



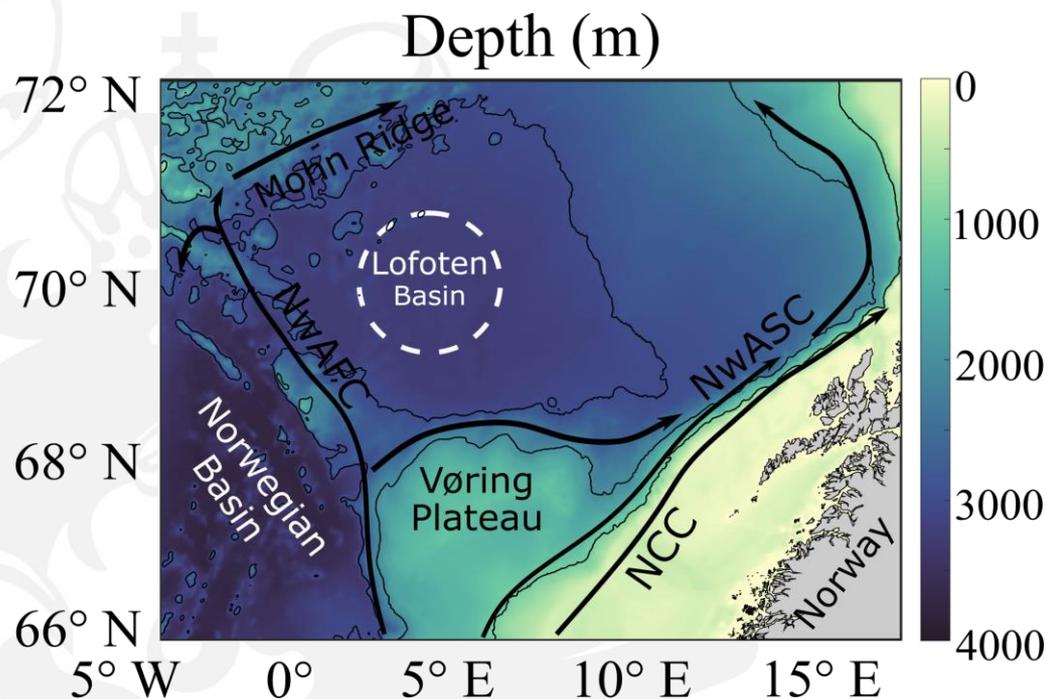
St Petersburg  
University  
[www.spbu.ru](http://www.spbu.ru)

# КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ВИХРЕЙ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО СПУТНИКОВЫМ И НАТУРНЫМ ДАННЫМ

Травкин В.С  
Белоненко Т.В

Санкт-Петербург  
2020

# Введение



**Основные течения:**

**NCC – Норвежское  
береговое течение**

**NwAFC – Норвежское  
фронтальное течение**

**NwASC – Норвежское  
склоновое течение**

**Район исследования. Цветом отмечена  
топография (м).**

**Белой окружностью показано  
местоположение антициклонического  
Лофотенского вихря. Стрелками  
обозначены основные течения.**

# Цель работы

**Целью данной работы является анализ потенциальной и кинетической энергии в ЛК и ее изменчивости.**

Мы также анализируем перераспределение энергии между составляющими в период максимального развития глубокой зимней конвекции (январь-март) и сравниваем полученные оценки с аналогичными оценками для летнего периода (июнь-август).

Более глубокое понимание этих процессов позволяет улучшить представления о мезомасштабной динамике котловины и роли энергии в регенерации квазипостоянного Лофотенского вихря.

# Используемые данные

В работе использовались ежедневные данные температуры, солёности, и  $u$  и  $v$  компонент скоростей реанализа GLORYS12V1 за период 2010-2018 гг. Данные доступны на портале CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service). Продукт GLORYS12V1 – это вихреразрешающий реанализ Мирового океана с пространственным разрешением  $1/12^\circ$  на 50 горизонтах.

Основой реанализа является модель NEMO с форсингом ECMWF ERA-interim. В данных GLORYS12V1 совместно ассимилируются данные спутниковой альтиметрии, температура поверхности моря (Reynolds  $0.25^\circ$  AVHRR), концентрация морского льда и *in situ* вертикальные профили температуры и солёности. Наблюдения ассимилируются с помощью фильтра Калмана. Временная дискретность данных 1 сутки.



