



Наумов Л.М. Гордеева С.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет
Российский государственный гидрометеорологический университет*



Динамика мезомасштабных вихрей на границах Лофотенской котловины

Проект выполнен при финансовой поддержке гранта РФФ № 18-17-00027
«Вихревая динамика Лофотенской котловины и ее роль в переносе термохалинных свойств вод в Норвежском море».



Восемнадцатая Всероссийская открытая конференция с международным участием
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

Москва, 16 - 20 ноября 2020 г.

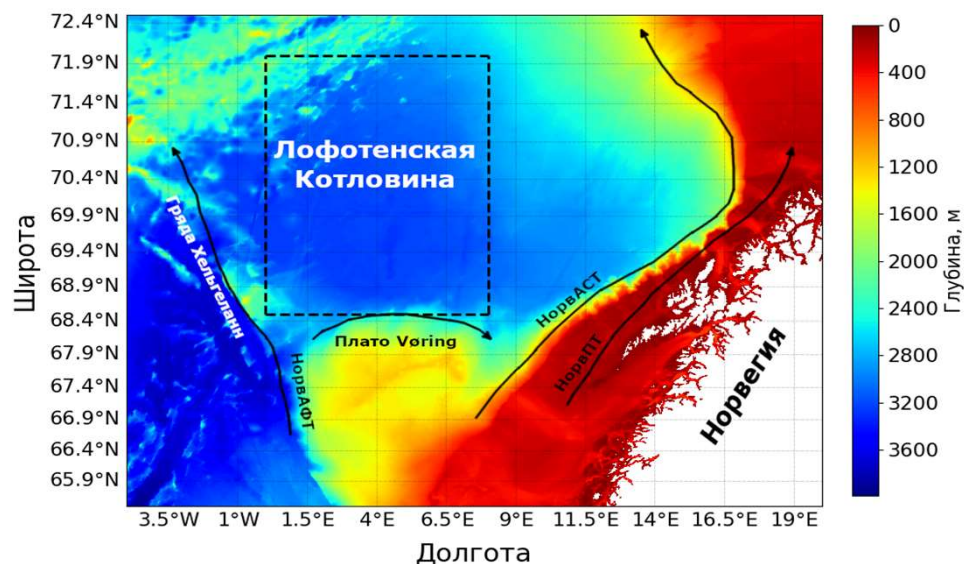


Лофотенская котловина Норвежского моря играет значительную роль в Северо-Европейском бассейне, выступая в качестве резервуара для теплых и соленых потоков воды, распространяющихся из Атлантики в Северный Ледовитый океан.

Основными факторами, влияющими на боковой перенос тепла в Лофотенском бассейне, являются поток воды в поверхностном слое с юга и вихревые потоки с востока [1].

В связи с недостаточностью регулярных глубоководных измерений наилучшими для исследования вихревых потоков являются данные реанализов, которые представляют собой модельные расчеты в регулярной сетке с ассимилированными натурными данными судовых наблюдений, дрейфующих буев и глайдеров, а также спутниковых наблюдений.

1- Bosse A., Fer I., Sjøiland H., Rossby T. Atlantic water transformation along its poleward pathway across the Nordic Seas // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2018. No. 123. <https://doi.org/10.1029/2018JC014147>



Целью работы явилась оценка завихренности на границах Лофотенской котловины.

Топография дна и основная циркуляция в Норвежском море. Регион исследования выделен пунктирной рамкой.
НорвПТ – Норвежское прибрежное течение;
НорвАТ – Норвежское атлантическое склоновое течение;
НорвАФТ – Норвежское атлантическое фронтальное течение.

Исходные данные. Суточные значения ортогональных компонент скоростей течений на разрезе от поверхности до дна из реанализа **GLORYS12V1**, который распространяется через портал **Copernicus** (http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=global_reanalysis_phy_001_030)

Данные выбирались на границах трапеции, оконтуривающей Лофотенскую котловину (68.5° – 72° с.ш. и 0° – 8° в.д.) (см. рисунок), за период 1993-2017 гг.

Расчет относительной завихренности и параметра Окубо-Вейсса.

