

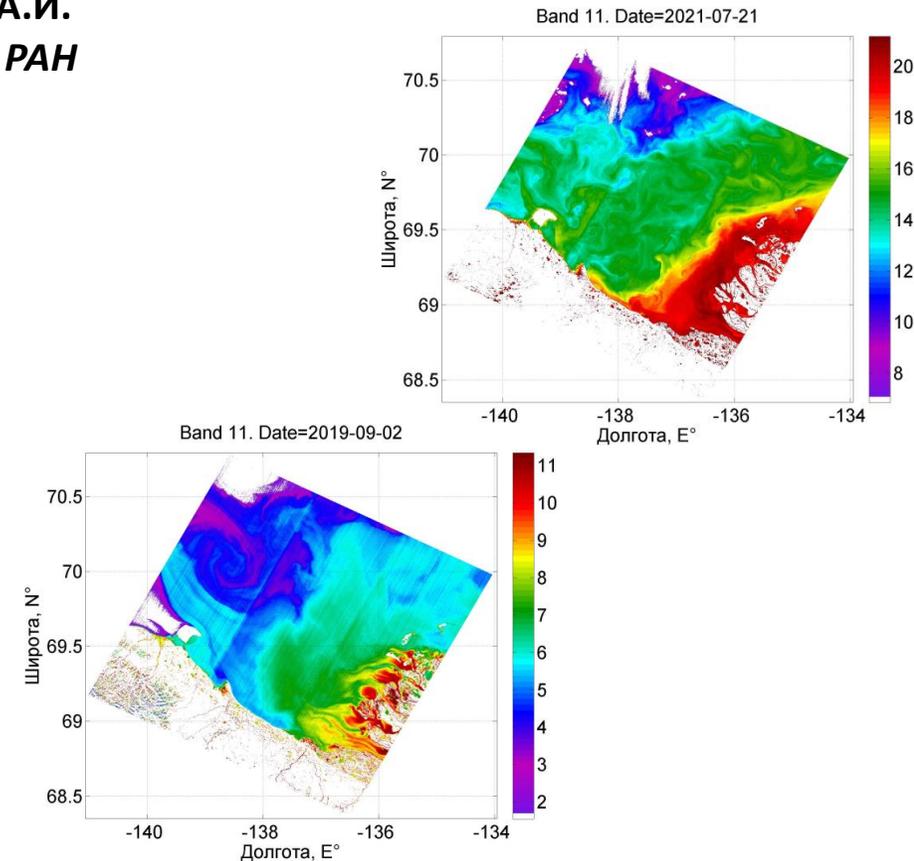
# Оценка роли вихрей в переносе тепла и био-оптических характеристик в различных районах Арктики на основе анализа спутниковых измерений и данных численного моделирования

Лишаев П.Н., Алескерова А.А., Мизюк А.И.  
Морской гидрофизический институт РАН

## Данные:

Анализ вихревой динамики Амеразийского сектора Арктического бассейна (от западной границы Чукотского моря до восточной границы моря Бофорта) выполнен с использованием ежесуточных полей скоростей течений на поверхности моря из численного расчета по модели **NEMO** за 2022 год; горизонтальное разрешение сетки 0.05 градуса;

Для выявления вихревой динамики и оценки переноса тепла и массы анализировались снимки со спутника **Landsat-8,9/ Sentinel-2** для Арктического региона с 2013 года по 2023 г. Всего было отобрано для анализа более 300 безоблачных снимков с открытой поверхностью воды (на рис.2 пример рассматриваемых карт). Для определения температурных характеристик для данных примеров, используется алгоритм восстановления температуры [Aleskerova et al., 2016].



