

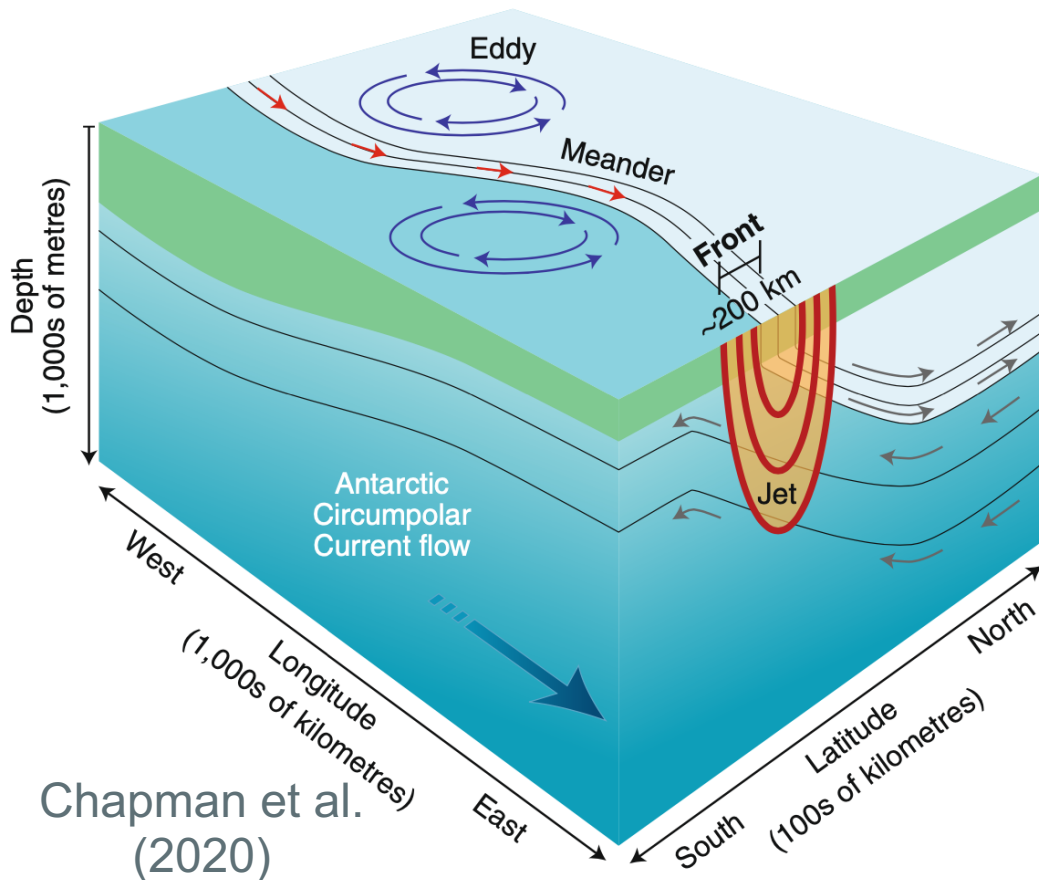


Травкин В.С., Ахтямова А. Ф.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Пространственно-временная изменчивость фронтальных зон в Норвежском море

Москва
2022



Фронтальная зона в океане — это зона, в которой пространственные градиенты основных термодинамических характеристик значительно обострены по сравнению со средним равномерным распределением между устойчиво существующими климатическими или иными экстремумами (Федоров, 1983)

Актуальность изучения фронтальных зон заключается в следующем: крупномасштабные фронты оказывают существенное влияние на погоду и климат; с фронтами связаны процессы, такие как высокая биологическая продуктивность, интенсивность конвекции, высокая скорость струйных течений; также из-за собственной неустойчивости, фронты способны активно порождать вихревые возмущения (Федоров, 1983, Wood, 1989).

Цель данной работы – изучение фронтальных зон Норвежского моря по данным реанализа GLORYS12V1 (CMEMS), поиск взаимосвязи фронтов с атмосферными индексами, а также исследование вихревых структур, формирующихся в районах их месторасположения.



РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

NwASC – Норвежское
Атлантическое склоновое течение

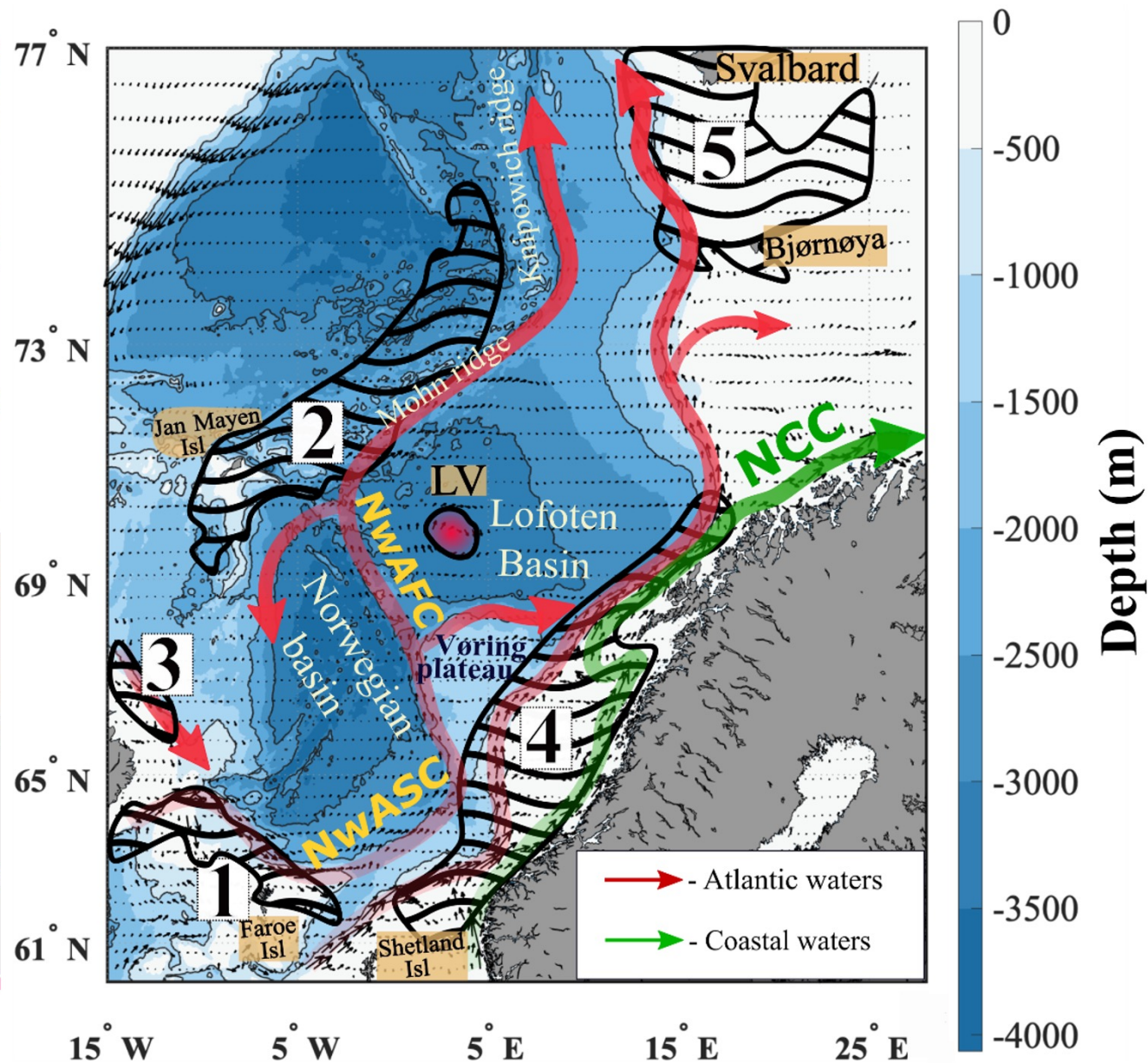
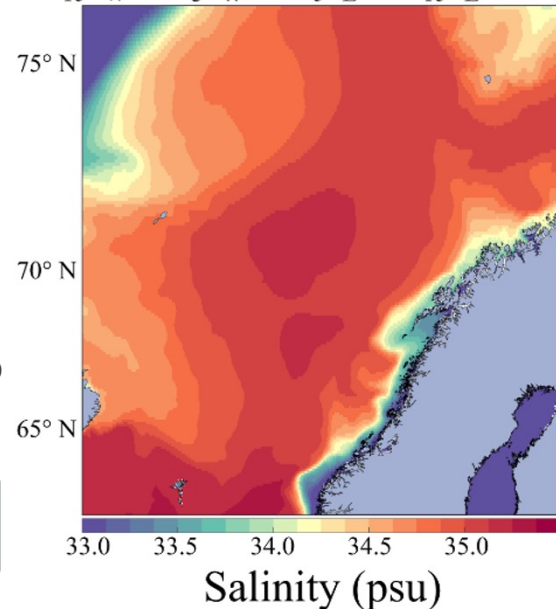
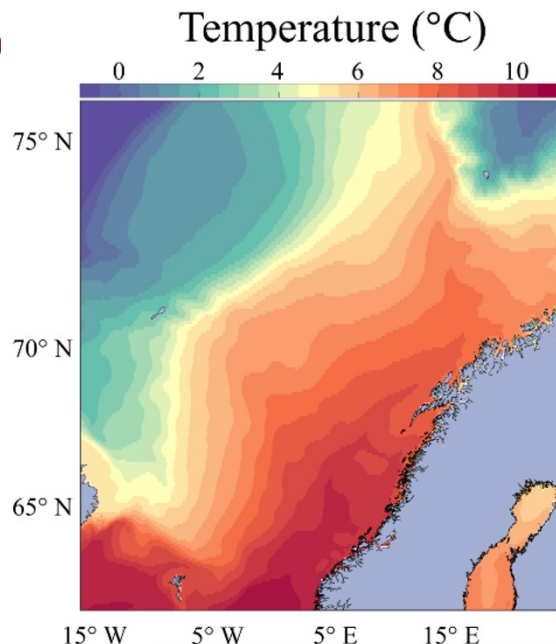
NwAFC – Норвежское
Атлантическое фронтальное
течение

NCC – Норвежское прибрежное
течение

Цифрами показаны основные
фронтальные зоны (ФЗ)
Норвежского моря:

- 1) Исландско-Фарерская ФЗ;
- 2) Ян-Майенская (Арктическая) ФЗ;
- 3) ФЗ Восточно-Исландского течения;
- 4) ФЗ Норвежского прибрежного течения;
- 5) ФЗ Западного Шпицбергена.

Месторасположение Лофотенского вихря обозначено как LV.





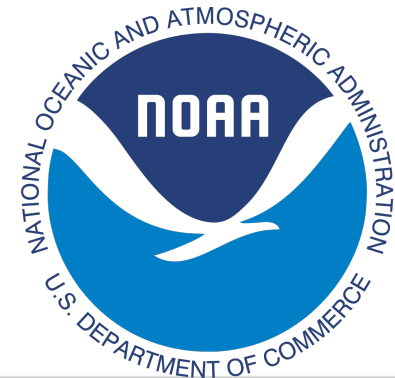
База данных: marine.copernicus.eu (Copernicus Marine Environment Monitoring Service).

