

## Вихри в Норвежском и Гренландском морях по данным спутниковых РСА в летний период 2007 года

А. В. Артамонова , И. Е. Козлов

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
 artamonovaoccean@gmail.com

Поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 28.10.2022;  
принята к публикации 08.11.2022.

### Аннотация

**Цель.** Анализ пространственно-временной изменчивости поля вихрей в свободных ото льда районах Норвежского и Гренландского морей за летний период 2007 г. на основе обработки измерений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) и ее зависимости от фоновых ветровых условий и поля поверхностных течений – цель настоящей работы.

**Методы и результаты.** В качестве исходных данных использовались спутниковые радиолокационные изображения (РЛИ) *Envisat ASAR* за период май – октябрь 2007 г. в режиме съемки *WSM* с шириной полосы обзора  $400 \times 400$  км и пространственным разрешением  $150 \times 150$  м. Идентификация поверхностных проявлений вихревых структур проводилась на основе визуального анализа РЛИ экспертом, после чего определялись диаметр, знак вращения и глубина места, соответствующая центру вихря. В качестве источника информации о поле приводного ветра использовался продукт *CMEMS WIND\_GLO\_PHY\_CLIMATE\_L4\_REP\_012\_003*, основанный на измерениях скаттерометров *ASCAT* с пространственным разрешением  $0,25^\circ$ . Для анализа связи интенсивности генерации вихрей с фоновым полем поверхностных течений на горизонте 1 м использовались данные реанализа *CMEMS GLORYS12V1* с пространственным разрешением  $0,25^\circ$ . Всего зарегистрировано более 3000 поверхностных проявлений вихрей. Основные районы наблюдения вихрей, характеризующиеся их максимальной повторяемостью, зарегистрированы на Норвежском шельфе восточнее плато Воринг с глубинами не более 200 м, на восточном склоне Лофотенской котловины, в западной части Датского пролива, а также над Фарерско-Исландским порогом. Показано, что циклонические и антициклонические вихри наблюдались в равном количестве. Диапазон диаметров вихревых структур составил 0,5–150 км со средним значением  $\sim 14$  км. Чаще всего вихри наблюдались над глубинами, не превышающими 500 м. Наибольшее количество проявлений вихревых структур зарегистрировано при ветрах северного и северо-восточного направлений со скоростями 3–5 м/с и на границах течений со скоростью более 0,3–0,4 м/с.

**Выводы.** Зарегистрировано равное количество циклонических и антициклонических вихревых структур, что сопоставимо с результатами альтиметрических наблюдений в этом районе, но существенно отличается от результатов РСА-наблюдений в других арктических и субарктических районах с существенным доминированием циклонических вихрей. Чаще всего вихри встречались вдоль основных струйных течений и в местах их меандрирования.

**Ключевые слова:** океанские вихри, спутниковые радиолокационные изображения, РСА, Лофотенский вихрь, Норвежское море, Гренландское море, *GLORYS12V1*, *ASCAT*

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-10052, <https://rscf.ru/project/21-77-10052>.

**Для цитирования:** Артамонова А. В., Козлов И. Е. Вихри в Норвежском и Гренландском морях по данным спутниковых РСА в летний период 2007 года // Морской гидрофизический журнал. 2023. Т. 39, № 1. С. 120–133. EDN OFTTND. doi:10.29039/0233-7584-2023-1-120-133

# Eddies in the Norwegian and Greenland Seas from the Spaceborne SAR Observations in Summer, 2007

A. V. Artamonova ✉, I. E. Kozlov

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

✉ artamonovaocean@gmail.com

## Abstract

**Purpose.** The paper is aimed at analyzing the spatio-temporal variability of eddy field in the ice-free regions of the Norwegian and Greenland seas in summer, 2007 based on processing the spaceborne synthetic aperture radar (SAR) data, and its dependence on the background wind conditions and the surface current field.

**Methods and Results.** The *Envisat* ASAR radar images (RI) obtained in the *WSM* imaging mode with the  $400 \times 400$  km swath width and the  $150 \times 150$  m spatial resolution for May – October, 2007, were used as the initial data. The eddy surface manifestations were identified by an expert through the visual analysis of RI, after which the eddy diameter and rotation sign, as well as the total depth of the place corresponding to the eddy center, were determined. Information on the near-surface wind field was derived from the *CEEMS WIND\_GLO\_PHY\_CLIMATE\_LA\_REP\_012\_003* product based on the *ASCAT* scatterometer measurements carried out with the  $0.25^\circ$  spatial resolution. To analyze the relation between the eddy generation intensity and the surface currents' background field at the 1 m depth, the *CEEMS GLORYS12V1* oceanic reanalysis with the  $0.25^\circ$  spatial resolution was applied. In total, more than 3000 surface eddy manifestations were recorded. The key regions where the eddies were observed and which were characterized by the eddies' maximum probability, were found over the Norwegian continental shelf east of the Vøring Plateau (water depth  $< 200$  m), on the eastern slope of the Lofoten Basin, in the western part of the Denmark Strait and over the Iceland-Faroe Ridge. It is shown that the numbers of the observed cyclonic and anticyclonic eddies were equal. The observed eddies' diameters ranged within 0.5–150 km with the average value of  $\sim 14$  km. Most often the eddies were observed over the depths not exceeding 500 m. The majority of eddy manifestations were identified under the northerly and northeasterly winds of 3–5 m/s and at the boundaries of currents whose velocities exceeded 0.3–0.4 m/s.

**Conclusions.** The number of cyclonic and anticyclonic eddies was recorded equal, which was comparable to the results of altimetry observations in the region, but differed from the results of SAR observations in the other Arctic and sub-Arctic regions where the cyclonic eddies dominated. The observed eddies were most often detected along the main jet currents and in the regions of their meandering.

