

## СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Ю.С.Новикова<sup>1</sup>, И.Л.Башмачников<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия

## SEASONAL AND INTERANNUAL DYNAMICS OF FRONTAL ZONES IN THE NORTH ATLANTIC

I.S.Novikova<sup>1</sup>, I.L.Bashmachnikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, St. Petersburg, Russia

*В работе предложен метод автоматического выделения границ Канни для обнаружения фронтальных разделов по картам динамической топографии уровня моря в морях Лабрадор и Ирмингера в период 1993-2016 гг.*

*In this research it is suggested to use the Canny edge detector for detection of fronts in the fields of satellite derived dynamic topography in the Labrador and Irminger seas for 1993-2016.*

### **Введение.**

Фронтальные зоны представляют собой области повышенных градиентов гидрофизических и/или гидрохимических характеристик. По выделяемой характеристике различают термические, соленостные, плотностные, термохалинные, динамические, термодинамические, фронты в поле гидрохимических характеристик, различные биотические и др. фронты. Фронтальные зоны обычно являются наиболее динамичными районами океана. С этим связана их высокая биопродуктивность, в связи с чем, фронтальные зоны представляют собой области активного рыбного промысла. В работе [1] была введена классификация термических океанических фронтов по их масштабу, причинам возникновения и устойчивости их проявления. Обычно фронтальные зоны являются областями повышенных градиентов сразу многих океанологических характеристик. В зависимости от наблюдаемых параметров, одни авторы выделяют фронт по высоким горизонтальным градиентам гидрологических характеристик [2] или на основе T-S-анализа рассматривались климатические фронтальные зоны [3], другие – по динамическим признакам [4, 5]: градиенты в поле скоростей течений, зоны конвергенции и дивергенции.

В данной работе рассмотрены климатические динамические фронтальные зоны разного происхождения морей Лабрадор и Ирмингера, определяемые повышенными градиентами уклонов уровня моря.

### **Исходные данные и методы анализа.**

Нами использовались альтиметрические данные об уровне моря AVISO с пространственным разрешением  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  и временным разрешением 7 суток за период с 1993 по 2016 гг. Для построения сезонной и межгодовой изменчивости динамических фронтов к отфильтрованным данным по уровню моря был применен дифференциальный оператор Канни (Canny edge detection)[6]. Используемый метод является многоступенчатым алгоритмом выделения границ и применяется в основном для обработки цифровых изображений. В алгоритме оператора Канни последовательно производится 5 этапов обработки сигнала:

1. сглаживание шума с помощью фильтра Гаусса;
2. поиск градиентов яркости;
3. подавление немаксимумов;
4. применение двойной пороговой фильтрации;
5. трассировка области неоднозначности.

Процесс обнаружения границ позволяет локализовать границы наиболее существенных неоднородностей изучаемых полей. Похожим методом выделялись фронтальные зоны в полях температуры и хлорофилла [7].

### Результаты.

Чтобы проследить сезонную изменчивость фронтов в Северной Атлантике, были построены карты пространственного распределения фронтальных зон. Обработка данных включала в себя несколько этапов:

1. осреднение уровня моря для каждого сезона: *зима*-январь-март, *весна*-апрель-июнь, *лето*-июль-сентябрь, *осень*-октябрь-декабрь с 1993 по 2016 гг., проводимое для подавления синоптической изменчивости;
2. применение оператора Канни к осредненным данным;
3. построение карт вероятности проявления фронтов в каждой точке области;
4. определение суммарной длины фронтов по климатическим сезонам путем суммирования пикселей фронтов.

Полученные по полю уровня наиболее устойчивые динамические фронтальные зоны (рис. 1, 2), фиксируются в областях основных течений выбранного региона: Восточно-Гренландского и Западно-Гренландского течений, ветви Северо-Атлантического течения, течения Ирмингера и Лабрадор. Сезонная изменчивость проявляется у фронтов Северо-Атлантического течения и течения Ирмингера, которые образовались в пределах хребта Рейкьянес, фронт у южной оконечности Гренландии, расположенный в области поднятия шельфа, а также у фронта близ стока Гудзонова залива.

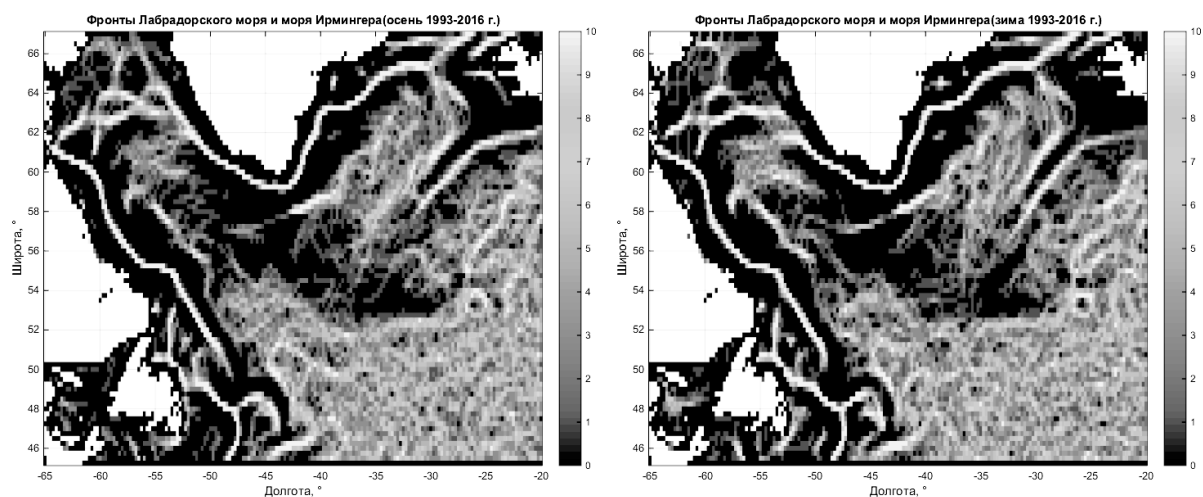


Рис. 1. Частота проявления динамических фронтов в осенний (слева) и зимний (справа) сезоны за 1993-2016 гг.

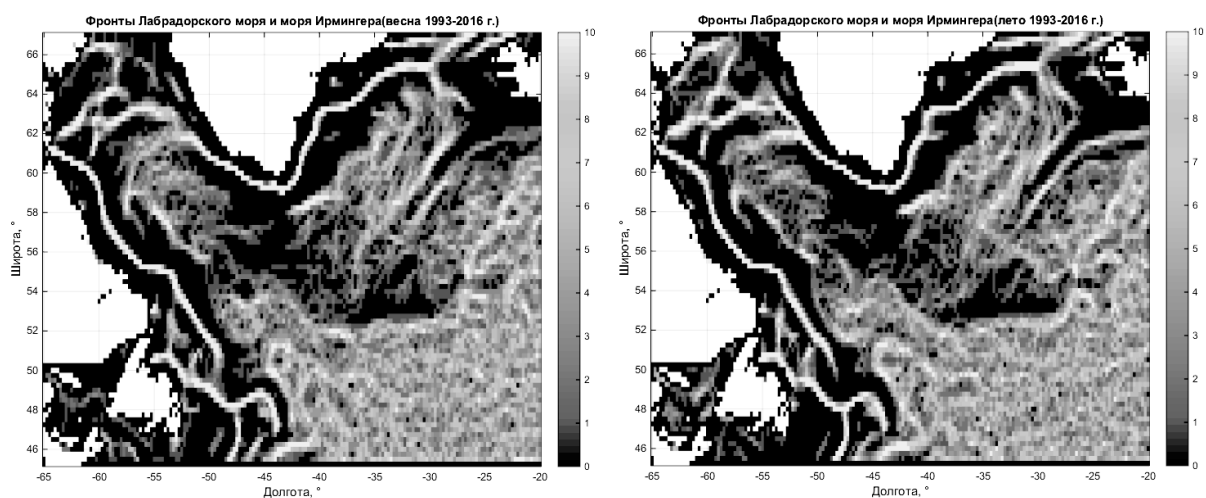


Рис. 2. Частота проявления динамических фронтов в весенний (слева) и летний (справа) сезоны за 1993-2016 гг.

Для оценки межгодовой изменчивости фронтов региона Северной Атлантики использовались те же методы, но суммирование пикселей фронтов проводилось за год, а также для каждого сезона. Далее проводился поиск связи суммарной длины фронтов (как характеристики их средней интенсивности) и индексов атмосферной циркуляции.

#### **Выводы.**

Анализ особенностей сезонной изменчивости фронтов за 1993-2016 гг. показал:

1. стабильность фронтальных зон в областях постоянных течений: Восточно-Гренландского, Западно-Гренландского и Лабрадорского;

2. наличие районов существенной сезонной изменчивости фронтов: фронт Северо-Атлантического течения и течения Ирмингера имеет максимальную связанность (общую длину) в зимний период; фронт течения Ирмингера в южной части Гренландии имеет максимальную длину в осенне-зимний сезон; фронт в районе стока Гудзонова залива сдвигается в сторону открытой части моря в весенне-летний сезон.

Основываясь на проведенном анализе межгодовой изменчивости за 1993-2016 гг., был сделан вывод о том, что вклад атмосферных процессов в динамику фронтальных зон прослеживается слабо. Это связано с тем, что большинство фронтальных зон в районе исследования приурочено к областям резкого изменения рельефа дна (топографически захваченные потоки), и их положение, а также общая протяженность (на уровне заданных в работе критериев), слабо изменяются под действием атмосферных процессов.

Метод, используемый в данной работе, открывает дополнительные возможности оценки положения и временной изменчивости фронтов в условиях высокой облачности, что достигается за счет использования данных спутниковой альтиметрии.

#### **Литература**

1. Федоров К. Н. Физическая природа и структура океанических фронтов//Гидрометеоздат, 1983.
  2. Добровольский А. Д., Леонтьева В. В., Кукса В. И. К характеристике структур и водных масс западной и центральной частей Тихого океана //Тр. ИОАН. – 1960. – Т. 10.
  3. Грузинов В. М. Гидрология фронтальных зон Мирового океана. – Гидрометеоздат, 1986.
  4. Ivanov Y. A., Neyman V. G. Frontal zones of the Southern Ocean //Antarktika. Dokl. komis. – 1964. – С. 138-154.
  5. Фукс В. Р. О возможности оценки положения фронтальных зон в океане по данным спутниковых измерений //Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 2009. С. 29-34.
  6. Canny J. A computational approach to edge detection //Readings in Computer Vision, 1987. С. 184-203.
  7. Belkin I. M., O'Reilly J. E. An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery//Journal of Marine Systems, 2009. – Т. 78. – №. 3. – С. 319-326.
- Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-05-00452).*

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-05-00452).*