Продукт: **GLORYS12V1** (1/12°) Данные: температура, соленость, уровень морской поверхности (SSH); В массиве используются спутниковые наблюдения за аномалиями поверхности моря, температурой поверхности океана.

Индексы NAO&AO: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov> (**NOAA climate prediction center**)

Атлас мезомасштабных вихрей «**Mesoscale Eddy Trajectory Atlas DT (META 3.2 DT)**», доступный на портале AVISO+ (<https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/value-added-products/global-mesoscale-eddy-trajectory-product/meta3-2-dt.html>).

Выбранный временной промежуток всех данных: 1993-2019 гг.





Для детектирования фронтальных зон использовался алгоритм, представленный в работе Ожигина и др. (2016):

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{P(i,j+1) - P(i,j-1)}{2S_x}, \quad \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{P(i+1,j) - P(i-1,j)}{2S_y}$$

Где P — значение параметра в узле регулярной сетки;

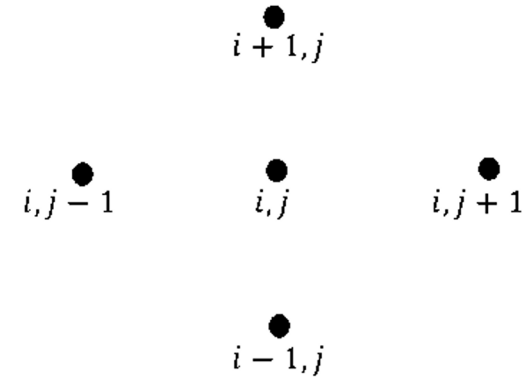
S_x — шаг расчетной сетки по параллели:

$$S_x = 1,852 * |\lambda_{(i,j+1)} - \lambda_{(i,j)}| * \cos\left(\frac{\varphi_{(i+1,j)} + \varphi_{(i-1,j)}}{2}\right)$$

S_y — шаг расчетной сетки по меридиану:

$$S_y = 1,852 * |\varphi_{(i+1,j)} - \varphi_{(i,j)}|$$

Применялось условие выделения ФЗ ко всему рассчитанному массиву данных: для температуры — $|\text{grad } T| \geq 0.02$, для солености — $|\text{grad } S| \geq 0.01$, для уровня морской поверхности — $|\text{grad } SSH| \geq 0.002$



Итоговый модуль горизонтального градиента рассчитывается по формуле:

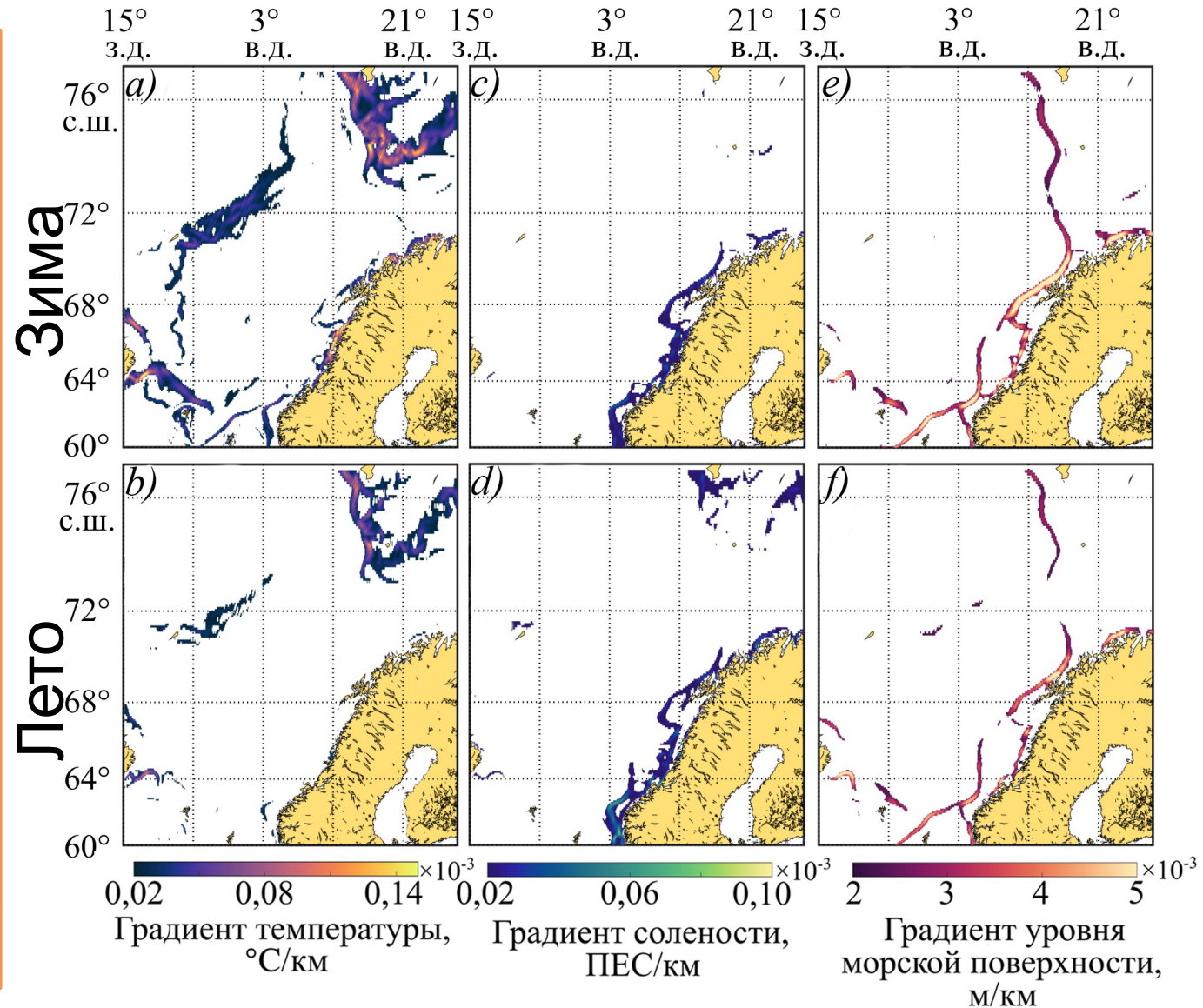
$$|\text{grad } P| = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)^2}$$