**Keywords:** ocean eddies, radar images, SAR, Lofoten vortex, Norwegian Sea, Greenland Sea, *GLORYS12V1*, *ASCAT*

**Acknowledgements:** The study was carried out at financial support of the Russian Science Foundation grant No. 21-77-10052, <https://rscf.ru/project/21-77-10052>.

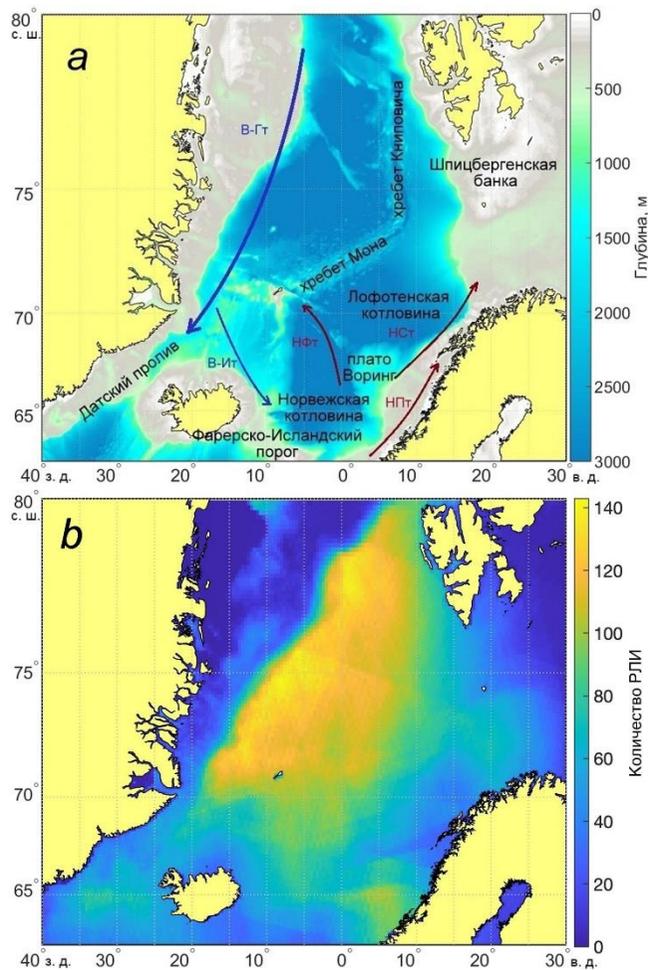
**For citation:** Artamonova, A.V. and Kozlov, I.E., 2023. Eddies in the Norwegian and Greenland Seas from the Spaceborne SAR Observations in Summer, 2007. *Physical Oceanography*, 30(1), pp. 112–123. doi:10.29039/1573-160X-2023-1-112-123

## Введение

Норвежское и Гренландское моря являются районами с высокой вихревой активностью, что играет важную роль в перераспределении вод между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами, а также в распределении тепла и биогенных элементов [1–3].

Находящаяся в Норвежском море Лофотенская котловина является транзитным резервуаром, проходя через который атлантические воды заглубляются и трансформируются, далее попадая в Арктический бассейн. Отличи-

тельная особенность региона – квазипостоянный антициклонический Лофотенский вихрь, который находится в центральной части Лофотенской котловины и представляет собой линзу теплой воды с существенными горизонтальными и вертикальными масштабами [4–6].



**Р и с. 1.** Карта района исследований с батиметрией на основе *GEBCO* и указанием основных географических наименований. Стрелками показаны основные течения: Восточно-Гренландское (В-Гт), Восточно-Исландское (В-Ит), Норвежское фронтальное (НФт), Норвежское склоновое (НСТ) и Норвежское прибрежное (НПт) – *a*; карта покрытия исследуемого района спутниковыми РСА-данными (цветом показано количество доступных РЛ-изображений) – *b*

**F i g. 1.** Map of the study region including the *GEBCO*-based bathymetry and major geographical names. Arrows show the main currents: East Greenland (EGC), East Iceland (EIC), Norwegian Frontal (NFC), Norwegian slope (NSC) and Norwegian coastal (NCC) – *a*; coverage of the study region by the satellite SAR data, the number of available SAR images is shown in color – *b*

Циркуляция вод в исследуемой акватории (рис. 1, *a*) представлена холодным Восточно-Гренландским течением, образующим в районе Исландии ветвь Восточно-Исландского течения, и теплым Норвежским течением, которое раз-

деляется на Норвежское фронтальное течение, проходящее между Норвежской и Лофотенской котловинами, Норвежское склоновое течение, движущееся на север вдоль континентального склона Норвегии, и Норвежское прибрежное течение. Большое количество крупных течений делает данный район динамически нестабильным, что является важным фактором для генерации вихревых структур. Исходя из того, что вихри могут переносить значительное количество тепла и прочих трассеров на большие расстояния [3], исследование их пространственного распределения и характеристик важно, например, для учета в глобальных и региональных моделях циркуляции океана.

Цель настоящей работы – проанализировать пространственно-временную изменчивость поля вихрей в свободных ото льда районах Норвежского и Гренландского морей за летний период 2007 г. на основе обработки измерений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) и ее зависимость от фоновых ветровых условий и поля поверхностных течений. Исследованию вихревой активности в Норвежском и Гренландском морях, в особенности в районе Лофотенской котловины, было посвящено немало работ, однако их большая часть была основана на данных спутниковой альтиметрии [3, 5, 6–8]. Исследования вихрей на основе анализа данных спутниковых РСА также проводились для этого региона [3, 8–10], но в них рассматривались лишь отдельные районы в северной части Гренландского моря (пролив Фрама) и в Лофотенской котловине, при этом использовались совершенно иные массивы данных. В настоящей работе впервые приводятся результаты наблюдения вихревых структур по столь обширному району Европейского сектора Арктики и анализ связи пространственно-временной изменчивости поля вихрей с фоновыми полями течений и приводного ветра, что и определяет новизну данного исследования. В работе использовались материалы VI Международной научно-практической конференции <sup>1</sup>.