Относительная завихренность ζ (ОЗ) и параметр Окубо-Вейсса W (ПОВ) рассчитывались по формулам:

$$\zeta = \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y}, \quad W = s_n^2 + s_s^2 - \zeta^2, \quad \text{где } s_n = \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial V}{\partial y}, \quad s_s = \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y}$$

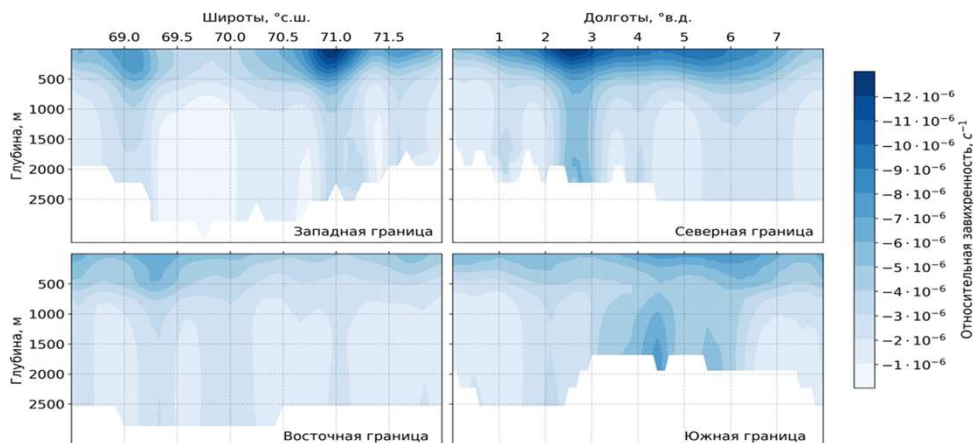
Пятиточечная **схема расчета ОЗ модифицирована**. Так как средний радиус мезомасштабных вихрей, по данным работы [2], равен 45-50 км, рассчитывался **интегральный показатель ОЗ** на радиусе 0-45 км. Было учтено неравенство продольного и поперечного радиусов из-за влияния сферичности Земли. Дополнительно проводилось разделение ОЗ на отрицательную (антициклоническую) и положительную (циклоническую) составляющие.

Так как ОЗ может детектировать не только замкнутые вихри, но и меандрирующие струи, вычислялся ПОВ, отрицательные значения которого свидетельствуют о нахождении в регионе именно вихря.

2- Gordeeva S., Zinchenko V., Koldunov F., Raj R.P., Belonenko T. Statistical analysis of long-lived mesoscale eddies in the Lofoten Basin from satellite altimetry //Advances in Space Research. 2020. DOI: 10.1016/j.asr.2020.05.043

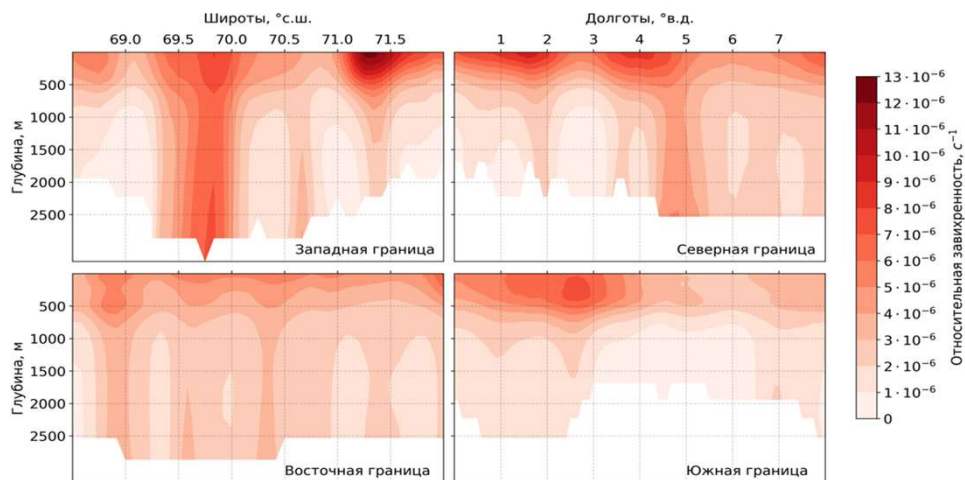
Распределение средних многолетних значений относительной завихренности на разрезах по границе ЛК.

Антициклоническая завихренность



За период 1993-2017 гг. на границах ЛК в распределении относительной завихренности обоих знаков существуют периодические долгопериодные усиления и ослабления значений, причем, при ослаблении антициклонической циркуляции возникает циклоническая, и наоборот. Это сильнее всего выражено на северной и южной границах в области 1° в.д. и на восточной и западной границах, около 69° с.ш.