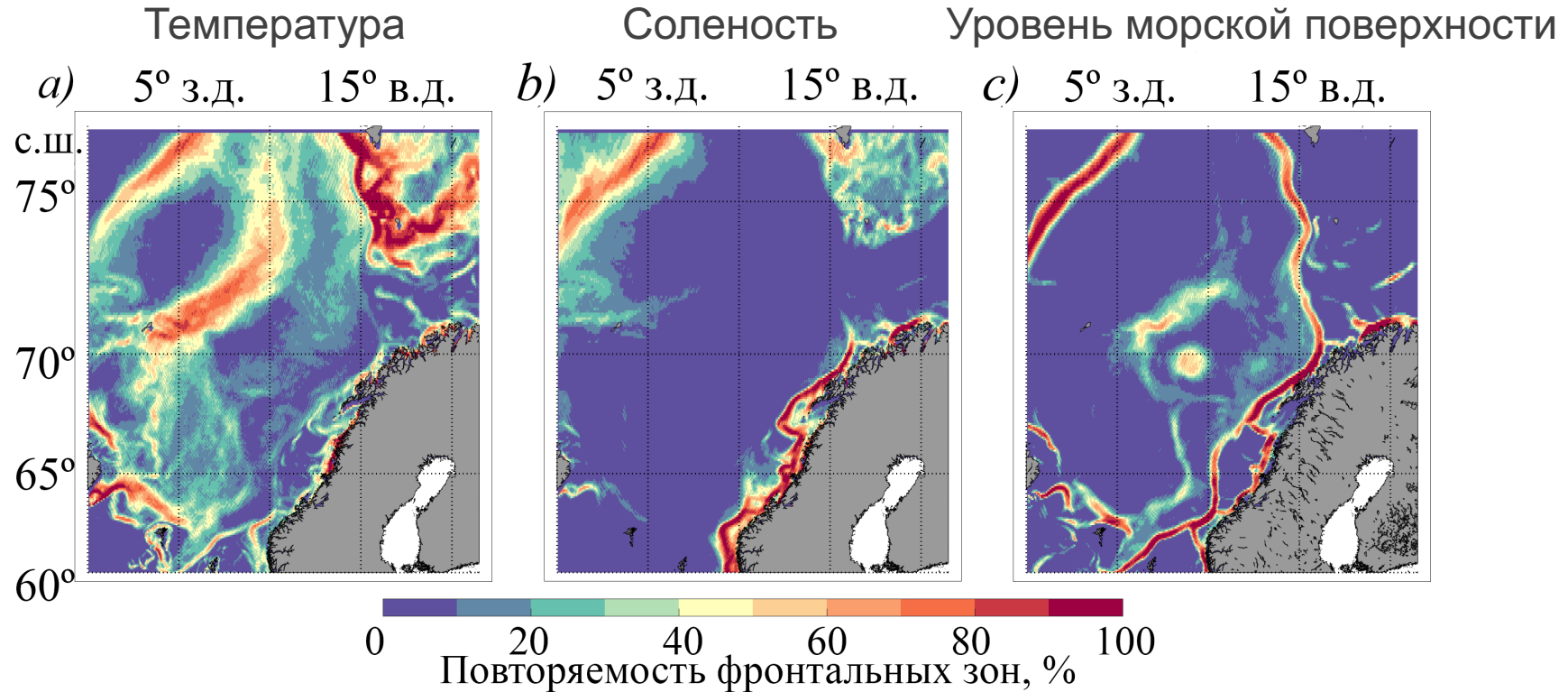


РЕЗУЛЬТАТЫ

Термические фронтальные зоны наиболее ярко выражены в зимнее время года, температурный максимум которых больше летнего практически в два раза в каждой выделенной ФЗ. Максимум значения градиента температуры выделен в ФЗ Норвежского прибрежного течения и составляет $0.38^{\circ}\text{C}/\text{км}$ (зима), тогда как в Арктической ФЗ градиент достигает только $0.08^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Резкий перепад значений солёности не был выявлен в ФЗ Восточно-Исландского течения и Ян-Майенской ФЗ зимой, но в то же время в летнее время года ФЗ Восточно-Исландского течения имеет достаточно высокие градиенты солёности, чтобы образовать халинную фронтальную зону. Для остальных ФЗ рассчитанные градиенты солёности были выражены ярче также в летнее время года (яркий пример летней интенсификации – ФЗ Западного Шпицбергена), что подтверждает опресняющий эффект стока рек и ледников в данном районе.

Динамические фронтальные зоны связаны по большей части с донной топографией, стрежнями течений, а также приходится на ФЗ с высокими значениями термохалинных характеристик, например, Исландско-Фарерской ФЗ. Сезонность не характерна для выделения такого типа фронтальных зон.





