Лагранжев подход к исследованию вихрей и течений в районе Большой Ньфаундлендской банки

Травкина Ольга Сергеевна [1,2], Башмачников Игорь Львович [1,2], Будянский Максим Васильевич [1,3]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, olyasileverstova@gmail.com*
[2]*Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, г. Санкт-Петербург*
[3]*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

Актуальность работы

Мезомасштабные вихри вносят вклад в средний по времени перенос тепла, за счёт чего влияют на глобальный климат. Взаимодействие вихрей и Северо-Атлантического течения в районе Большой Ньюфаундлендской банки влияет на меридиональный поток тепла в Атлантическом океане.
Важно уметь разделять мезомасштабные вихри и среднее течение для оценки вклада вихрей в изменчивость океанической циркуляции.

Цель работы

Исследование взаимной изменчивости энергии вихрей и течений в районе Большой Ньюфаундлендской банки.

Задачи:

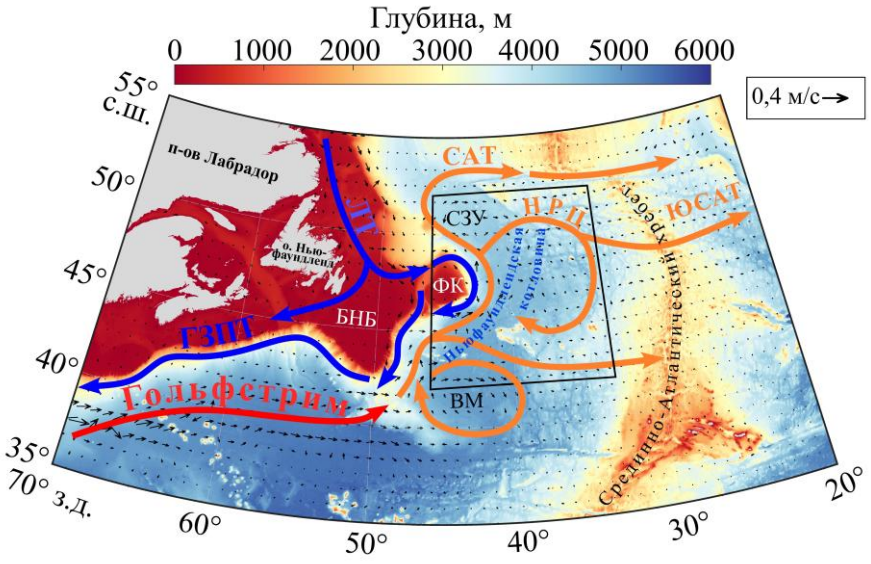
1. Разработка методики разделения вихрей и течения на основе лагранжевых карт.
2. Исследование характера обмена энергией между вихрями и Северо-Атлантическим течением на следующих временных масштабах:
   2.1 Синоптическом;
   2.2 Сезонном;
   2.3 Межгодовом.

Данные

1. Геострофические скорости по данным спутниковой альтиметрии AVISO, разрешение 1/8º;
2. Карты лагранжевых метрик;
3. Результаты расчёта алгоритма автоматической идентификации вихрей HEPTA – Hyperbolic and Elliptic Points Tracking Algorithm (Udalov & Uleysky, 2025).

Период анализа: с 2010 по 2024 гг.

