименте, в баротропном случае ($\rho_1 \approx \rho_0$) при наличии вдоль склонового хребта, осесимметричность в распространении прибрежного течения и связанного с ним ПЭС нарушалась. Подкрашенная вода прибрежного течения и ПЭС, той же плотности, что и вода в бассейне, набегая на хребет, опускалась вниз у хребта глубже, чем в его в опытах, где хребет отсутствовал (рис. 1 а,б).

В бароклинном случае ($\rho_1 < \rho_0$), при достаточно небольшом различии плотности вод, при котором более легкие воды касались дна, общий характер влияния хребта на прибрежное течение и ПЭС не изменялся. Однако утолщение ПЭС в окрестности хребта приводило к более раннему развитию конвекции, которая сразу же имела вид трехмерных вихревых структур, в которых подкрашенная вода ПЭС поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости. Как и прежде, перед хребтом и за ним вода прибрежного течения и ПЭС, соответственно, распространялась значительно дальше и опускалась значительно глубже, чем в отсутствии хребта (рис. 1в, г, д).

Описанные результаты лабораторных опытов хорошо согласуются с некоторыми результатами натурных наблюдений. Данные лабораторные опыты по исследованию воздействия подводных хребтов на прибрежные баротропные и бароклинные течения показали, что наличие подводного хребта сильно стимулирует водообмен между мелководной и глубоководной частями бассейна.

Работа выполнена частично при поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095, а также гранта РФФИ № 17-05-00381.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Подымов, О.И., Островский А.Г. Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 531–537.
2. Didkovskii V.L., Semenov A.V., Zatsepin A.G. Mesoscale currents upon the smooth sloping bottom and in the presence of ridges and canyons // In: Oceanic Fronts and Related Phenomena / Konstantin Fedorov International memorial symposium. UNESCO, IOC, Workshop report No. 159. 2000. P. 89–94.