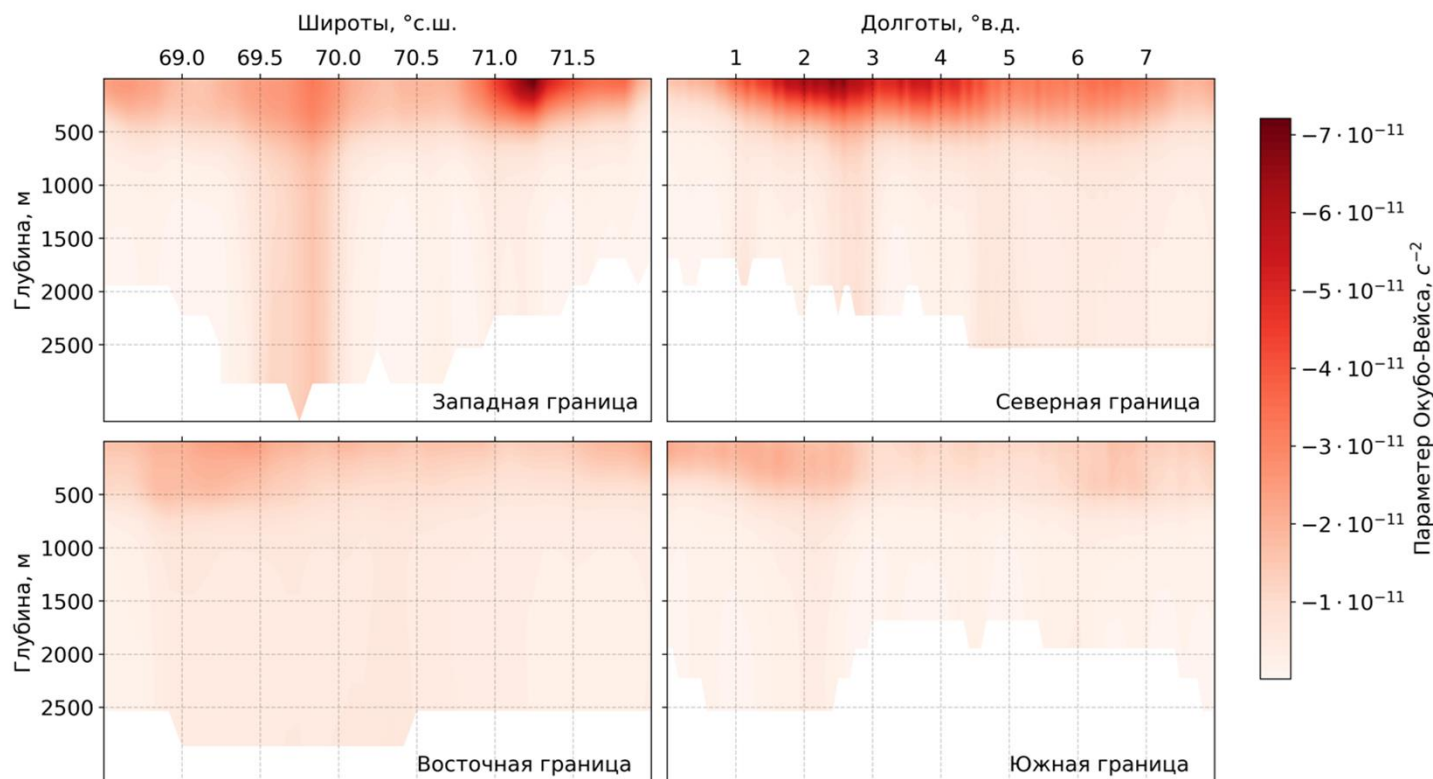
Циклоническая завихренность



В циклонических структурах по сравнению с антициклоническими отмечаются более высокие градиенты скорости.

По глубине положительные и отрицательные значения относительной завихренности располагаются в различных пространственных областях и в некоторых местах распространяется от поверхности до дна (3000 м), что отмечается как в кратковременной, так и в средней многолетней изменчивости.