Район исследования



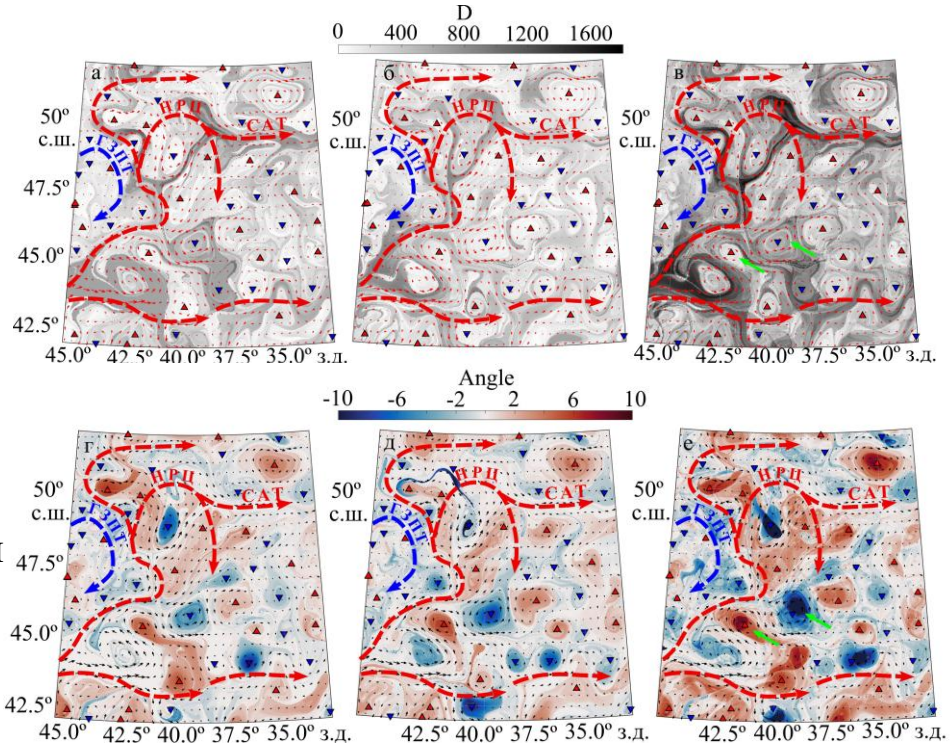
Карта топографии и средних течений. САТ – Северо-Атлантическое течение, ЮСАТ – Южная ветвь САТ, НРЦ – Ньюфаундлендская рециркуляция, ЛТ – Лабрадорское течение, ГЗПТ – Глубинное западное пограничное течение, БНБ – Большая Ньюфаундлендская банка, ФК – Флемиш Кап, СЗУ – «Северо-Западный угол», ВМ – вихрь Манна

Лагранжевы характеристики

D-карты

НЕРТА:
антициклон
циклон

Angle-карты



+15 суток | -15 суток | сумма

8 апреля 2017

Расстояние между начальным и конечным положениями каждого маркера

Кол-во оборотов маркеров от-но начального положения.
(+) поворот по часовой стрелке,
(–) против часовой.

Исследуемая область ежесуточно засеивалась пятном пассивных маркеров, их перемещение в поле скорости рассчитывалось путем решения уравнений адвекции. Маркеры отслеживались вперёд и назад во времени за 30 суток: 15 дней вперёд и назад от центральной даты. В работе использовалась **сумма карт**. Треугольниками показаны центры вихрей, выделенные алгоритмом НЕРТА.

Лагранжевы маркеры, двигавшиеся в среднем потоке, пройдут значительное расстояние и будут иметь высокие значения D, но небольшие значения Angle. Маркеры, вовлечённые в вихревое движение, будут иметь высокие значения Angle, и небольшие значения D.

Метод сегментации области исследования на средние течения, когерентные вихри и фоновую турбулентность

Lagrangian Angle-D-map Algorithm (LADA)

НЕРТА:

▲ антициклон

▼ циклон

течение

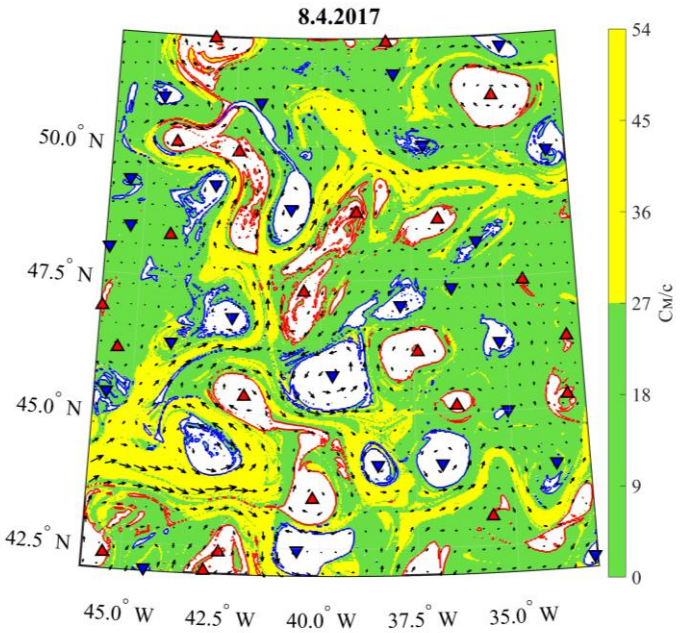
фон

антициклон

циклон

|Angle|≥3

D>700 км



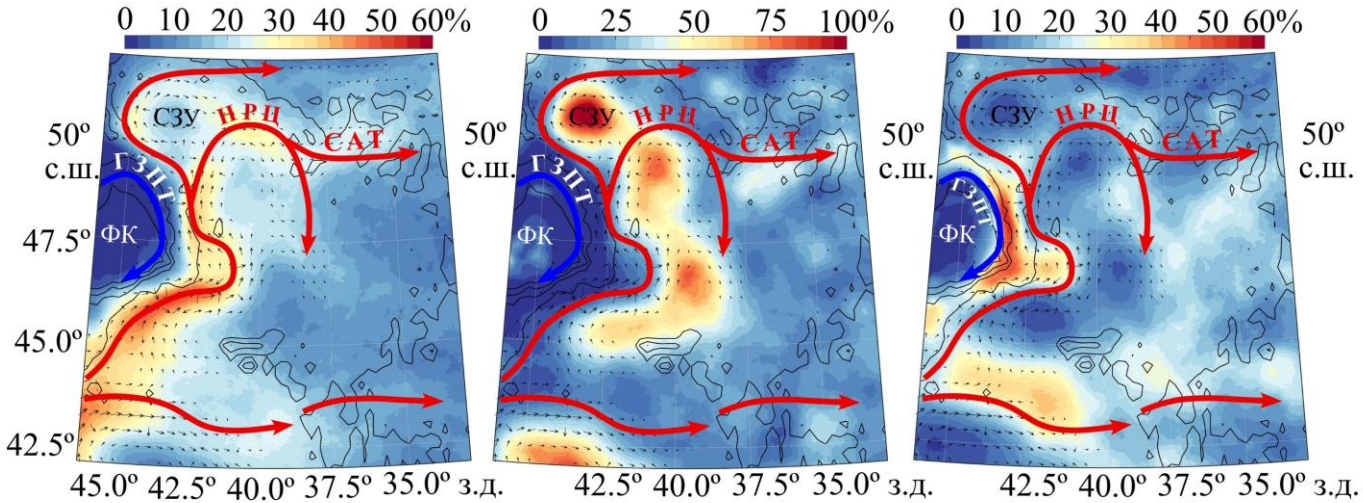
Методика базируется на совместном анализе Angle- и D-карт и называется Lagrangian Angle-D-map Algorithm (LADA).

Выделялись три типа областей:

1) воды, вовлечённые в вихревое движение – белый цвет + контур: красный (АЦ), синий (Ц);
2) воды, вовлечённые в струйные течения – жёлтый цвет;
3) область фоновой турбулентности – зелёный цвет.

Критерии отбора: не менее 3 оборотов маркеров за 30 суток по карте Angle для вихрей + смещение маркеров более, чем на 700 км за 30 суток по карте D для течений.

Пространственное распределение средних течений и вихрей



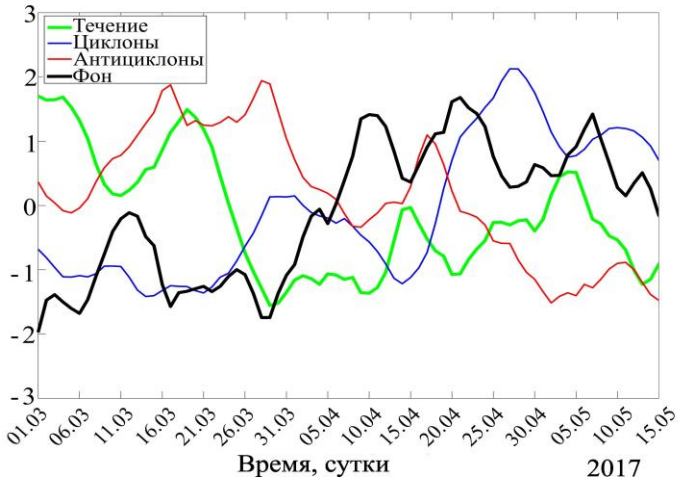
среднее течение | антициклоническое движение | циклоническое движение

Карты вероятностей обнаружения выделяемых по методу LADA динамических структур.