### Данные и методы

Как известно, генерация и последующее распространение вихревых структур сопровождаются изменениями в поле поверхностных течений, формированием выраженных зон конвергенции и дивергенции течений, в которых происходит активная модуляция ветровой ряби и пленок поверхностно-активных веществ. Эти факторы приводят к формированию поверхностных проявлений вихревых структур, наблюдаемых на изображениях спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) морской поверхности в виде контрастов обратного рассеяния радиолокационного (РЛ) сигнала [3, 11].

Для анализа вихревой динамики на акватории Норвежского и Гренландского морей использовались спутниковые радиолокационные изображения (РЛИ) *Envisat ASAR* за период май – октябрь 2007 г. в режиме съемки *WSM* с шириной полосы обзора  $400 \times 400$  км и пространственным разрешением

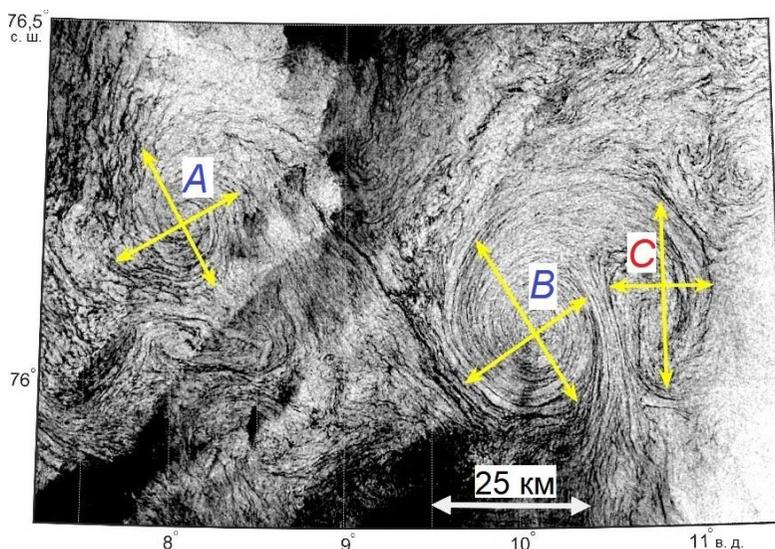
---

<sup>1</sup> Артамонова А. В., Козлов И. Е. Характеристики вихрей в Норвежском и Гренландском морях по данным спутниковых радиолокационных наблюдений в 2007 году // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы VI Международной научно-практической конференции. Майкоп : Изд-во «ИП Кучеренко В. О.», 2021. Часть 1. С. 25–30.

150 × 150 м. В ходе анализа выделялись только вихри, наблюдаемые на безледных участках морской поверхности.

На рис. 1, *b* представлено пространственное распределение количества проанализированных РСА-данных для исследуемого района с учетом льда, т. е. за вычитанием всех фрагментов РЛИ со льдом. Маска льда для каждого изображения строилась на основе спутникового продукта Бременского университета [12]. Как видно, наибольшее количество РЛ-данных (> 140) приходится на глубоководную часть Гренландского моря, включая пролив Фрама, а также на район вблизи плато Воринг в Норвежском море (~ 100). Минимальное количество РЛ-данных приходится на шельфовые районы Гренландского моря, в которых ледяной покров наблюдается на протяжении почти всего летнего сезона.

На основе анализа поверхностных проявлений вихрей (ППВ) в РСА-изображениях (рис. 2) определялись районы генерации вихрей, их диаметр, знак вращения и глубина места, соответствующая центру вихря. Определение характеристик вихревых структур проводилось на основе методики, описанной в работе [13]. Анализ данных и обработка результатов выполнялись в программной среде *Mathworks* ©*MatLab*. После визуальной идентификации ППВ экспертом определялись различные характеристики вихрей.



**Р и с. 2.** Примеры проявлений вихревых структур на изображении *Envisat ASAR* от 25 июля 2007 г., обусловленных скоплением поверхностных пленок в зонах конвергенции поверхностных течений. Желтыми стрелками отмечены диаметры циклонических (*A*, *B*) и антициклонических (*C*) вихрей

**F i g. 2.** Examples of eddy manifestations on the *Envisat ASAR* image (July 25, 2007) conditioned by the accumulation of surface films in the surface currents convergence zones. Yellow arrows mark the diameters of the cyclonic (*A*, *B*) and anticyclonic (*C*) eddies

Как уже было сказано, вихревые структуры на РСА-изображениях наблюдаются благодаря изменению шероховатости морской поверхности, что в свою очередь зависит от взаимодействия полей течений и ветра с поверхностными

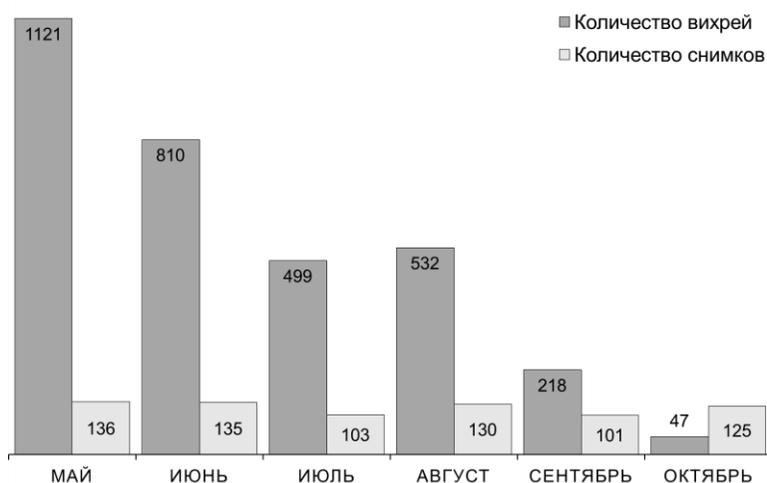
пленками и волнами. Наиболее благоприятными факторами для наблюдения вихрей открытой воды на РЛИ являются слабые и умеренные ветры<sup>2</sup> [14, 15].