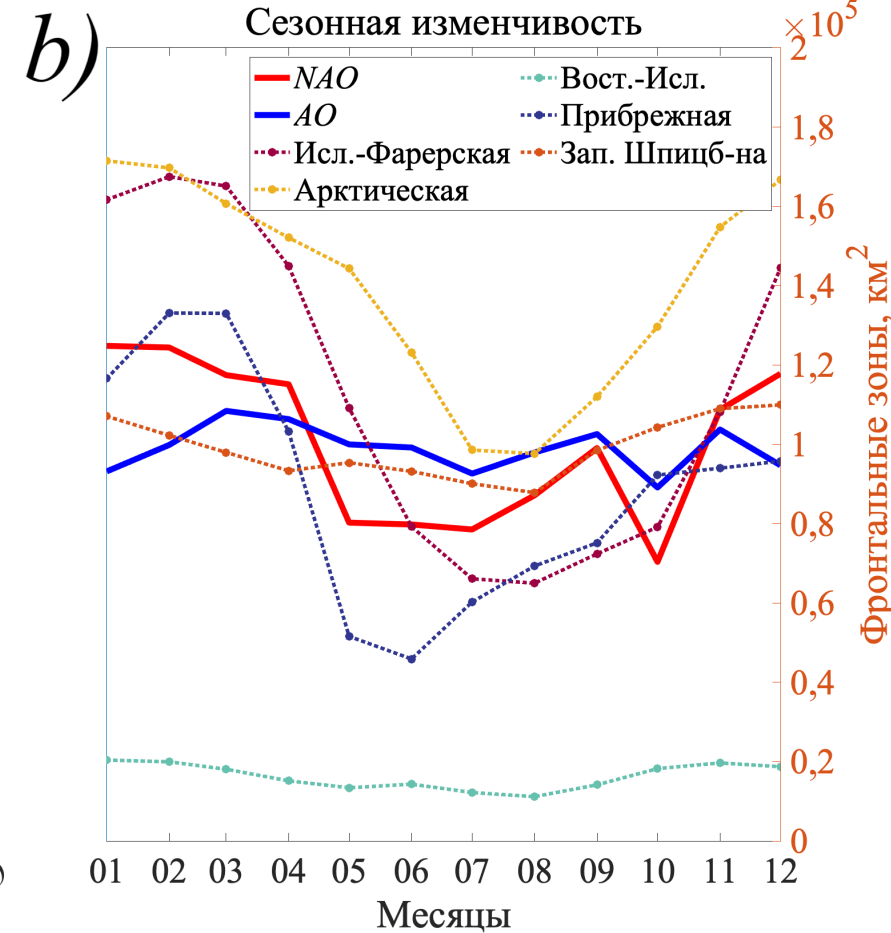
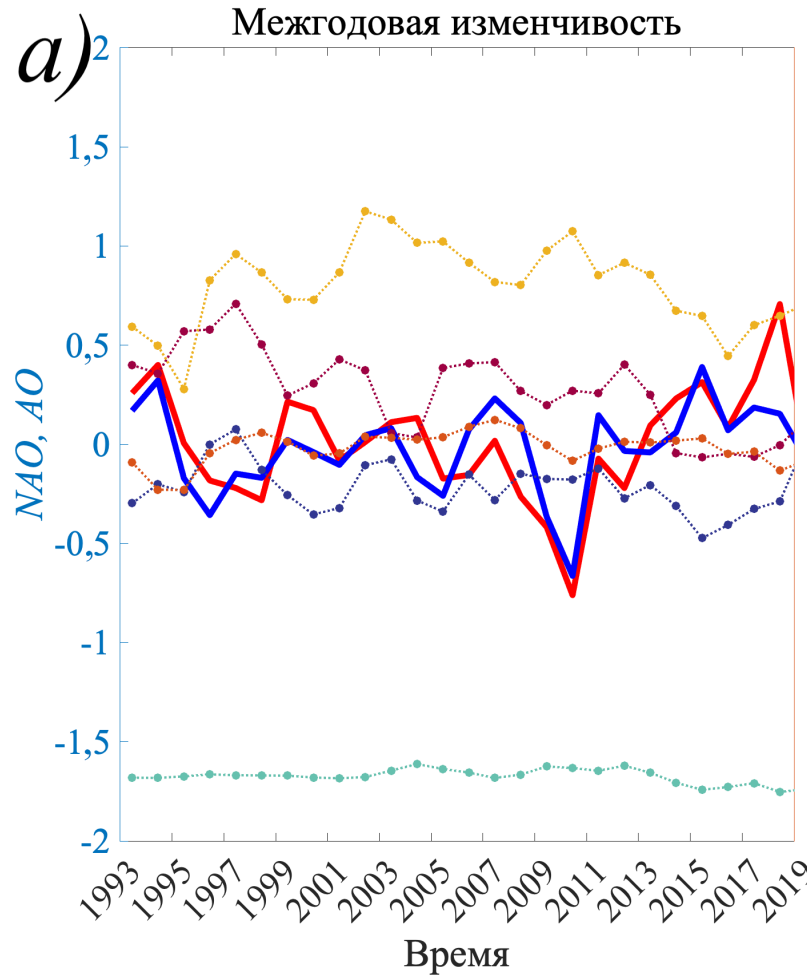
ФЗ Западного Шпицбергена характеризуется наибольшей повторяемостью в поле температур (порядка 90-100%) среди всех ФЗ. В поле солености ярче всего выделяется Прибрежная ФЗ (т.к. здесь проходит НСС, которое несет значительно опресненные воды). Обратную картину в поле солености мы видим для Арктической ФЗ: повторяемость в отдельных местах достигает до 30% (ФЗ находится на значительном расстоянии от суши). В поле уровня повторяемость >50% встречается в узкой области стрешней Норвежского течения и в районе ЛВ. Самой «стабильной» фронтальной зоной можно назвать Исландско-Фарерскую ФЗ, т.к. она выражена ярко во всех трёх исследуемых характеристиках.