Вероятность расположения течения соответствуют известному среднему полю течений в регионе. Циклоны формируются между разнонаправленными потоками течений в районе банки, антициклоны в основном сосредоточены справа в котловине.

Обмен энергией между вихрями и Северо-Атлантическим течением на различных временных масштабах

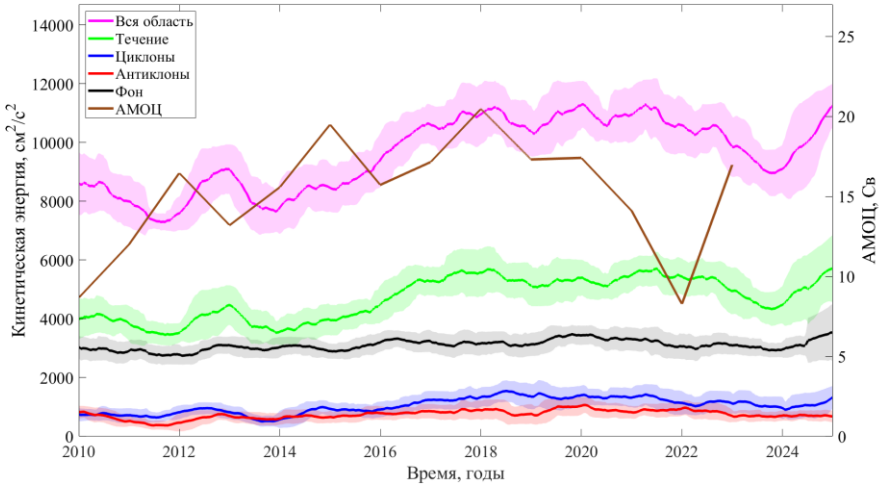
Синоптический масштаб



Временная изменчивость средней кинетической энергии структур. Центрировано от-но ср. значения и нормировано на СКО.

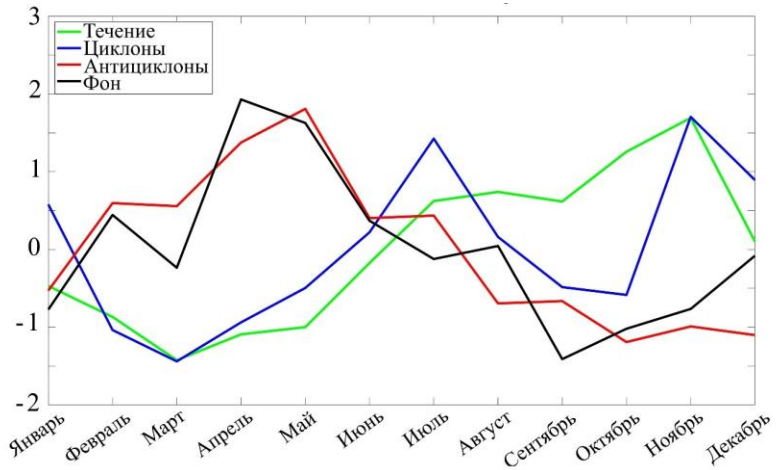
Последовательная передача энергии между структурами: при снижении энергии течения возрастает энергия антициклонов, затем энергия переходит к фоновой турбулентности и циклонам.

Долгопериодная изменчивость



Межгодовой ход интегральной кинетической энергии. Жирные линии – сглаженные ряды (окно 1 год); закрашенные области – ±σ

Сезонный масштаб



Среднемноголетний сезонный ход кинетической энергии. Центрировано от-но ср. значения и нормировано на СКО.

Параметры	Коэфф. корреляции	Лаг
Антициклоны + течение	-0.90	1 месяц
Циклоны + течение	0.65	Нет
Циклоны + антициклоны	-0.53	1 месяц

Сезонный масштаб: ослабление струйных течений ведёт к росту кинетической энергии мезомасштабных антициклонов и субмезомасштабной турбулентности. Изменение энергии циклонов идёт синфазно с изменением энергии струйных течений.

На межгодовых временных масштабах изменчивость всех динамических структур синфазна и связана с изменчивостью АМОЦ – Атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляции.