

## ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ХРЕБТОВ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ

Д.Н. Елкин<sup>1</sup>, А.Г. Зацепин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

## LABORATORY STUDY OF THE IMPACT OF UNDERWATER RIDES ON THE ALONGSHORE DOWNWELLING CURRENT AND BOTTOM EKMAN LAYER ASSOCIATED WITH IT.

D.N. Elkin<sup>1</sup>, A.G. Zatsepin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

*Одним из малоизученных механизмов вентиляции глубинных вод океана является опускание кислородосодержащих вод по склону дна в экмановском слое при наличии даунвеллингового вдольберегового течения. В океане в зоне шельфа и континентального склона дно обычно имеет сложный рельеф, характеризующийся наличием хребтов, каньонов, гор и впадин. Проведены лабораторные опыты по изучению этого процесса при наличии хребтов.*

*One of the poorly studied mechanisms of deep water ventilation is the lowering of oxygen-containing water along the bottom slope in the Ekman layer in the presence of a downwelling alongshore current. In the ocean the bottom usually has a complex relief, characterized by the presence of ridges, canyons, mountains and depressions. We conducted a laboratory experiment to study the impact of the ridge on the downwelling alongshore current and the bottom Ekman layer associated with it.*

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 вдольберегового течения, или антициклонического течения вокруг острова (в общем случае - даунвеллингового вдольберегового течения), в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой плотностной стратификации водной среды, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами [1].

Морское дно имеет сложный рельеф, и этот процесс зачастую происходит при наличии хребтов, каньонов, возвышенностей и впадин. Цель работы – изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС в лабораторных условиях при наличии вдольсклонового хребта на наклонном дне в однородной и стратифицированной вращающейся жидкости.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, сделанном из оргстекла и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижним основанием на дне бассейна. На внешней стороне к образующей усеченного конуса перпендикулярно наклонной поверхности прикреплена тонкая пластинка треугольной формы, вершинный угол которой меньше угла конической поверхности к горизонтали. Пластинка расположена так, чтобы вершинный угол касался верхнего основания, а сторона противоположная этому углу расположились 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  $\rho_1$ : такой же, или меньшей, чем плотность  $\rho_0$  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 вдольберегового течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки.

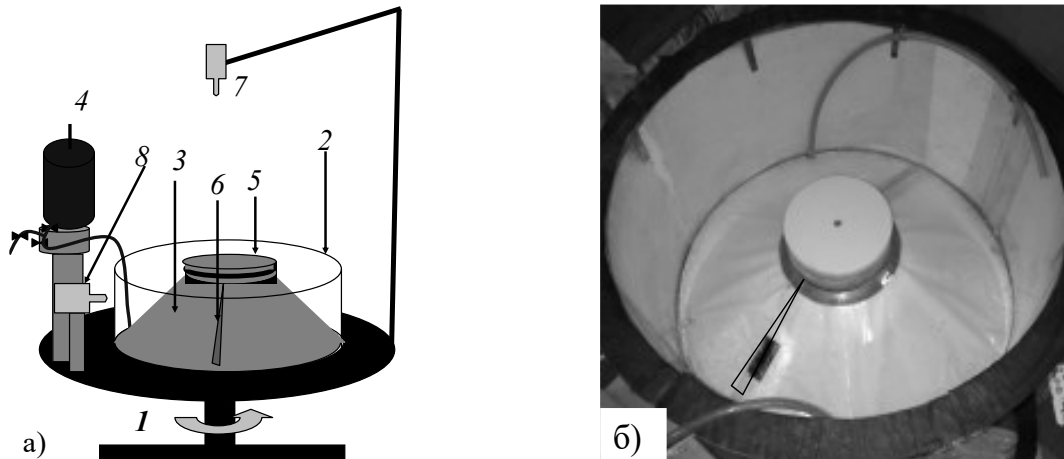


Рис. 1а). Вращающаяся платформа (1), бассейн, который заполняется жидкостью плотности  $\rho_0$  (2), усеченный конус (3), сосуд Мариотта который заполняется подкрашенной жидкостью плотности  $\rho_1$  (4), щелевой источник массы и плавучести, через который подкрашенная жидкость поступает на поверхность конуса, и образует антициклоническое осесимметричное даунвеллинговое течение (5), пластинка (6), видеокамера (7), боковая видеокамера (8); б) фото лабораторной установки.