РЕЗУЛЬТАТЫ

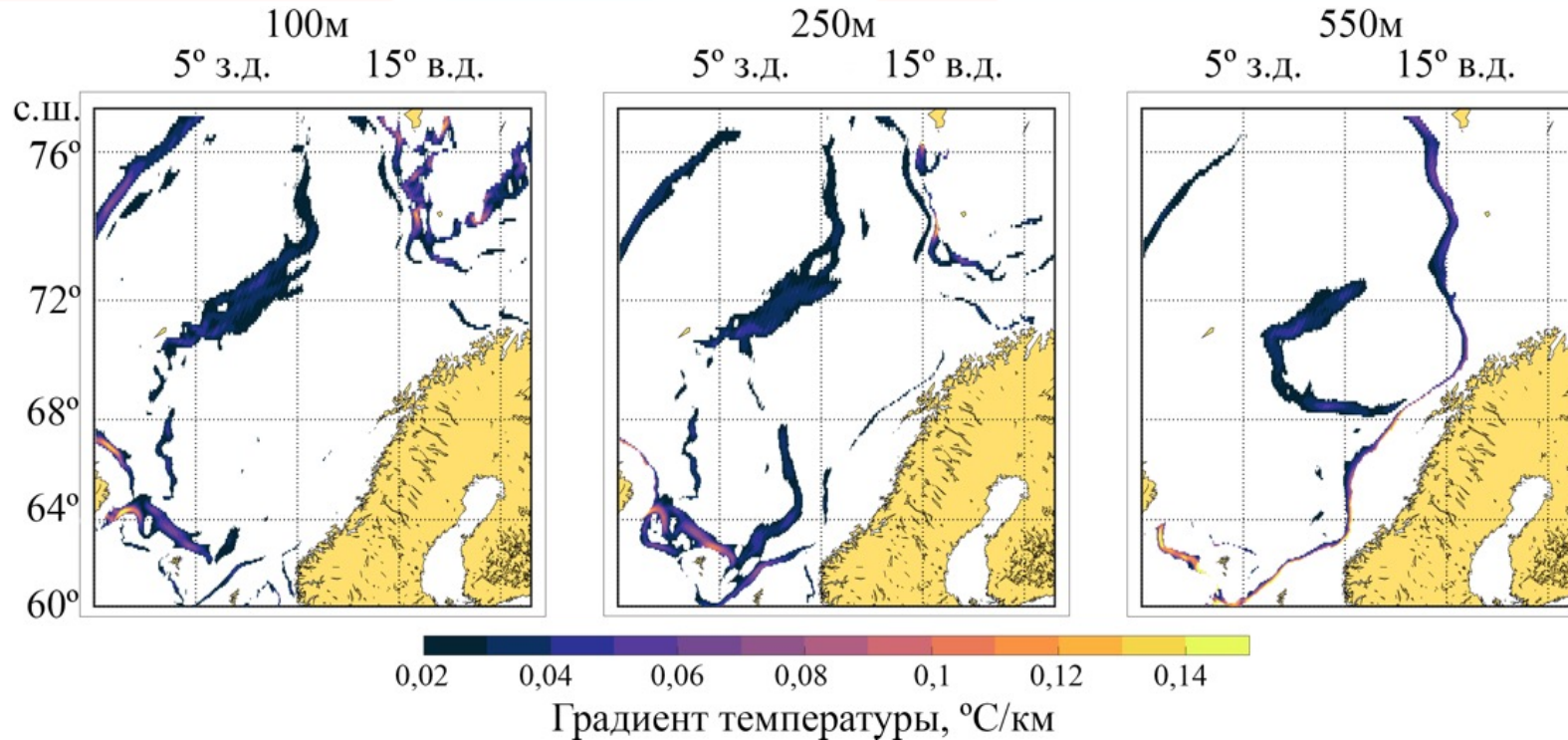
Изменчивость среднегодовых значений площадей фронтальных зон с 1993 по 2019 г. показала незначительные колебания от года к году и отрицательную корреляцию двух ФЗ в районе Исландии с индексом NAO.

Говоря о сезонной изменчивости, стоит отметить, что она характерна для большинства ФЗ и имеет слабые колебания лишь в Восточно-Исландской ФЗ и ФЗ Западного Шпицбергена. Сезонная изменчивость ФЗ показала ярко выраженную корреляцию с индексом NAO всех выделенных ФЗ. С АО взаимосвязи обнаружено не было.