# Методы

Для расчета средней кинетической энергии (МКЕ) и вихревой кинетической энергии (ЕКЕ) применялись следующие формулы:

$$MKЕ = 0.5(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)$$

$$ЕКЕ = 0.5(\bar{u}'^2 + \bar{v}'^2)$$

Для области Лофотенского вихря расчет объемных значений АРЕ и ЕКЕ производился по следующим формулам:

$$APE = \pi \int_0^R \int_{-H}^0 gz[\rho_{ref}(z) - \rho(r, z)]rdrdz$$

$$ЕКЕ = 0.5\pi \int_0^R \int_{-H}^0 \rho(r, z)U(r, z)^2rdrdz$$

# Методы

Для изучения вклада вихревой энергии из различных источников используются термины преобразования энергии: ВС и ВТ, где ВС характеризует скорость преобразования средней потенциальной энергии (МРЕ) в доступную потенциальную энергию (АРЕ), которая обусловлена мезомасштабными вихрями, а ВТ характеризует скорость преобразования средней кинетической энергии (МКЕ) в кинетическую энергию вихрей (ЕКЕ).

Для расчетов нами использовались следующие формулы:

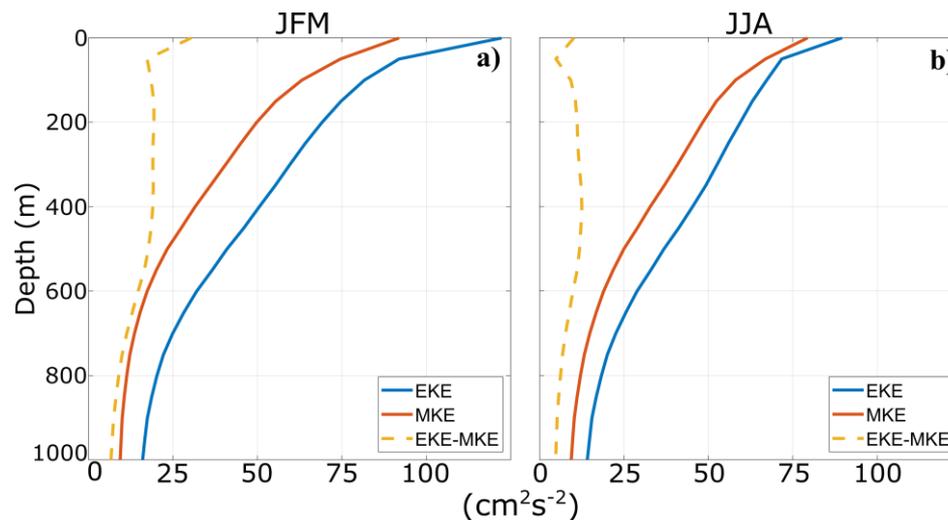
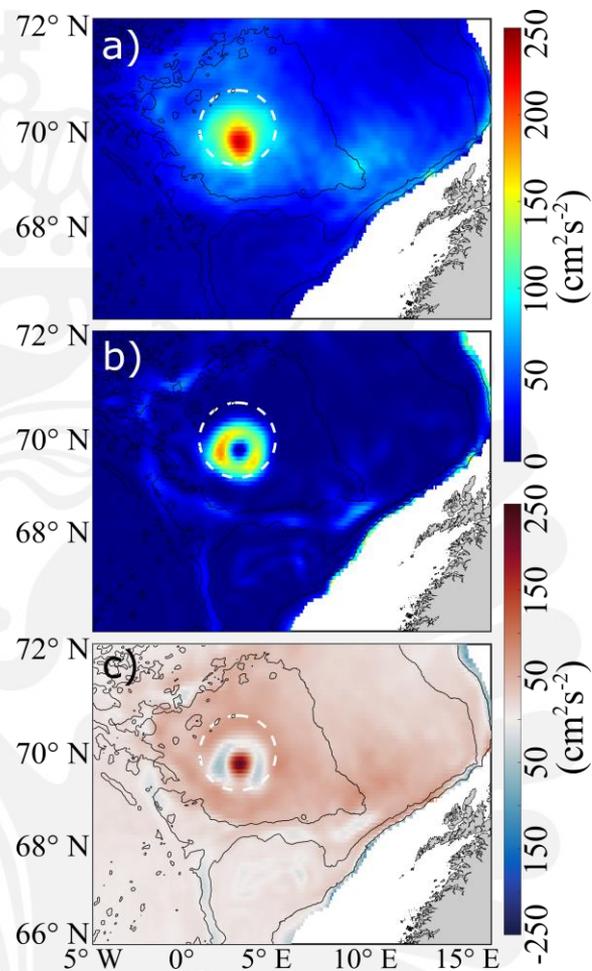
$$BC = -\frac{g^2}{N^2 \rho_0} \left( \overline{u' \rho'} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + \overline{v' \rho'} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial y} \right)$$

