

УДК 551.465.48(268.45)

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ (ТПМ) В РАЙОНЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А.В. Зимин¹, А.А. Коник^{1,2}, О.А. Атаджанова^{1,2}

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, zimin2@mail.ru

² Российский государственный гидрометеорологический университет

Описана внутрисезонная и синоптическая динамика основных фронтов внутри Полярной и Прикромочной фронтальных зон Баренцева моря в теплый период 2007 и 2011 гг. Выполнены оценки характеристик данных фронтальных зон. В условиях современного климата установлено незначительное смещение Полярного фронта и значительное смещение к северу Прикромочного фронта по отношению к их климатическому положению. Показано, что в июле у обоих фронтов отмечается пик синоптической динамики. Выявлено, что в годы с минимальным ледовым покровом средний градиент температуры внутри Полярной фронтальной зоны составляет 0,04 °C/км при ширине около 120 км, а в Прикромочной 0,03 °C/км при ширине почти 80 км.

Ключевые слова: температура поверхности моря, градиент температуры, Полярная фронтальная зона, Прикромочная фронтальная зона, фронтальные разделы, Баренцево море.

QUANTITATIVE ESTIMATIONS OF THE VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF THE TEMPERATURE OF THE SEA (SST) SURFACE IN THE FRONT OF THE FRONTAL ZONE OF THE BARENTS SEA

A.V. Zimin¹, A.A. Konik^{1,2}, O.A. Atadzhanova^{1,2}

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

² Russian State Hydrometeorological University

In-season and synoptic dynamics of the Polar and Marginal Ice Arctic fronts of the Barents Sea are described and estimates of their characteristics in the warm period of 2007 and 2011 are fulfilled. In the conditions of the modern climate, there is an insignificant shift in the Polar and a significant movement to the north of the Marginal Ice Arctic Fronts in relation to their climatic positions. It is shown that in July, a peak of synoptic dynamics is observed in both fronts. It was revealed that in years with minimal ice cover, the average temperature gradient within the Polar frontal zone is 0.04 °C/km, with a width of about 120 km, and in Marginal Ice Arctic 0.03 °C/km and a width of almost 80 km.

Keywords: sea surface temperature, temperature gradient, Polar and Marginal Ice Arctic frontal zones, frontal sections, Barents Sea.

Введение

В настоящее время в Арктике происходят значительные климатические изменения, которые выражаются в сокращении площади многолетнего ледяного покрова, положительных аномалиях температуры воды и воздуха [1]. Все эти факторы существенно влияют на изменение положения фронтальных зон и связанных с ними фронтов. Фронтальные зоны служат важным звеном в механизмах формирования

климатической изменчивости океана и в цепи передачи энергии по каскаду масштабов от элементов глобальной океанической циркуляции до локальных явлений. Особенно четко эти изменения прослеживаются на акватории Баренцева моря, расположенной на пути проникновения атлантических вод в Арктический бассейн [12]. Например, за период с 2000 по 2014 г. [8] состояние вод Баренцева моря характеризовалось высоким теплосодержанием и низкой ледовитостью, отмечалось преобладание отрицательных по площади ледовых аномалий. К числу самых малоледовитых лет, безусловно, следует отнести сезоны 2005—2006, 2007—2008, 2011—2012 и 2012—2014 гг. [12, 16]. Карты температуры поверхности моря (ТПМ), полученные преимущественно по данным спутниковых измерений, являются современным инструментом исследования фронтальных зон и фронтов.

В Баренцевом море можно выделить несколько фронтальных зон [5, 13, 14], однако в данной работе рассматриваются только две из них. Прикромочная фронтальная зона имеет сезонный характер и прослеживается только в теплый период года. Эта зона начинается на севере моря, в районе о. Медвежий, далее проходит в сторону архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа. Она формируется на периферии линзы холодных распресненных вод, образующихся за счет таяния арктического льда [2]. Также на формирование данной фронтальной зоны влияют Медвежинское и Восточно-Шпицбергенское течения [10].

Полярная фронтальная зона имеет климатический характер, разделяя преимущественно атлантические и арктические воды [2]. Она прослеживается на акватории моря постоянно, так как поддерживается основными теплыми атлантическими потоками [2, 3, 11]. Полярная фронтальная зона наблюдается в центральной части моря от о. Медвежий, однако в отличие от Прикромочной фронтальной зоны восточная часть смещена на акватории моря к юго-востоку.