Для получения данных о ветре использовался продукт *CMEMS WIND\_GLO\_PHY\_CLIMATE\_L4\_REP\_012\_003*, основанный на данных скаттерометров *ASCAT* с пространственным разрешением 0,25°.

Для анализа связи интенсивности генерации вихрей с фоновыми полями течений использовался океанический реанализ *CMEMS GLORYS12V1* с пространственным разрешением 0,25° на горизонте 1 м. Этот реанализ хорошо воспроизводит основные характеристики полей течений, а также их мезомасштабную изменчивость [6].

### Результаты

Всего в ходе работы проанализировано 730 РЛИ *Envisat ASAR* за период май – октябрь 2007 г., в которых идентифицировано 3327 ППВ. Можно видеть (рис. 3), что в распределении общего количество РЛИ по месяцам разница незначительная. При этом наибольшее количество ППВ было зарегистрировано в мае (1121), наименьшее – в октябре (47).



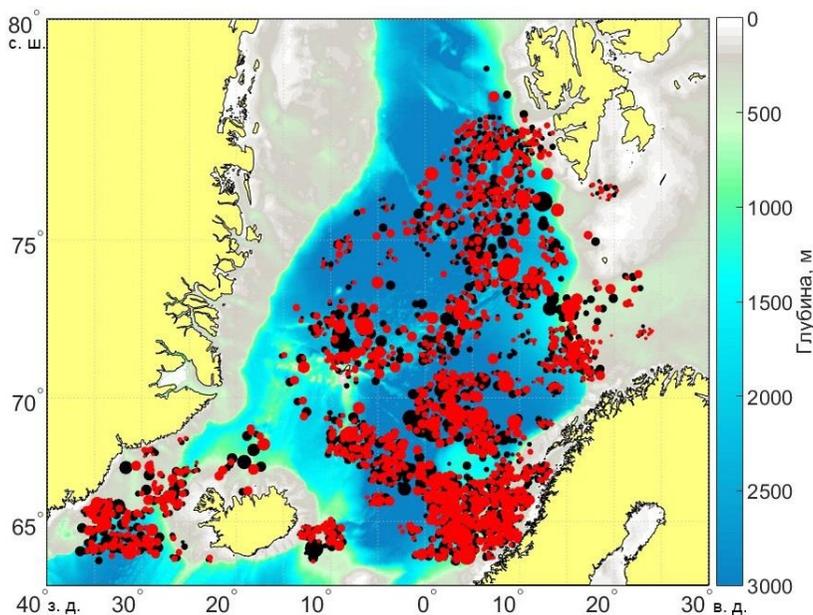
**Р и с. 3.** Гистограммы распределения количества РЛИ и зарегистрированных вихрей за период май – октябрь 2007 г.

**F i g. 3.** Histograms of distribution of the number of radar images and the recorded eddies in May – October, 2007

На рис. 4 показано пространственное распределение всех идентифицированных вихрей. Количество антициклонов составило 1627, циклонов 1600, что значительно отличается от результатов, полученных ранее для других морей Арктики [3, 9, 11, 13, 16]. Наибольшие скопления вихрей обнаружены в районе

<sup>2</sup> *Dokken S. T., Wahl T.* Observations of spiral eddies along the Norwegian coast in ERS SAR images. Kjeller, Norge : Norwegian Defence Research Establishment, 1996. 29 p.

плато Воринг, на периферии Норвежского фронтального течения, на восточном склоне Лофотенской котловины, аналогично результатам [3] – вдоль хребтов Мона и Книповича, в Датском проливе и над Фарерско-Исландским порогом. Такое расположение, вероятнее всего, обуславливается меандрированием Восточно-Гренландского и Норвежского течений вследствие их бароклинной и баротропной неустойчивости, взаимодействия этих течений с Лофотенским вихрем, а также значительных неоднородностей топографии (хребты, котловины), где вихревые структуры встречаются наиболее часто.



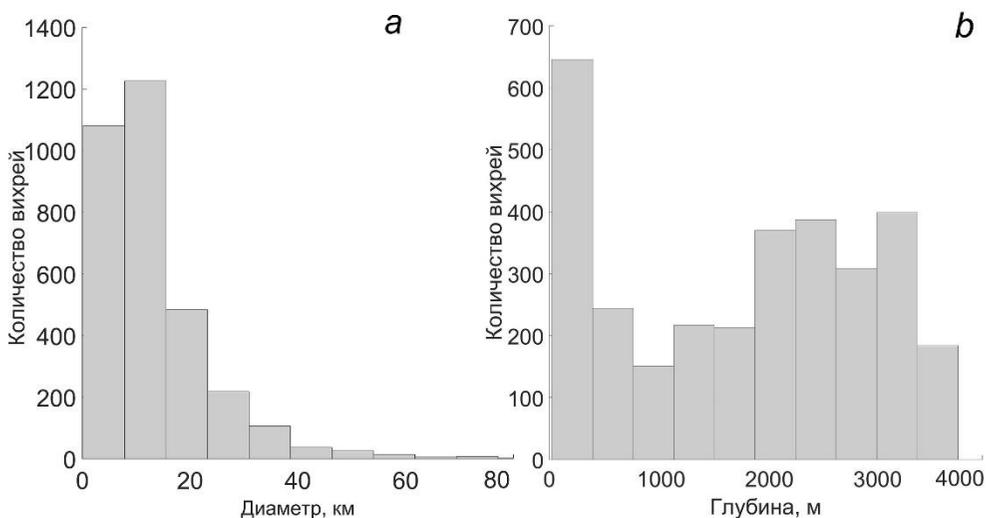
**Рис. 4.** Пространственное распределение вихрей, идентифицированных в данных спутниковых РСА в мае – октябре 2007 г. Черные (красные) кружки обозначают циклонические (антициклонические) вихри. Размер маркера пропорционален диаметрам вихрей