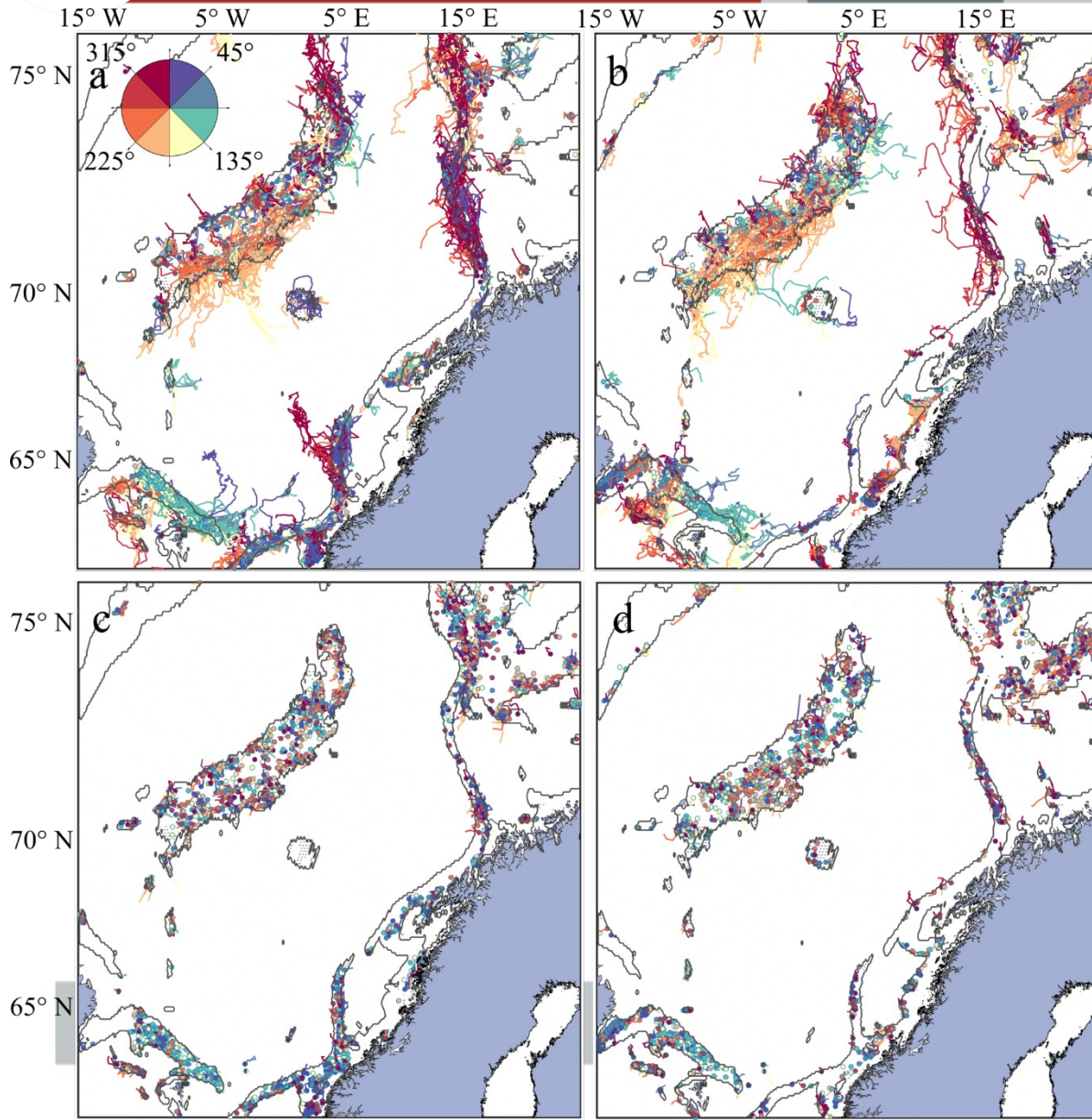




РЕЗУЛЬТАТЫ

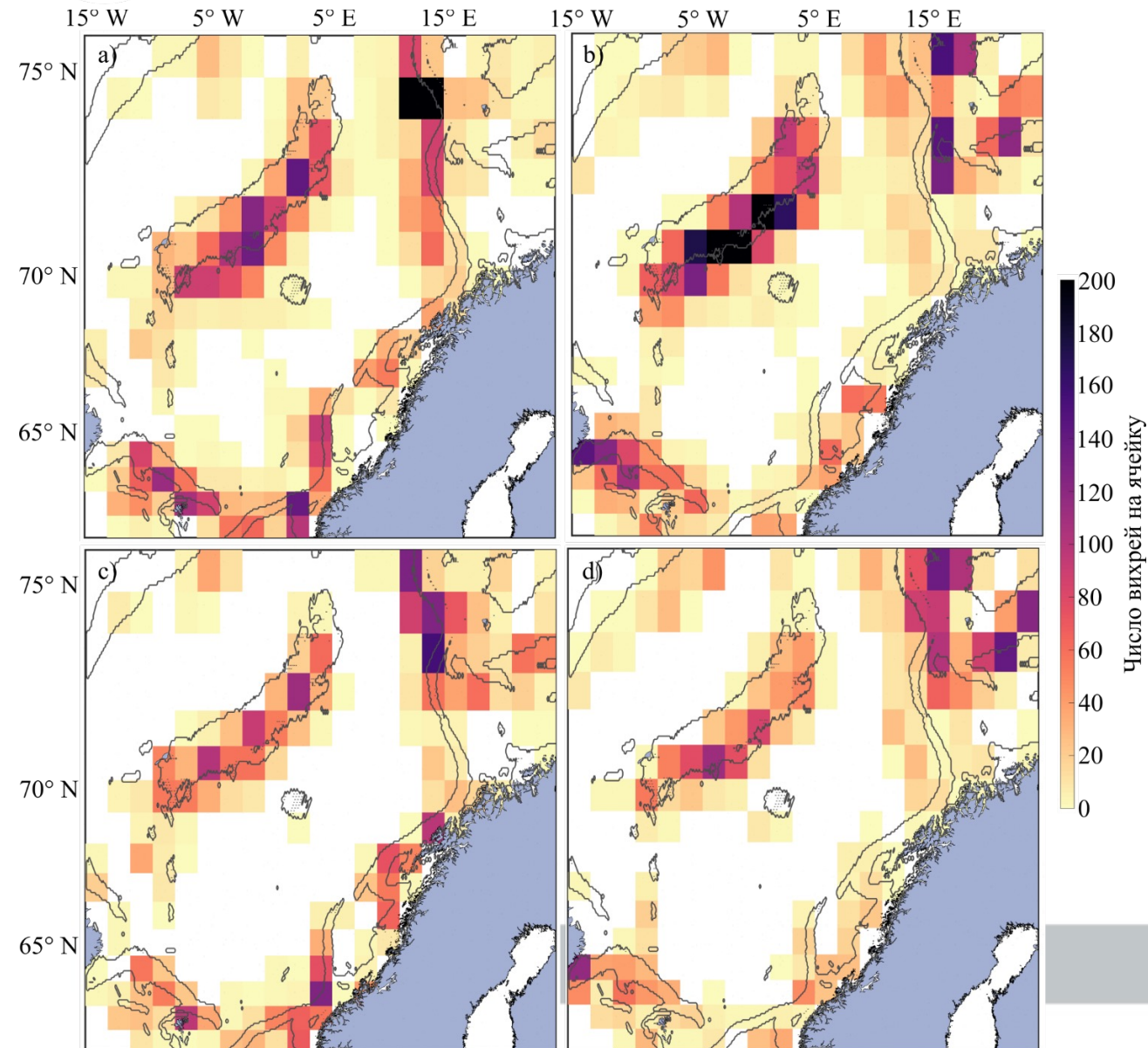


Для данной акватории с увеличением глубины характерно появление других фронтальных зон, не проявляющихся в поверхностном слое океана (например, Прибрежно-склоновой ФЗ (простирается вдоль изобаты 500 м, начиная с глубин ~300м) и ФЗ Лофотенского вихря). Переходной границей положения ФЗ является глубина ~350 м. С увеличением глубины фронтальные зоны в поле температуры уменьшаются в своих размерах и концентрируются ближе к границам Лофотенской котловины. В поле солёности наблюдается две ФЗ: фронтальная зона Норвежского прибрежного течения, глубина залегания которой доходит ~150 м и Исландско-Фарерская ФЗ с характерной глубиной порядка 250 м.



На рисунке показаны траектории долгоживущих АЦ (a) и Ц (b), а также короткоживущих АЦ (c) и Ц (d) вихрей ФЗ за 1993-2019 гг. Цветом показано направление движения вихрей, точками – места их генерации.

Вихри обоих типов способны перемещаться на сотни км от места своего зарождения, диссипируя в конечном итоге в Лофотенской и Норвежской (НК) котловинах. Причем траектории движения вихрей различны для каждой ФЗ. Заметно, что ФЗ Восточно-Исландского течения является наименее активной в плане вихревой динамики. Лишь в северной ее части прослеживается наличие отдельных вихрей обоих типов, часть из которых движется в сторону НК. Большое число вихрей зарегистрировано в Исландско-Фарерской ФЗ. Большинство вихрей движется в восточном, а также юго-западном направлениях, диссипируя в конечном итоге вблизи южной границы НК, а также в районе Фарерско-Шетландского желоба. Для Прибрежной ФЗ характерно ярко выраженное движение вихрей обоих типов на север и запад. Заметно, что долгоживущие АЦ вихри огибают с двух сторон плато Воринг, в результате чего одни вихри становятся частью Норвежского фронтального течения, а другие – Норвежского склонового течения.



На рис. представлено количество долгоживущих антициклонов (a) и циклонов (b), а также короткоживущих антициклонов (c) и циклонов (d) на клетку ($2^\circ \times 1^\circ$ по долготе и широте).