В [14] приводится климатическое положение Полярной и Прикромочной фронтальных зон и их основных фронтов, а в [9] описана среднемесячная динамика фронтов, полученная преимущественно по данным контактных наблюдений. В обеих работах [9, 14] по данным отдельных измерений отмечается наличие значительной динамики фронтов. В последние годы наблюдается уменьшение площади ледового покрова [16], свидетельствующее об интенсификации процессов взаимодействия океана и атмосферы, что должно находить свое отражение во фронтальной изменчивости. Таким образом, систематическая оценка характеристик фронтальных зон в условиях современного, меняющегося климата на мезомасштабном интервале отсутствует.

Цель данной работы заключается в описании особенностей динамики основных фронтов Прикромочной и Полярной фронтальных зон и оценке их характеристик по данным ТПМ в теплый период года в условиях уменьшения площади ледяного покрова.

Материалы и методы

Для анализа изменчивости фронтальных зон и фронтов были выбраны данные о температуре поверхности Баренцева моря за период с июня по октябрь

2007 и 2011 гг., которые объединяют данные прямых и спутниковых измерений. Формат данных — суточные данные о температуре продукта GHRSSST OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis с сайта <http://apdrc.soest.hawaii.edu/> [15] с разрешением $0,05^\circ$ по широте и долготе со среднесуточной дискретностью. Выбор для исследования теплых сезонов 2007 и 2011 гг. обусловливался тем, что, согласно работам [1, 6, 8, 16], эти годы входят в число лет с минимальной площадью ледового покрова не только в Баренцевом море, но и в других морях Северного Ледовитого океана, что важно для продолжения исследований.

По полученным данным рассчитывались среднемесячные и декадные поля ТПМ, по которым производился расчет полей градиентов по методике, изложенной в [9]. Значение градиента температуры на акватории моря изменялось от 0 до $0,07^\circ\text{C}/\text{км}$. При этом климатический градиент температуры поверхности в Баренцевом море не превышает $0,01^\circ\text{C}/\text{км}$, что совпадает с оценками из работы [9]. Однако при таком соотношении значений градиентов применение используемого для выделения фронтальных зон критерия десятикратного превышения градиентом температуры во фронтальной зоне фонового значения [12] для моря неприемлемо. Даже при использовании критерия двойного превышения климатического значения градиента, как в работе [9], фронтальные зоны на поверхности моря распадаются на отдельные пятна и не всегда четко прослеживаются на всей акватории моря.

В связи с этим для выделения положения фронтальных зон и основных фронтов внутри них для всей акватории моря строились композитные карты ТПМ (рис. 1 а) и ее градиентов. С их помощью по интенсивности градиентов определялись характерные изотермы, положение которых принималось в качестве координат основного фронтального раздела внутри фронтальной зоны, — аналогично методике, изложенной в [4]. Оценки выполнялись для среднедекадных полей, которые далее усреднялись на среднемесячном и сезонном интервалах. Для уточнения положения основного фронта внутри фронтальной зоны и оценки количественных характеристик фронтальных зон проводились три разреза по меридианам 20° , 35° и 50° в.д. Пример профиля градиента ТПМ вдоль разреза по меридиану 35° в.д. представлен на рис. 1 б. Два выделенных пика, превышающих климатический градиент в два раза, соответствуют Полярной и Прикромочной фронтальным зонам. Наибольшее значение этих пиков — максимальный градиент, который соответствует положению основного фронта в каждой из выделенных фронтальных зон. По данным трех разрезов по декадам определялись ширина фронтальной зоны и средний градиент ТПМ.

Положение и динамика фронтальных разделов в теплый сезон

Результаты выделения положения основных фронтов внутри Прикромочной и Полярной фронтальных зон в среднем за летний сезон 2007 и 2011 гг. и их климатическое положение из работы [2] представлены на рис. 2 а. Далее для краткости они будут называться Прикромочный и Полярный фронт.

Из рис. 2 а видно, что среднее сезонное положение Полярного фронта в целом незначительно отклоняется от климатического — не более чем на 10—30 км.