$$BT = -\rho_0 \left[ \overline{u'^2} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \overline{v'^2} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \overline{u'v'} \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \right]$$

Вихревое число Бюргера рассчитывалось по формуле:

$$Bu_E = EKE / APE$$

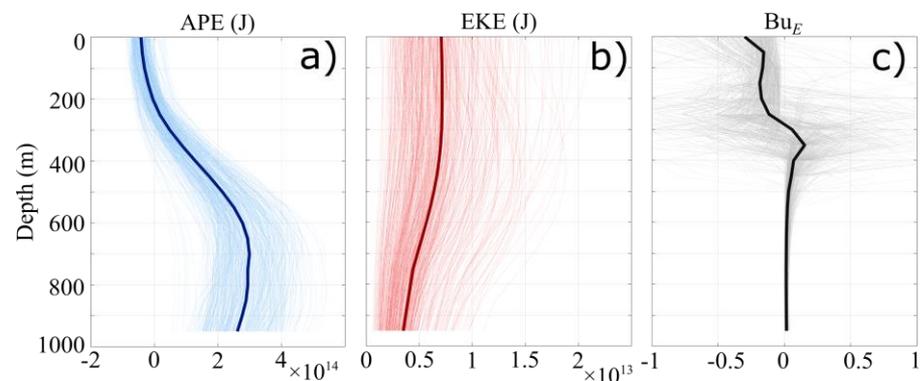
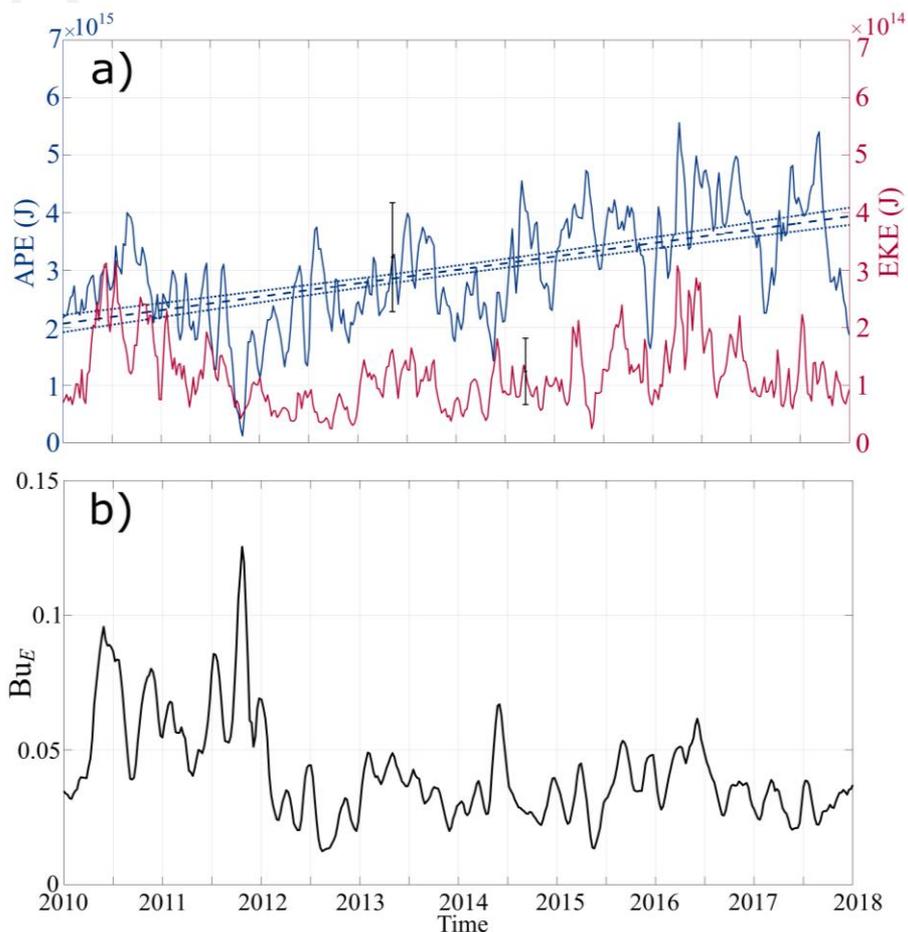
# Результаты



Вертикальные профили многолетних значений ЕКЕ (синяя линия), МКЕ (красная линия) и их разности (ЕКЕ-МКЕ) (желтая линия): а) январь-март (JFM); б) июнь-август (JJA).

Пространственное распределение на горизонте 500 м: а) ЕКЕ ( $\text{cm}^2\text{s}^{-2}$ ); б) МКЕ ( $\text{cm}^2\text{s}^{-2}$ ); в) разность ЕКЕ и МКЕ ( $\text{cm}^2\text{s}^{-2}$ ).

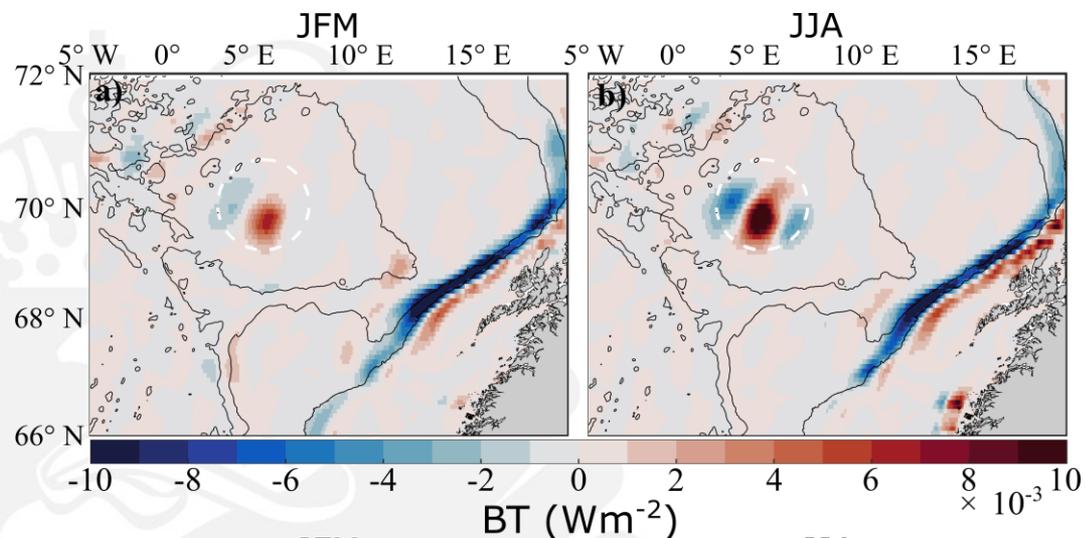
# Результаты



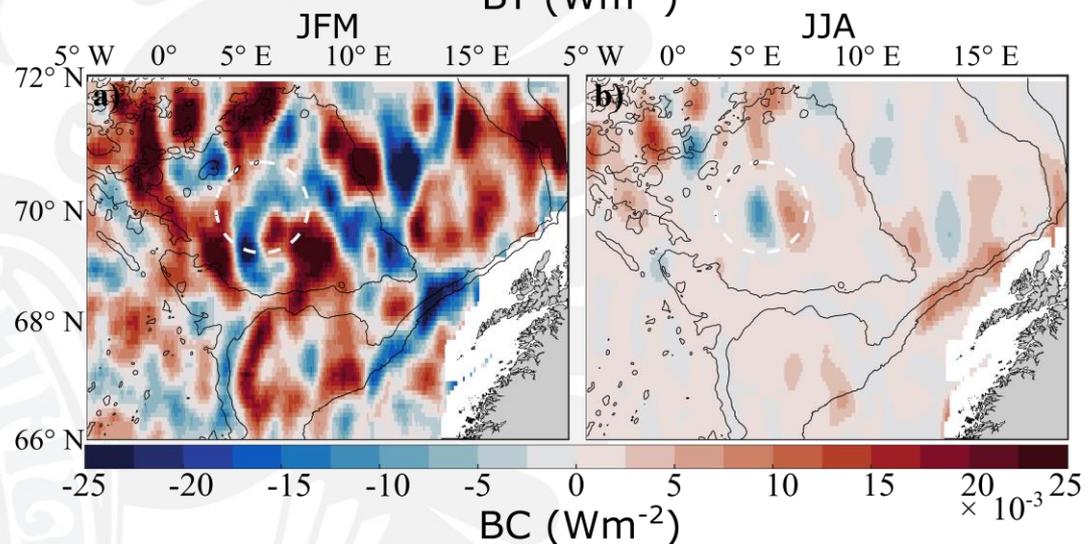
Вертикальные профили: а) АРЕ (Дж) (светло-синие линии), а также среднее значение АРЕ (синяя линия); б) ЕКЕ (Дж) (светло-красные линии), а также среднее значение ЕКЕ (красная линия); с) вихревого числа Бюргера в Лофотенском вихре ( $Bu_E$ ) (серые линии), а также среднее значение  $Bu_E$  (черная линия).