Карта температуры поверхности моря по данным Landsat-8



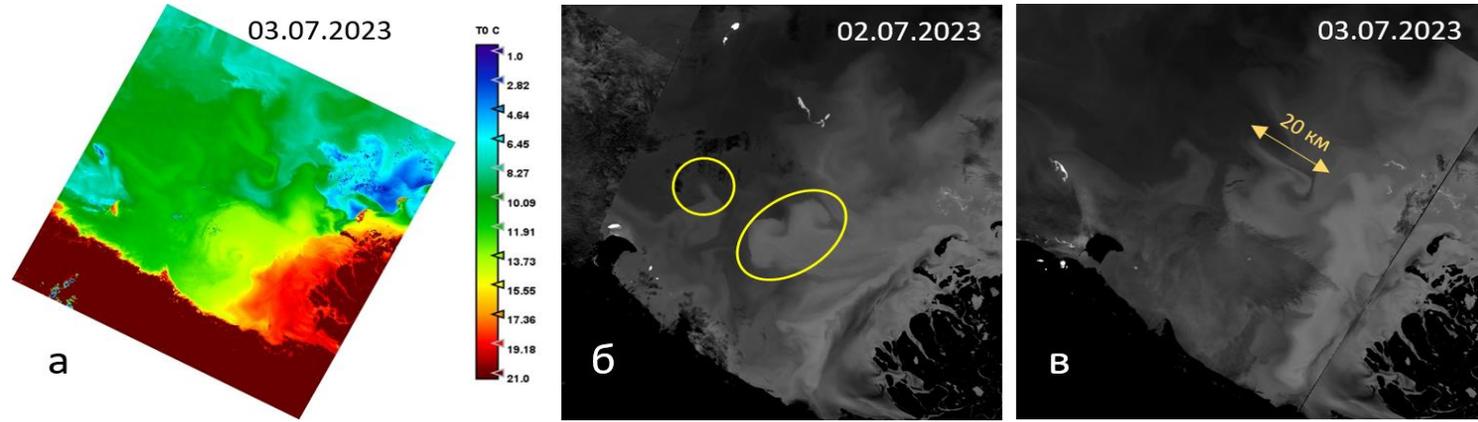
XII международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

11 - 15 ноября 2024 г.

Москва, Институт космических исследований РАН



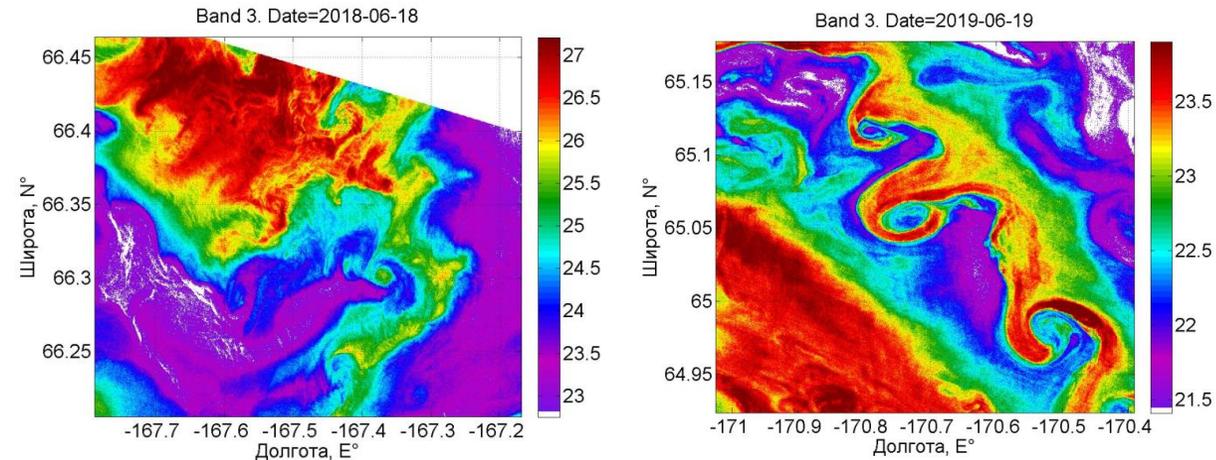
## Результаты по данным спутниковых данных:



Использование «квазисинхронных» снимков и снимков не сильно разнесенных по времени (соседние сутки) дает возможность оценить скорости перемещения вихревых структур

Спутниковые изображения: а - поверхностная температура (Landsat-9); б, в – яркость/взвесь (Sentinel-2)

Ниже представлены увеличенные примеры генерации вихрей на фронте течений

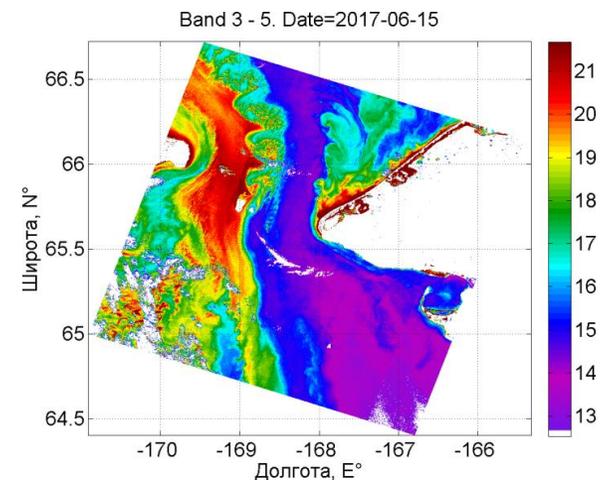
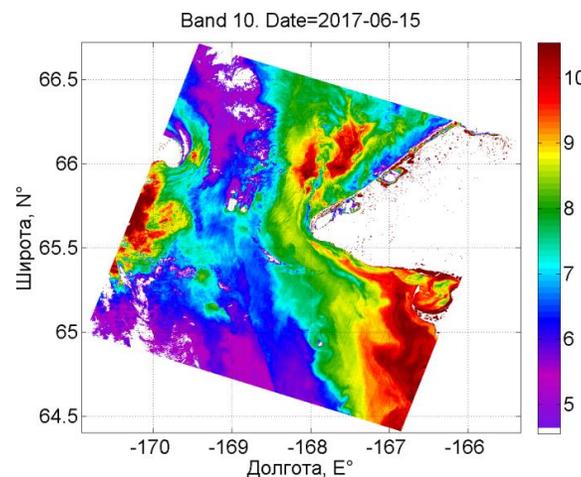
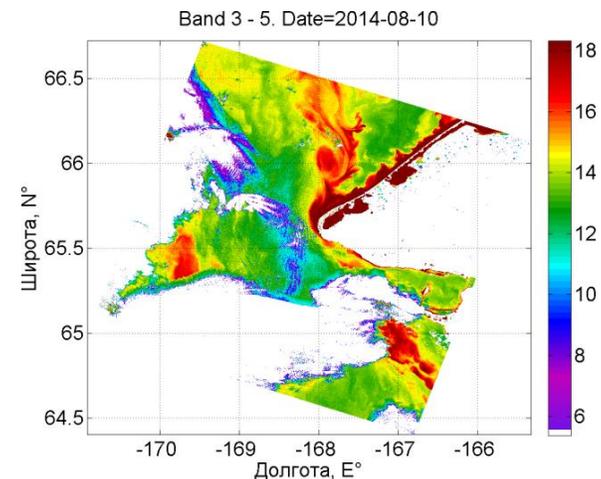
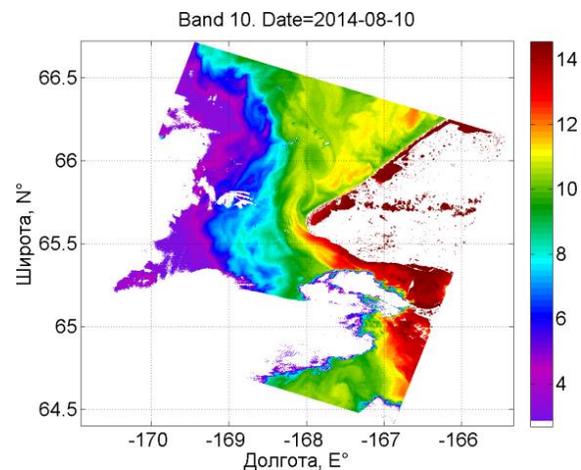


Яркость излучения (Вт/м<sup>2</sup>·ср·мкм) со спутника Landsat-8 при  $\lambda=0,5-0,6$  мкм

## Результаты по данным спутниковых данных:

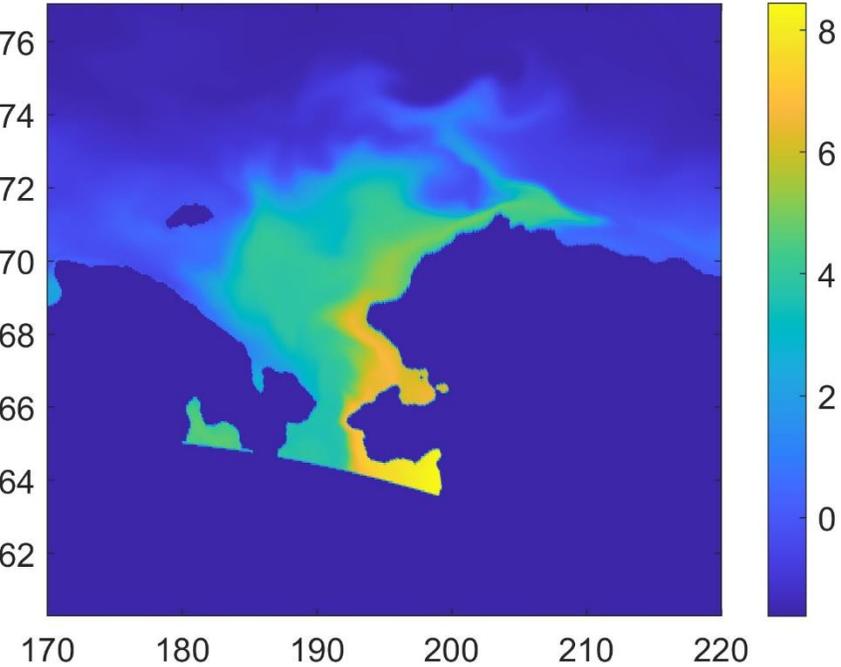
показаны примеры генерации субмезомасштабных вихрей на границе столкновения холодных и теплых вод.

Холодные воды наблюдаются у берегов Чукотского полуострова, теплые – у берега полуострова Сьюард. Представлены примеры сопоставления температурных карт и карт яркости. При их сопоставлении видно, что некоторые вихри хорошо проявляются на температурной карте, однако они не отмечаются на карте яркости и наоборот. Так на рис. а,б наблюдаются вихри на фронте течений, которые не видны на снимке яркости. На примере рис. в, г вихри на фронте плохо прослеживаются в температуре, однако четко видны на карте яркости. Существенная генерация вихрей наблюдается и у береговой линии у м. Принца Уэльского. На примере за 10 августа 2014 года вихри у данного побережья отменяются как в температуре, так и в яркости. На снимке за 15 июня 2017 года вихри у данного побережья прослеживаются только на карте яркости. Отмечается, что на фронте течений формируются более крупные вихри с размерами порядка 20-30 км. У берегов и собственно в потоке течений генерируются более мелкие вихри с размерами до 10 км.