Среднее многолетнее распределение значений параметра Окубо-Вейсса на разрезах по границам ЛК

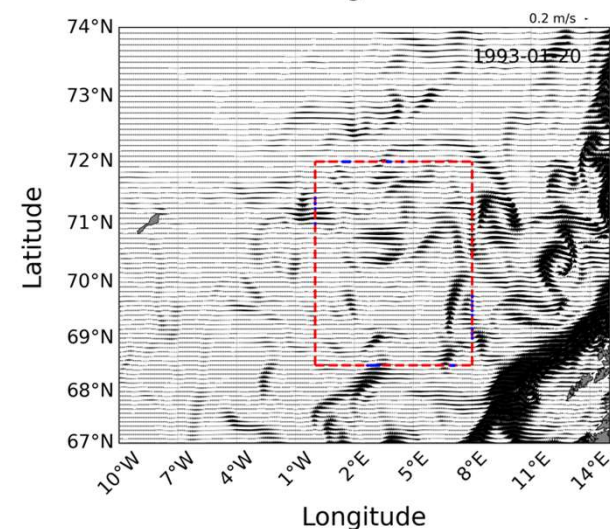
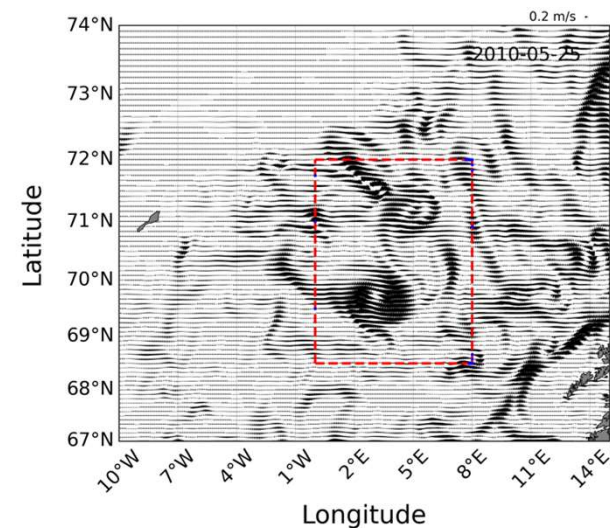


На границах ЛК значительная часть завихренности до горизонта 500 м обусловлена именно вихревыми структурами, заглубляющимися на местах с неоднородной топографией дна. Глубже 500 м преобладают сдвиговые компоненты скорости течения. Наиболее активными с точки зрения вихревой динамики границами являются северная и западная.

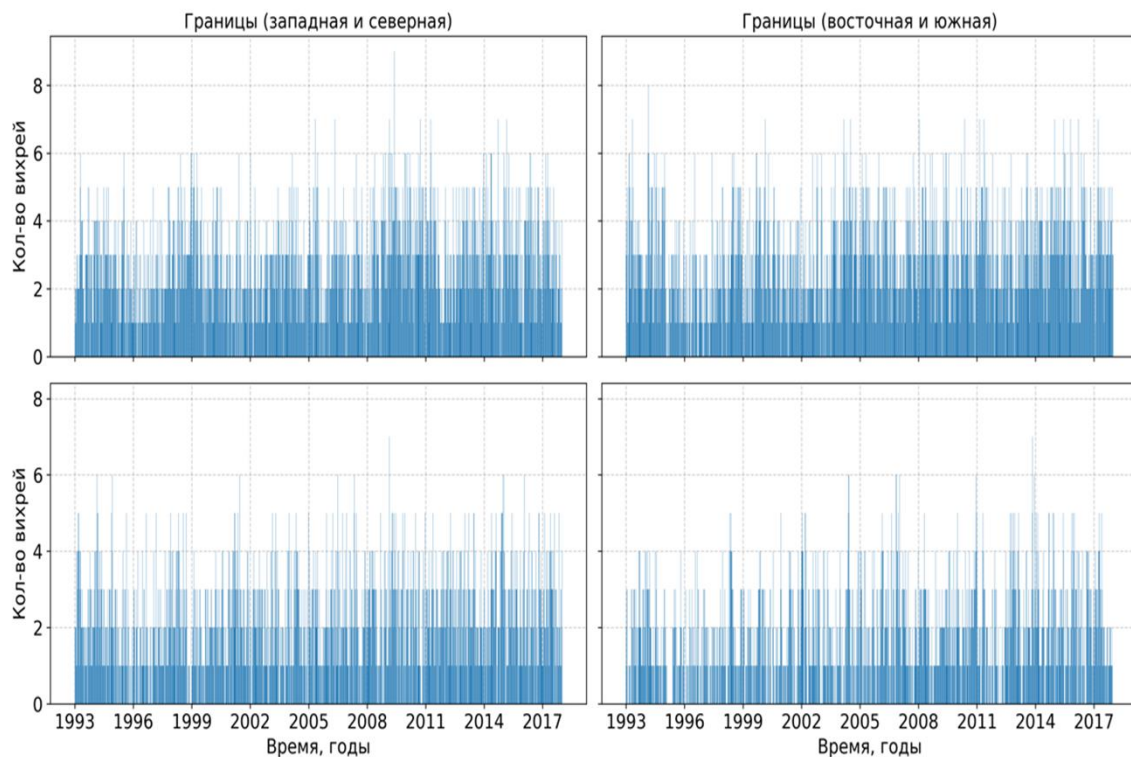
Идентификация вихрей по параметру Окубо-Вейсса

Вихрем считались значения параметра Окубо-Вейсса выше уровня, характерного для фоновой изменчивости данного параметра. За такое критическое значение ОВ был принят средний из всех исследуемых границ дециль (значение, вероятность появления которого в ряду ниже 10%). Если некоторые точки **подряд** на границе были отнесены к вихрю, то считалось, что они принадлежат к одному вихрю.

Пример идентификации вихрей с помощью описанного выше алгоритма (синими точками на границах показаны точки, в которых, согласно алгоритму, был обнаружен вихрь).



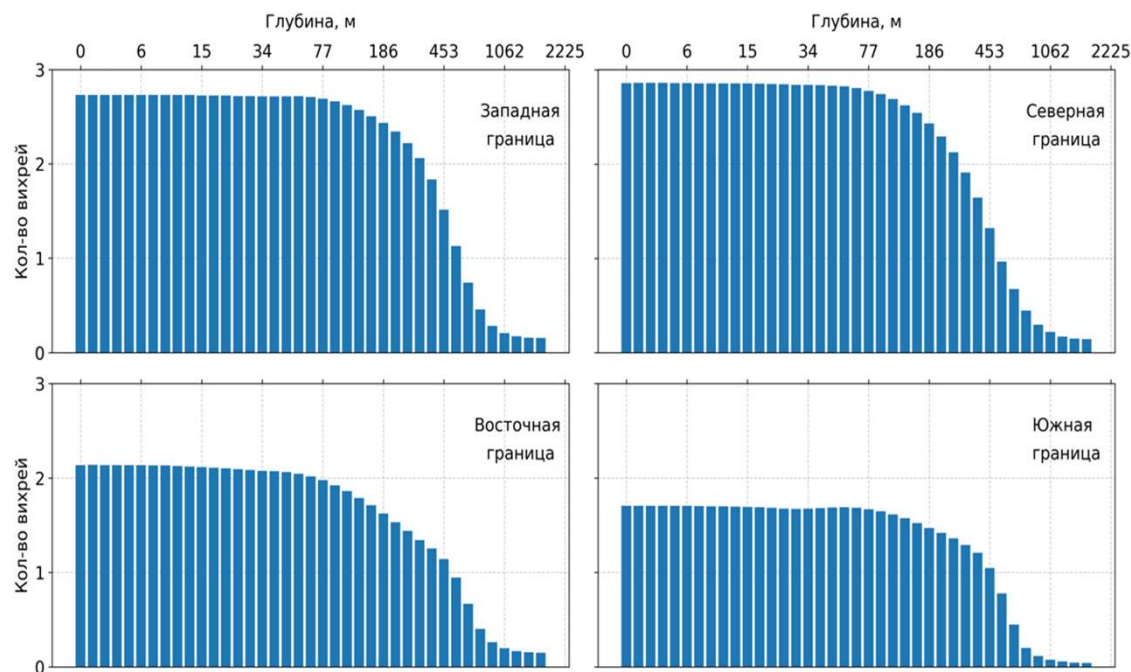
Ежесуточная изменчивость количества вихрей на каждой из границ



За весь исследуемый период было выявлено **26127** вихрей на северной, **15572** вихря на южной, **19516** на восточной **4940** на западной границах.

В межгодовой изменчивости отмечается значимый положительный тренд на всех границах, то есть **увеличение количества на 0,8-1,2 вихря в месяц**, что свидетельствует об усилении вихревой динамики в регионе Лофотенской котловины.

Среднее количество вихрей в сутки на каждом горизонте



Среднесуточное количество вихрей до глубины 100 метров практически не меняется, далее экспоненциально уменьшается, иногда достигая 2000 м.

**Проект выполнен при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-17-00027
«Вихревая динамика Лофотенской котловины и ее роль в переносе
термохалинных свойств вод в Норвежском море».**