**Fig. 4.** Spatial distribution of the eddies identified in the SAR data in May – October, 2007. Black (red) circles indicate the cyclonic (anticyclonic) eddies. The marker size is proportional to the eddy diameters

Гистограмма распределения диаметров зарегистрированных вихрей показана на рис. 5, а. В основном диаметры наблюдаемых вихрей не превышали 15 км (2260 вихрей из 3327). Средний зарегистрированный диаметр составил 13,9 км. Средний диаметр антициклонических и циклонических вихрей отличается незначительно (13,98 и 13,85 км соответственно). Максимальный зарегистрированный диаметр составил 154 км, существенных отличий для циклонов и антициклонов по этому параметру не обнаружено.

В работах [9, 17] было показано, что в диапазоне значений диаметров вихрей ~ 15–30 км разница в соотношении между циклонами и антициклонами уменьшается, а при больших диаметрах антициклонические вихри начинают

доминировать. Согласно результатам данной работы, количество циклонических и антициклонических вихревых структур диаметрами до 15 км также примерно одинаково (1119 и 1133 соответственно).

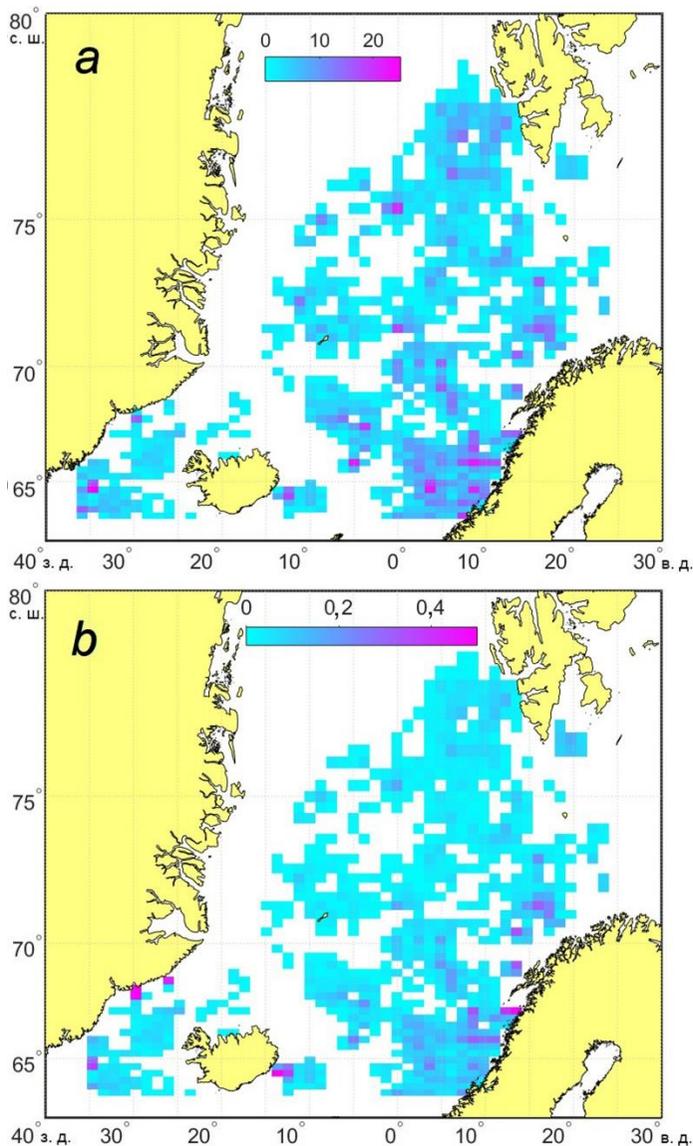


**Р и с. 5.** Гистограммы распределения диаметров вихрей – *a* и глубин, над которыми они были идентифицированы, – *b*

**F i g. 5.** Histograms of distribution of the eddy diameters – *a* and depths over which the eddies were identified – *b*

Гистограмма распределения глубин, над которыми регистрировались вихри, показана на рис. 5, *b*. Вихри наблюдались на глубинах 26–3776 м. Их наибольшее количество зарегистрировано над глубинами, не превышающими 500 м, однако значительное количество располагалось и над глубоководными районами с глубинами > 1000 м.