Временной ход доступной потенциальной энергии (АРЕ, J) (синяя линия) и кинетической энергии (ЕКЕ, J) (красная линия); линейный тренд АРЕ (синяя пунктирная линия) с доверительными интервалами (синие пунктирные линии); б) Эволюция вихревого числа Бюргера ( $Bu_E$ ).

# Результаты



Пространственное распределение ВТ – преобразования средней кинетической энергии МКЕ в вихревую кинетическую энергию ЕКЕ, интегрированное в верхних 500 м за период: а) январь-март (JFM); б) июнь-август (JJA). Черными линиями показаны изобаты 1000, 2000 и 3000 м.



Пространственное распределение ВС – преобразования средней потенциальной энергии МРЕ в доступную потенциальную энергию АРЕ; интегрирование в верхних 500 м за период: а) январь-март (JFM); б) июнь-август (JJA).

# Выводы

1. На основе данных CLORYS12V1 за период 2010-2018 гг. анализировались средняя и вихревая кинетическая энергия, а также объемные доступная потенциальная и кинетическая энергия квазипостоянного вихря. Полученные результаты являются новыми.
2. Ядро Лофотенского вихря характеризуется увеличенными значениями вихревой кинетической энергии относительно средних значений. Однако на периферии вихря, наоборот, доминируют средние значения кинетической энергии.
3. Вертикальные профили кинетической энергии показывают увеличение мезомасштабной активности вихрей в зимний период относительно летнего, при этом вихревая компонента по-прежнему доминирует.

# Выводы

4. APE на порядок превышает EKE, причем для нее отмечается положительный тренд. Положительный тренд отражает заглублиение изопикнических поверхностей, которое, в свою очередь, может быть связано с климатическими изменениями в Северной Атлантике. Увеличение значений доступной потенциальной сопровождается уменьшением вихревого числа Бюргера.
5. Вертикальные профили APE и EKE Лофотенского вихря свидетельствуют об отрицательных значениях в поверхностном слое до 300 м. Максимальные значения APE обнаружены на 700 м, тогда как наибольший вклад в потенциальную энергию вносит промежуточный слой от 600 до 900 м.
6. Для EKE характерен квазиоднородный слой с максимальными значениями от поверхности до 300 м, но в дальнейшем, с увеличением глубины, EKE начинает медленно снижаться, ускоряя снижение после 750 м. Таким образом, наибольший вклад в кинетическую энергию в Лофотенской котловине вносит слой от 0 до 400 м.

# Выводы

7. Графики скорости преобразования ВС (средней потенциальной энергии в доступную потенциальную энергию) и ВТ (средней кинетической энергии в кинетическую энергию вихрей) свидетельствуют о наличии в зоне вихря разнонаправленных потоков ВТ, при этом в зимний период наблюдается дипольная структура, в летний – трипольная, причем в зоне Лофотенского вихря эти потоки более интенсивные летом.
8. В противоположность ВТ, для ВС характерно усиление потоков в зимний период, что связано с ослаблением стратификации в этот период вследствие зимней конвекции.

***Работа выполнена при финансовой поддержке Российского  
научного фонда, грант № 18-17-00027, и гранта РФФИ № 20-05-00066.***



Спасибо за внимание!

St Petersburg University  
spbu.ru