АЦ и Ц вихри имеют существенное отличие по месторасположению. Так, для АЦ характерно нахождение в западной части ФЗ Западного Шпицбергена, в восточной части Фарерско-Исландской ФЗ и западной части Прибрежной ФЗ. Тогда как Ц вихри располагаются на востоке ФЗ Западного Шпицбергена, юго-востоке Прибрежной ФЗ, а также на всей территории Фарерско-Исландской ФЗ. Наибольшее количество вихрей обоих типов зафиксировано в Ян-Майенской ФЗ и ФЗ Западного Шпицбергена. Количество Ц и АЦ вихрей способно достигать в них 200 вихрей на ячейку. Заметно, что короткоживущие вихри намного реже покидают пределы ФЗ, перемещаясь в основном лишь в их границах.



- Выполнена количественная оценка протяженности и обостренности термохалинных фронтальных зон Норвежского моря за период 1993–2019 гг. Подтверждено качество данных GLORYS12V1: выделенные ФЗ географически совпадают с исследованиями других авторов.
- Для фронтальных зон характерно наличие ярко выраженной вертикальной изменчивости от поверхности до глубин порядка 900 м. С увеличением глубины происходит смещение положения фронтальных зон (вплоть до появления новых, не обнаруженных на поверхности ФЗ), а также рост градиентов температуры и солёности. Наблюдается смещение ФЗ к Лофотенской котловине и Фареро-Исландскому порогу.
- Индекс NAO отчетливо коррелирует с сезонной и межгодовой изменчивостью фронтальных зон, тогда как связь с индексом AO менее заметна.
- Показана выраженная сезонная и межгодовая изменчивость у большинства ФЗ Норвежского моря. В осенне-зимний период происходит резкое увеличение площади фронтальных зон, по своим значениям превосходящее многолетние изменения. Разница между площадью фронтальных зон в летний и зимний период может достигать в 2,5-2,9 раза.
- Показано, что практически все ФЗ имеют высокую повторяемость (>70%) в поле температуры, тогда как в поле солёности и уровня моря повторяемость увеличивается лишь в районе Лофотенского вихря и стрешней Норвежского течения.
- Для каждой из ФЗ характерны свои особенности распространения вихрей. Вихри ФЗ способны отдаляться от места генерации на сотни км и в дальнейшем диссипировать в глубоководных частях Лофотенской и Норвежской котловинах.
- Количество вихрей достигает в Ян-Майенской ФЗ и ФЗ Западного Шпицбергена 200 вихрей на ячейку, что свидетельствует о высокой интенсивности вихреобразования в данных областях. Установлено, что короткоживущие вихри намного реже покидают границы ФЗ.



КОНТАКТЫ:

Ахтямова А. Ф.

avellinnaa@gmail.com



Травкин В. С.

vtravkin99@gmail.com