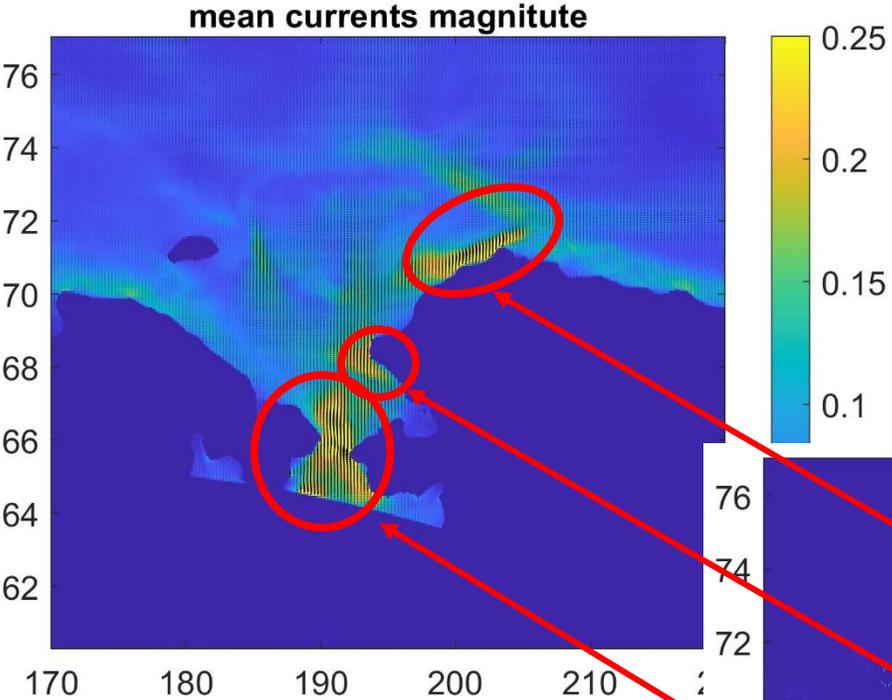


Яркость излучения в дальнем ИК ( $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм}$ ) со спутника Landsat-8 при  $\lambda=10,30\text{--}11,30$  мкм (а, в) и разность яркости каналов (б, г) от 10 августа 2014 г. и 15 июня 2017 г.