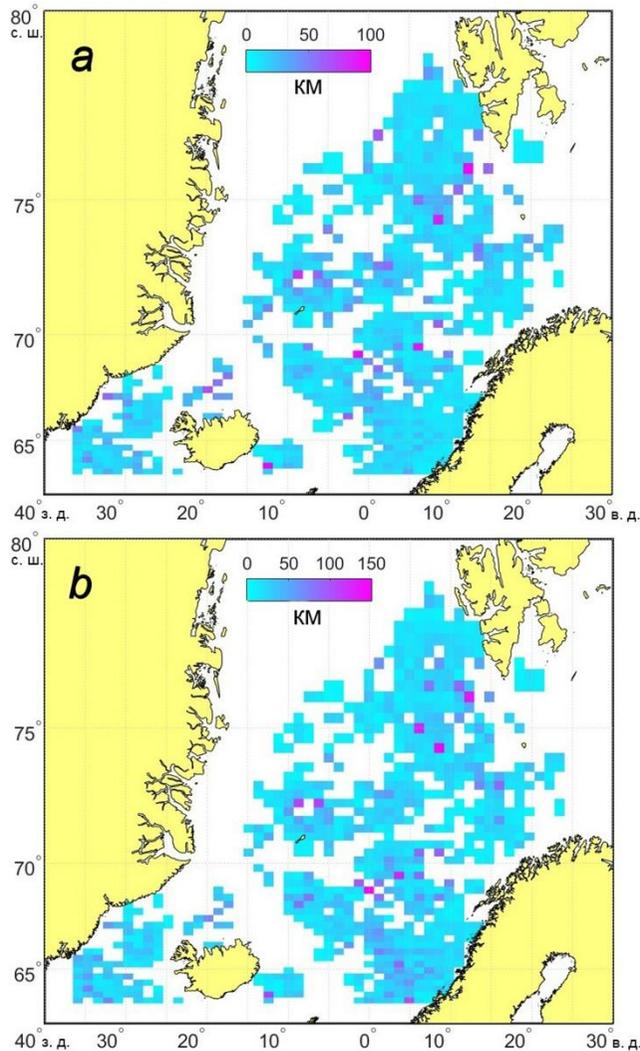
На рис. 6, *a* показано пространственное распределение общего количества идентифицированных вихрей на сетке размером  $50 \times 50$  ячеек (площадь ячейки составляет в среднем  $3,05 \text{ км}^2$ ). Наибольшее количество вихрей обнаружено в тех же районах, что были отмечены выше. На рис. 6, *b* показано пространственное распределение повторяемости наблюдения вихрей в районе исследований, полученное в виде отношения общего количества вихрей в узле сетки к количеству РСА-наблюдений этого узла. Эта нормированная характеристика позволяет наиболее точно выделить ключевые районы интенсивного вихреобразования. Как видно, максимальные значения повторяемости наблюдения вихрей (0,4 и выше) зарегистрированы на Норвежском шельфе восточнее плато Воринг с глубинами не более 200 м, на восточном склоне Лофотенской котловины, в западной части Датского пролива, над Фарерско-Исландским порогом и на Гренландском шельфе Датского пролива с глубинами менее 200 м.



**Р и с. 6.** Пространственное распределение на квадрат сетки: *a* – общего количества вихрей, идентифицированных по данным спутниковых РСА в мае – октябре 2007 г.; *b* – повторяемости наблюдения вихрей

**F i g. 6.** Spatial distribution per a grid square of: *a* – total number of the eddies identified using the satellite SAR data in May – October, 2007; *b* – probability of eddy observations

На рис. 7 показано пространственное распределение величин среднего (рис 7, *a*) и максимального (рис 7, *b*) диаметров вихрей на сетке размером  $50 \times 50$  ячеек. Эти распределения в целом сходны. Вихри с наибольшими средними (50 км и более) и максимальными (100 км и более) диаметрами регистрировались в районе хребтов Мона и Книповича, на восточном склоне Лофотенской котловины, а также на периферии Норвежского фронтального течения.

