

## ОКЕАНОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕЙ И ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН

УДК 551.465.62

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В НОРВЕЖСКОМ МОРЕ

### INVESTIGATION OF FRONTAL ZONES IN THE NORWEGIAN SEA

*Ахтямова Авелина Фидарисовна*

*Akhtyamova Avelina Fidarisovna*

*г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет*

*Saint Petersburg, Saint Petersburg State University*

*avelina.akhtyamova@gmail.com*

*Научный руководитель: д.г.н. Белоненко Татьяна Васильевна*

*Research advisor: Professor Belonenko Tatiana Vasilyevna*

**Аннотация:** В данной работе исследовались фронтальные зоны Норвежского моря по данным продукта GLORYS12V1, предоставленным сайтом CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service). Определены максимальные и минимальные градиенты температуры и солёности в каждой выделенной фронтальной зоне, дана приблизительная оценка длины и ширины фронтальной зоны, построены карты распределения характеристик.

**Abstract:** This paper describes the frontal zones of the Norwegian Sea according to the GLORYS12V product data provided by the CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) website. The maximum and minimum temperature and salinity gradients in each identified frontal zone are determined, an approximate estimate of the length and width of the frontal zone is given, characteristics distributions maps were constructed.

**Ключевые слова:** фронтальные зоны, температура поверхности моря, Норвежское море, сезонная изменчивость

**Key words:** frontal zones, sea surface temperature, Norwegian Sea, seasonal variability

В настоящее время наблюдается всё больший интерес к океаническим фронтам по следующим причинам: крупномасштабные фронты оказывают важное влияние на погоду, а также на климат [4]; с фронтами связаны различные явления и процессы, такие как высокая биологическая продуктивность и довольно эффективный рыбный промысел, интенсивная конвекция, высокая скорость струйных течений и др.

Фронтальные зоны образуются в районах взаимодействия вод, имеющих разное происхождение и существенно различающихся по своим характеристикам, наиболее яркой особенностью, выделяющей фронтальные зоны среди прочих явлений в океане, является резкий перепад (горизонтальный градиент) одного или нескольких гидрофизических параметров на конкретном участке моря или океана [1, 3]. Норвежское море представляет собой уникальный регион для исследования, т.к. в нём встречаются водные массы Атлантического и Северного Ледовитого океанов, и связанные с ними течения имеют фундаментальное значение для глобального климата.

Известно, что воды Норвежского моря являются частью климатической северной полярной фронтальной зоны (далее обозначаемой СПФЗ). СПФЗ – сложный океанический объект, в которой представлены процессы всех масштабов. В целом СПФЗ представляет собой климатическую фронтальную зону, образованную взаимодействием двух элементов планетарной циркуляции: относительно теплых и соленых вод Атлантического океана, которые простираются с юга на север, и более холодных и пресных вод (образовавшихся при общем похолодании, таянии льда) приходящих с полярных широт на юг. Различные части СПФЗ существенно различаются по своим характеристикам. Поэтому целесообразно

выделить отдельные части данной фронтальной зоны (или более мелкие фронтальные зоны) в связи с разными типами водного взаимодействия, рельефом дна и побережья, особенностями квазипостоянных течений и т.д.

Теме исследования фронтальных зон в Норвежском море посвящено немало публикаций, проанализировав которые, можно выделить следующие фронтальные зоны (ФЗ) внутри акватории:

1. Исландско-Фарерская ФЗ.
2. ФЗ Норвежского прибрежного течения.
3. Ян-Майенская ФЗ.
4. ФЗ Западного Шпицбергена.

Чтобы выделить ФЗ и проследить сезонную изменчивость фронтов, построены карты пространственного распределения фронтальных зон. Использовались программа MATLAB R2021b и данные об уровне морской поверхности, температуре и солёности из базы CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) в Северной Атлантике. Обработка данных включала в себя несколько этапов:

1. Из полного массива данных, для подавления синоптической изменчивости, выделялись средние за 3 месяца значения уровня моря за период 2010-2019 гг.; осреднение данных по месяцам проводилось для каждого сезона: зима- январь-март, весна-апрель-июнь, лето-июль-сентябрь, осень-октябрь- декабрь.
2. Построение карт уровня океана, температуры и солёности.
3. Вычисление градиентов для каждой характеристики в осреднённых данных.
4. Определение максимального значения градиента в фронтальной зоне.
5. Приблизительная оценка длины и ширины фронтальной зоны.

В данной работе среднегодулетние значения температуры и солёности в узлах регулярной сетки, полученные для каждого сезона, использовались для расчета горизонтальных градиентов по алгоритму, представленному в работе [2]:

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

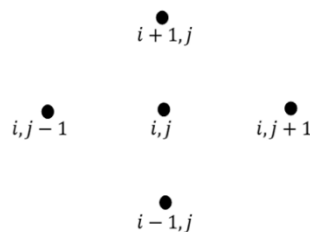


Рисунок 1. Узлы координатной сетки, составлено автором

Где  $P$  — значение параметра в узле регулярной сетки, точки которой при вычислениях имели следующую индексацию:

$S_x$  — шаг расчетной сетки по параллели, км; из-за сходимости меридианов к полюсу  $S_x$  не является постоянной величиной и вычисляется по формуле:

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

$S_y$  — шаг расчетной сетки по меридиану (км), величина постоянная. При расчетах определялся по формуле:

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

Где 1,852 – длина 1-ой морской мили,  $\varphi$  и  $\lambda$  – широта и долгота узлов расчетной сетки (град., мин). Модули разностей  $|\lambda_{(i,j+1)} - \lambda_{(i,j)}|$  и  $|\varphi_{(i+1,j)} - \varphi_{(i,j)}|$  значений широты и долготы между узлами сетки вычислялись в географических минутах.

Итоговый модуль горизонтального градиента рассчитывается по формуле:

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

Рассмотренный способ имеет явную привязку к географическим координатам, что определяет его как популярный и естественный выбор при обработке геоданных.

В результате вычислений за ФЗ принималась акватория градиенты термохалинных характеристик для которой превышали 0.02 °C/км (для температуры) и 0.02 PSU/км (для солёности). Были выделены следующие ФЗ в период 2010-2019гг. (рисунок 2).

1. Исландско-Фарерская ФЗ;
2. ФЗ Восточно-исландского течения;
3. Ян- Майенская ФЗ;
4. ФЗ норвежского прибрежного течения;
5. ФЗ Западного Шпицбергена;

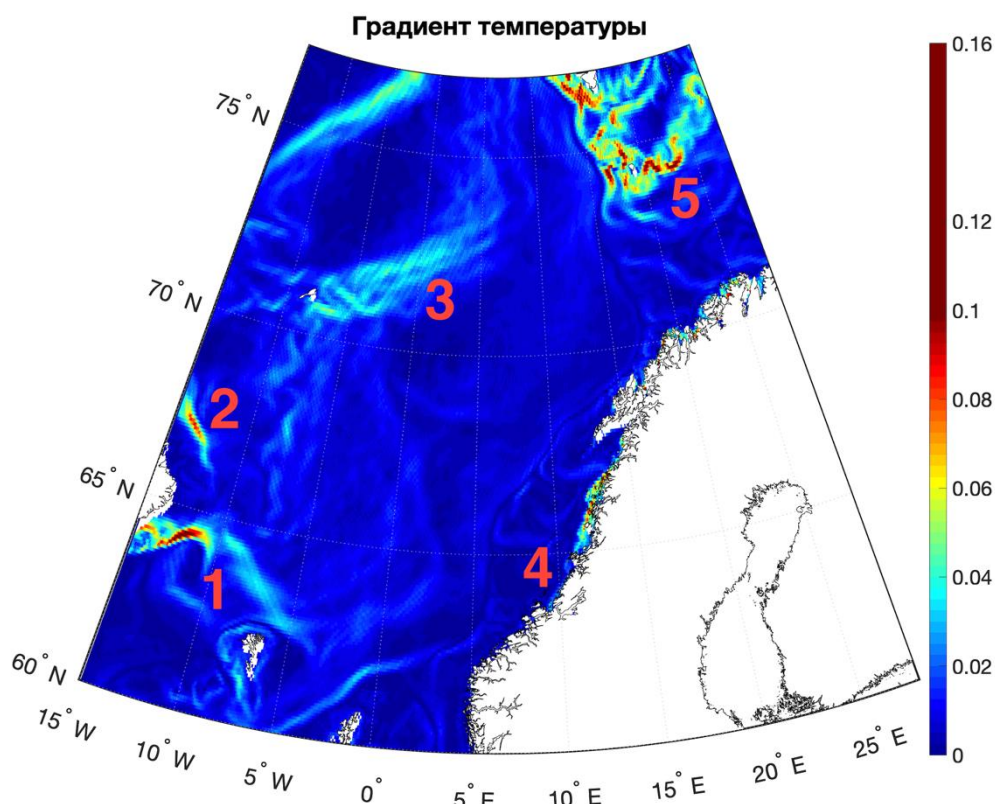


Рисунок 2. Выделенные фронтальные зоны в акватории Норвежского моря по осредненным данным GLORYS12V1 за 10 лет (2010-2019), составлено автором

В результате расчетов градиентов для каждого сезона было выявлено, что зимой наблюдаются в среднем более высокие значения, летом – низкие. Максимальные значения для температуры составляют 0.34°C/км и 0.15 °C/км, для солёности 0.39 psu/км и 0.38 psu/км – соответственно. Также было обнаружено, что характеристика солёности летом выражена интенсивнее, чем зимой, несмотря на то что величина максимального градиента выше зимой. Ширина и длина каждой ФЗ имеет большую протяженность также в зимнее время года.

#### Список литературы:

- [1] Грузинов В.М. Гидрология фронтальных зон Мирового океана // Ленинград, Гидрометеиздат. –1986. – 272 с.
- [2] Ожигин В.К., Ившин В. А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость // Мурманск: ПИНРО. – 2016. – 216 с.

*«СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ УЧАСТНИКОВ  
XVIII БОЛЬШОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ФЕСТИВАЛЯ»*

[3] Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов // Ленинград, Гидрометеиздат. – 1983. – 296 с.

[4] Kostianoy A.G., Nihoul C.J. Frontal Zones in the Norwegian, Greenland, Barents and Bering Seas // Influence of Climate Change on the Changing Arctic and Sub-Arctic Conditions – 2009. – pp. 171-190.