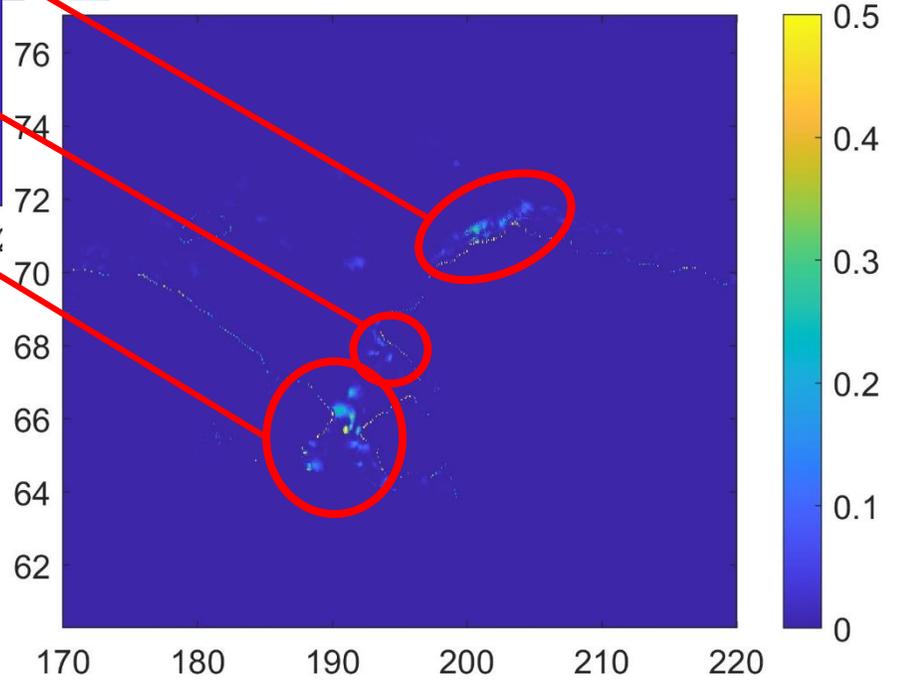
**Результаты по данным модели:**



Температура поверхности на 7.10.2022



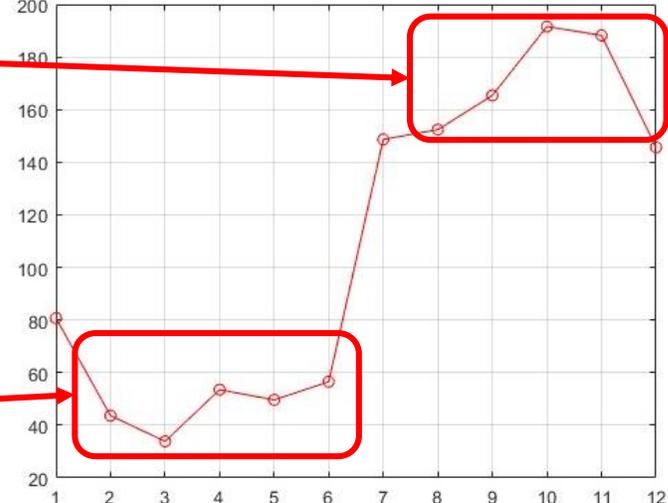
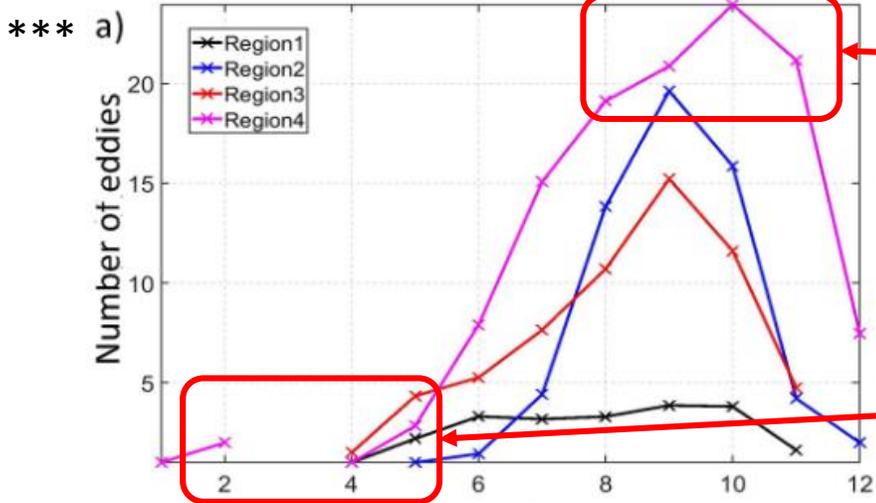
Вероятность наблюдения вихрей



# Результаты по данным модели:

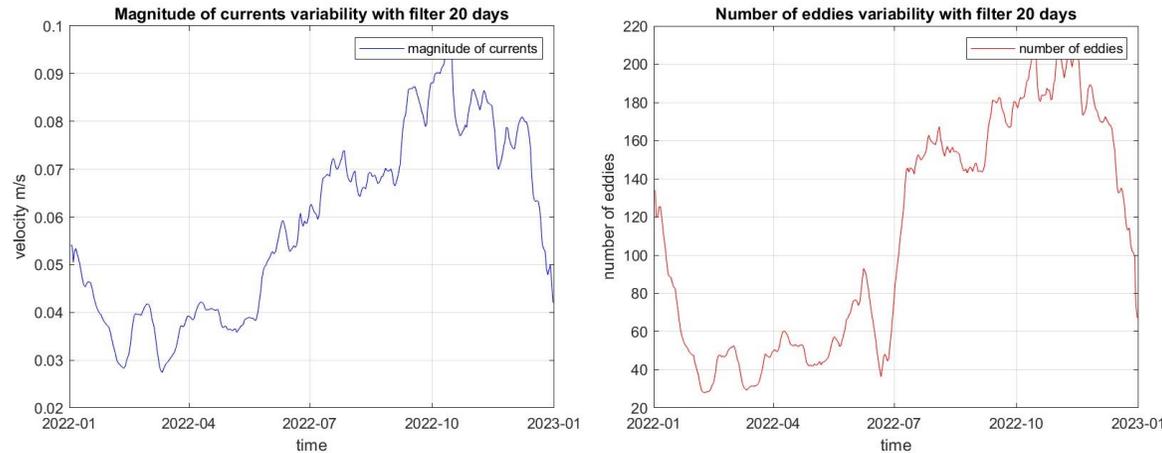
Сезонная изменчивость количества вихрей (альтиметрия)