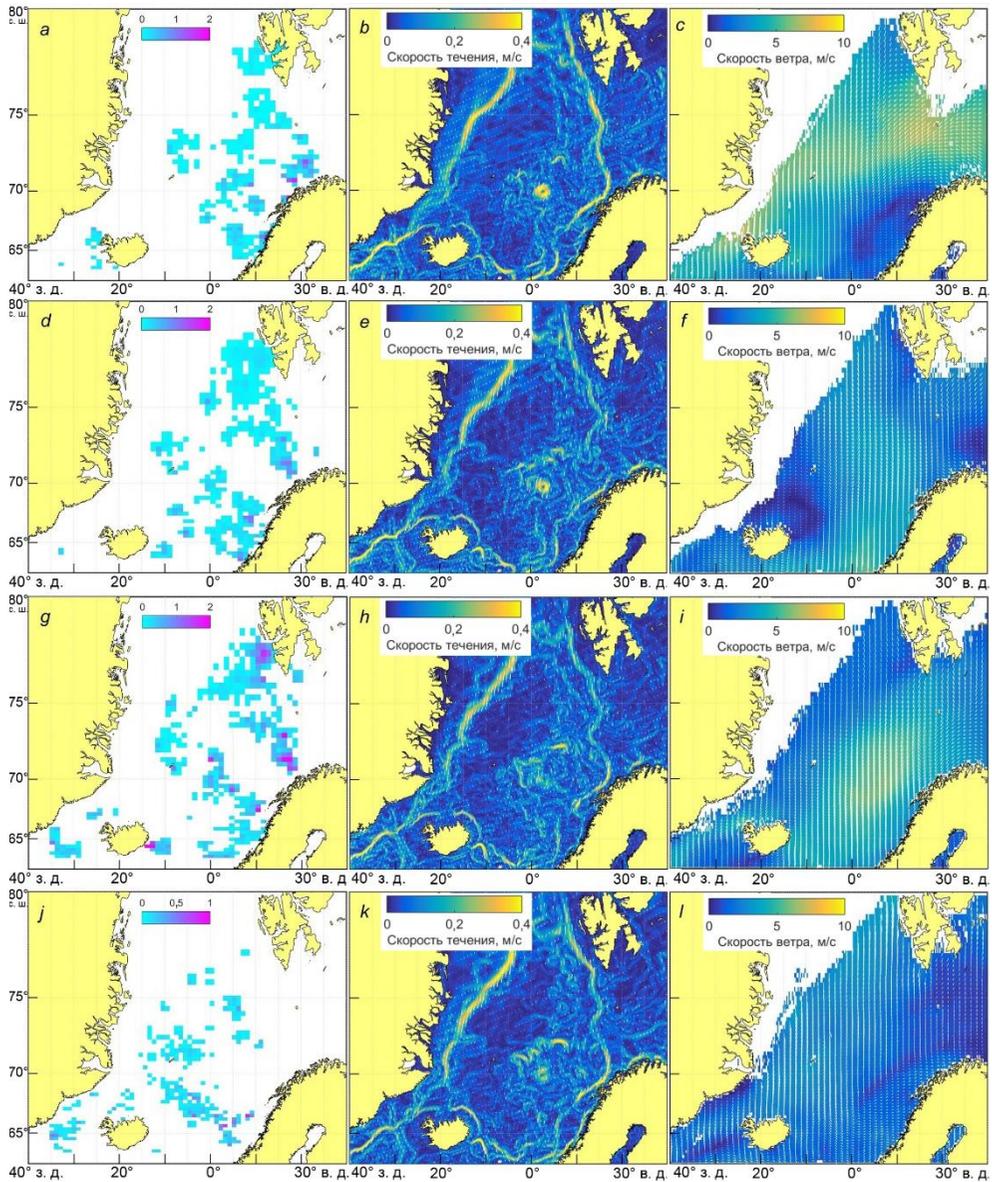


**Р и с. 7.** Пространственное распределение величин среднего (а) и максимального (b) диаметров вихрей, идентифицированных по данным спутниковых РСА в мае – октябре 2007 г.

**Fig. 7.** Spatial distribution of the average (a) and maximum (b) diameters of the eddies identified by the SAR data in May – October, 2007

Для анализа связи интенсивности генерации вихрей с фоновыми полями поверхностных течений и ветра на рис. 8 показаны среднemesячные пространственные распределения повторяемости вихрей (слева), скорости и направления течений (в центре), скорости и направления ветра (справа) в мае – августе 2007 г.

В целом, возвращаясь к рис. 4, можно сказать, что вихри в основном располагаются на периферии струй основных течений со скоростями в диапазоне 0,1–0,4 м/с, а в некоторых случаях и превышающими эти значения. Во все месяцы в поле течений отчетливо виден квазистационарный антициклонический Лофотенский вихрь, на периферии которого в данных РСА обнаружено большое количество более мелких вихрей (рис. 7).



**Р и с. 8.** Пространственное распределение: среднемесячных значений повторяемости наблюдения вихрей на квадрат сетки размером  $50 \times 50$  ячеек (слева), скорости основных течений (в середине) и скорости приводного ветра (справа) в мае – августе 2007 г.

**Fig. 8.** Spatial distribution of: monthly averages of eddy observation probability per a grid square of  $50 \times 50$  cells (left), surface current velocities (middle) and near-surface wind speed (right) in May – August, 2007

В мае (рис. 8, *a – c*), когда было зарегистрировано наибольшее количество вихрей за весь период, также наблюдалась и максимальная за весь период интенсивность основных течений. Так, для струй Норвежского, Восточно-Гренландского и Восточно-Исландского течений максимальные значения скорости достигали более 0,3–0,4 м/с. Интересно отметить, что в мае в районе Восточно-

Гренландского течения еще наблюдался ледяной покров. Несмотря на интенсивность этого течения, вихри открытой воды вблизи него не были обнаружены, тогда как вихри прикромочной ледовой зоны наблюдались регулярно [16]. В целом в этом месяце доминировал северо-восточный ветер со средними скоростями  $\sim 3\text{--}4$  м/с.

В июне (рис. 8, *d – f*) вихри чаще встречались в местах меандрирования ветвей Норвежского течения, а также в районе его столкновения с Восточно-Исландским течением. В местах интенсивной генерации вихрей наблюдался ветер северного и северо-восточного направлений со скоростями  $3\text{--}5$  м/с.

В июле (рис. 8, *g – i*) основные очаги генерации вихрей фактически полностью совпадали с июньскими и располагались на участках смены направления и интенсификации ветвей Норвежского течения, к юго-западу от арх. Шпицберген на теплой струе Западно-Шпицбергенского течения и на периферии Лофотенского вихря. Ветровые условия в местах наибольшего скопления вихревых структур характеризовались ветром северо-восточного направления со скоростями  $3\text{--}5$  м/с.

В августе (рис. 8, *j – l*) вихри чаще встречались на периферии Лофотенского вихря и в местах интенсификации и меандрирования Восточно-Гренландского течения в Датском проливе. Август выделяется низкими скоростями ветра до  $4$  м/с преимущественно северного направления.

Результаты для сентября и октября не приводятся ввиду значительно меньшего количества выделенных вихревых структур. Интенсивность основных течений в эти месяцы была несколько меньше. Но основной причиной более редкой регистрации вихревых структур, по-видимому, стали более высокие средние значения скорости приводного ветра – до  $8$  м/с, ограничивающие надежную идентификацию вихрей в данных спутниковых РСА. В районах наблюдения вихрей средняя скорость ветра была ниже и не превышала  $5$  м/с.

### Заключение

Отличительной особенностью поверхностных проявлений вихрей в исследуемом районе за период май – октябрь 2007 г. является примерно одинаковое количество выделенных циклонических и антициклонических вихрей, что сходно с результатами альтиметрических наблюдений в этом районе. Этот результат существенно отличается от результатов, полученных в подобных исследованиях для других арктических морей, где циклоны обычно существенно преобладали над антициклонами. Предположительно, это связано с размерами наблюдаемых вихрей. В нашем случае средний диаметр наблюдаемых вихрей составил  $\sim 15$  км, что в  $2\text{--}3$  раза выше средних размеров вихрей в других арктических морях и во многом определяется радиусом деформации Россби.