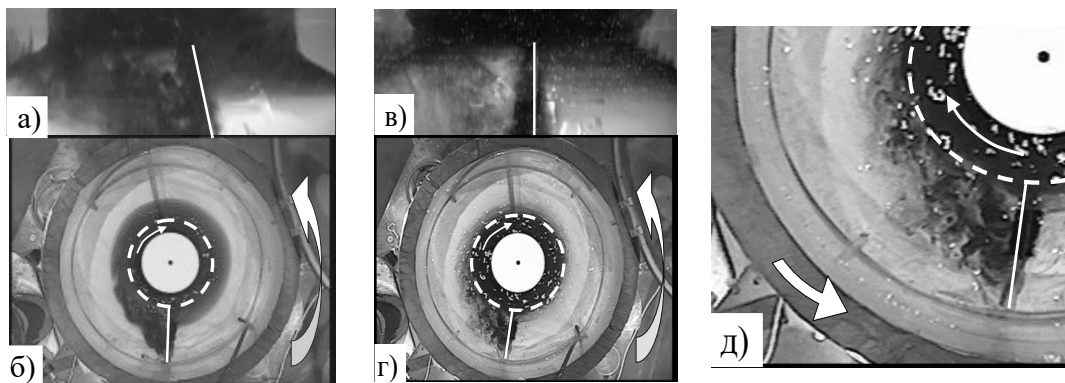


Рис. 2. Баротропный случай ( $\rho_1 \approx \rho_0$ ): а) боковой вид; б) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС при наличии хребта; Бароклинный случай ( $\rho_1 < \rho_0$ ): в) боковой вид; г) вид сверху структуры фронтального течения и ПЭС при наличии хребта; д) трехмерные конвективные структуры 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 ( $\rho_1 \approx \rho_0$ ). Эксперименты проводились при различных значениях скорости вращения платформы, и различных значениях расхода жидкости из щелевого источника. Вода, поступавшая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Через некоторое время ширина слоя подкрашенной 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 течения.

При наличии вдоль склонового хребта, подкрашенная жидкость прибрежного течения и ПЭС, той же плотности, что и вода в бассейне, натекая на хребет и замедлялась. Поэтому перед хребтом уровень жидкости повышался по сравнению с удаленными от хребта районами. Такое поле давления перед хребтом опускало воду прибрежного течения и связанного с ним ПЭС вниз, а за хребтом - поднимало ее вверх по склону (рис. 2а, б).

Опыты второй серии проводились при разных значениях солености воды в бассейне. При этом вода в источнике была пресной. В случае небольшого различия плотности вод ( $\rho_1 < \rho_0$ ), более легкие воды касались дна и общий характер влияния хребта на прибрежное течение и ПЭС не изменялся. Однако в окрестности хребта наблюдалось утолщение ПЭС, что приводило к более раннему развитию конвекции, которая имела вид трехмерных вихревых структур, в которых подкрашенная вода ПЭС поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости. Как и прежде, перед хребтом вода прибрежного течения и опускалась значительно глубже, чем в отсутствие хребта (рис. 2в, г,д)

При большем различии плотности вод ( $\rho_1 \ll \rho_0$ ), без хребта подкрашенная менее плотная вода прибрежного течения распространялась со временем радиально и осесимметрично. При наличии хребта прибрежное течение теряло симметричность: перед хребтом оно опускалось вниз, а за ним поднималось вверх. При этом его вода не касалась дна и не попадала в ПЭС.

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

## 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., Zatsepina 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 N 159, 2000. P.89-94.

*Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2018-0003 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095, а также гранта РФФИ № 17-05-00381.*

*The work was done within the state budget theme 0149-2018-0003 and with financial support from the grant of the Russian Science Foundation No. 14-50-00095, as well as a grant from the Russian Foundation for Basic Research No. 17-05-00381.*