Сезонная изменчивость количества вихрей (модель)



\*\*\* Kubryakov, A. A., Kozlov, I. E., & Manucharyan, G. E. (2021). Large mesoscale eddies in the Western Arctic Ocean from satellite altimetry measurements. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126, e2020JC016670

## Результаты по данным модели:



Временная изменчивость модуля скорости поверхностных течений (слева) и количества вихрей (справа) по данным модели

Повышенные значения вероятности наблюдения вихревых образований (0.15-0.25) соответствуют областям интенсивных течений. Максимальная вероятность наблюдения вихрей расположена возле мыса Барроу вдоль северной части Аляскинского течения (Alaskan Coastal Current). Сезонная изменчивость количества вихрей соответствует изменчивости скоростей течений – максимум наблюдается октябре-ноябре, а минимум – с февраля по май, при этом общее число идентифицированных вихрей увеличивается в несколько раз.

Автоматическая идентификация вихревых структур по трехмерным полям скоростей течений выполнялась на основе расчета параметра Окубо-Вейса ([Okubo, 1970; Weiss, 1991]), оценка которого проводилась по приведенной ниже формуле:

$$W = s_n^2 + s_s^2 - \zeta^2 = 4(u_x^2 + u_y v_x), \text{ где}$$

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{g}{f} \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) - \text{относительная завихренность,}$$

$$s_n = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{2g}{f} \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} - \text{нормальная компонента напряжения,}$$

$$s_s = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{g}{f} \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) - \text{сдвиговая компонента напряжения}$$

По размеру ядра вихря преобладают более мелкие вихри 10-15 км (составляют более 60% от общего числа вихрей), расположенные ближе к береговой линии, крупные вихри встречаются намного реже. Анализ пространственной изменчивости вероятности наблюдения вихрей показал, что число вихрей зависит от интенсивности сильных струйных течений.

## **Выводы:**

В ходе анализа были получены данные о вихревой динамике в прибрежных зонах Арктики, их размеры и места образования.

- Размеры вихрей у берега составляют до 10 км.
- Показана генерация субмезомасштабных вихрей на температурных фронтах (различных течений и у плумов рек).
- Проведено сопоставление температурных карт и карт яркости. При их сопоставлении видно, что некоторые вихри хорошо проявляются на температурной карте, однако они не отмечаются на карте яркости и наоборот.
- Показано, что прибрежные вихри способствуют выносу взвеси от берега в глубоководную часть моря.
- Вихри могут значительно влиять на распространение теплых речных вод. При их прохождении в приустьевых зонах они могут захватывать данные воды и выносить их в более глубоководную часть моря, на расстояния равные их диаметру.
- Анализ данных численного моделирования позволил оценить пространственное распределение вихревых структур, распределение по размерам и сезонную изменчивость числа наблюдаемых вихрей.

**Идентификация вихрей по данным модели NEMO выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0012.**

**Анализ вихревой динамики по спутниковым данным выполнен при поддержке гранта РФФ 21-77-00278.**