Показано, что наиболее интенсивными районами вихреобразования являются области у плато Воринг, в Датском проливе, над Фарерско-Исландским порогом, на периферии квазистационарного Лофотенского вихря и вдоль ветвей Норвежского течения. Большое количество вихрей также наблюдалось в районе хребтов Мона и Книповича, вдоль основной струи Западно-Шпицбергенского течения в проливе Фрама и на западном шельфе арх. Шпицберген.

Максимальное количество вихрей наблюдалось вдоль струй основных течений, особенно в районах их меандрирования. Наибольшее количество вихрей зарегистрировано в мае, когда интенсивность основных течений была максимальной. Снижение количества идентифицированных вихрей в сентябре – октябре 2007 г. объясняется более высокими относительно летних месяцев скоростями приводного ветра, ограничивающими регистрацию поверхностных проявлений вихрей в спутниковых данных.

Наиболее благоприятными факторами, при которых регистрировалось значительное количество вихревых структур, являлись ветры северного и северо-восточного направлений со скоростью в диапазоне 3–5 м/с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С.* Синоптические вихри в океане. Ленинград : Гидрометеониздат, 1987. 511 с.
2. *Hansen C., Kvaleberg E., Samuelsen A.* Anticyclonic eddies in the Norwegian Sea; their generation, evolution and impact on primary production // Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2010. Vol. 57, iss. 9. P. 1079–1091. doi:10.1016/j.dsr.2010.05.013
3. Eddies in the North Greenland Sea and Fram Strait From Satellite Altimetry, SAR and High-Resolution Model Data / I. L. Bashmachnikov [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2020. Vol. 125, iss. 7. e2019JC015832. doi:10.1029/2019JC015832
4. *Новоселова Е. В., Белоненко Т. В.* Изопикническая адвекция в Лофотенской котловине Норвежского моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 3. С. 56–67. doi:10.7868/S2073667320030041
5. *Travkin V. S., Belonenko T. V.* Seasonal variability of mesoscale eddies of the Lofoten Basin using satellite and model data // Russian Journal of Earth Sciences. 2019. Vol. 19. ES5004. doi:10.2205/2019ES000676
6. Мезомасштабные вихри Лофотенской котловины по спутниковым данным / В. А. Зинченко [и др.] // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 3. С. 46–54. doi:10.7868/S2073667319030067
7. Interaction Between Mesoscale Eddies and the Gyre Circulation in the Lofoten Basin / R. P. Raj [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2020. Vol. 125, iss. 7. e2020JC016102. doi:10.1029/2020JC016102
8. *Зимин А. В., Атаджанова О. А.* Оценка характеристик мезомасштабных вихрей в бассейне Лофотенской котловины по данным спутниковых и судовых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 3. С. 202–210. doi:10.21046/2070-7401-2020-17-3-202-210
9. *Kozlov I. E., Atadzhanova O. A.* Eddies in the Marginal Ice Zone of Fram Strait and Svalbard from Spaceborne SAR Observations in Winter // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, iss. 1. 134. doi:10.3390/rs14010134
10. *Петренко Л. А., Козлов И. Е.* Характеристики вихрей у архипелага Шпицберген и в проливе Фрама по данным спутниковых РСА-наблюдений в летний период // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 7. С. 167–177. doi:10.21046/2070-7401-2020-17-7-167-177
11. *Артамонова А. В., Козлов И. Е., Зимин А. В.* Характеристики вихрей в Чукотском море и море Бофорта по данным спутниковых радиолокационных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 1. С. 203–210. doi:10.21046/2070-7401-2020-17-1-203-210
12. *Spreen G., Kaleschke L., Heygster G.* Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2008. Vol. 113, iss. C2. C02S03. doi:10.1029/2005JC003384

13. Eddies in the Western Arctic Ocean From Spaceborne SAR Observations Over Open Ocean and Marginal Ice Zones / I. E. Kozlov [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2019. Vol. 124, iss. 9. P. 6601–6616. doi:10.1029/2019JC015113
14. *Karimova S.* Spiral eddies in the Baltic, Black and Caspian seas as seen by satellite radar data // *Advances in Space Research*. 2012. Vol. 50, iss. 8. P. 1107–1124. doi:10.1016/j.asr.2011.10.027
15. Remote Sensing of the Fram Strait Marginal Ice Zone / R. A. Shuchman [et al.] // *Science*. 1987. Vol. 236, iss. 4800. P. 427–439. doi:10.1126/science.236.4800.429
16. Наблюдение малых вихрей в Белом, Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых радиолокационных измерений / О. А. Атаджанова [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2017. № 2. С. 80–90. doi:10.22449/0233-7584-2017-2-80-90
17. *Karimova S.* Observations of asymmetric turbulent stirring in inner and marginal seas using satellite imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 2017. Vol. 38, iss. 6. P. 1642–1664. doi:10.1080/01431161.2017.1285078

*Об авторах:*

**Артамонова Анастасия Викторовна**, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **WoS ResearcherID: AAD-2817-2022**, **Scopus Author ID: 57210964315**, **ORCID ID: 0000-0002-1154-3372**, **SPIN-код: 1478-6492** **AuthorID: 965452**, artamonovaoccean@gmail.com

**Козлов Игорь Евгеньевич**, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией морских полярных исследований, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0001-6378-8956**, **ResearcherID: G-1103-2014**, **Scopus Author ID: 49963767500**, ik@mhi-ras.ru