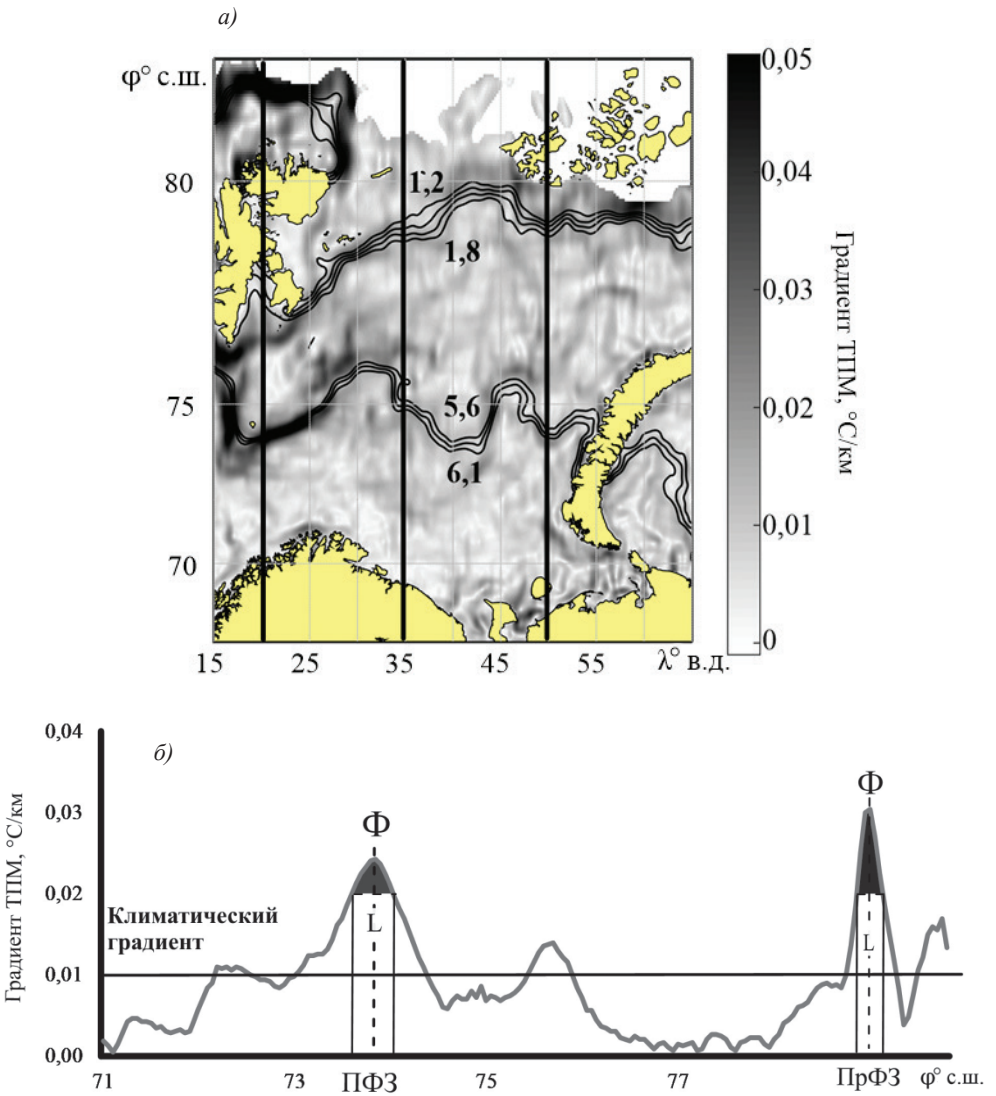


Рис. 1. Методика выделения положения и характеристик фронта и фронтальных зон.

а — композитная карта градиентов и изолиний температуры поверхности моря за третью декаду сентября 2011 г. (вертикальные линии — меридиональные разрезы, с которых снимались характеристики фронтальных зон); б — профиль градиента ТПМ вдоль разреза по меридиану 50° в.д.; выделено положение фронтов и указана ширина фронтальных зон (ПФЗ — Полярная фронтальная зона, ПрФЗ — Прикромочная фронтальная зона, L — ширина фронтальной зоны, Ф — положение фронта на разрезе).

Основное отличие заключается в том, что фронт более резко отклоняется к северу в восточной части моря. В то же время положение Прикромочного фронта сильно отличается от его климатического положения. Отклонение составляет порядка 150 км в западной части и 300 км в восточной части Баренцева моря — в среднем 250 км. Столь значительное изменение положения фронта, скорее всего, связано с ярко выраженным уменьшением площади ледового покрова, регистрируемым в эти годы. Вслед за кромкой льда сместилось и положение фронта.

Особенности внутрисезонной динамики Полярного и Прикромочного фронта представлены на рис. 2 б и в.

Стоит отметить, что Полярный фронт является квазипостоянным в западной части моря, где сконцентрированы максимальные градиенты ТПМ. Наибольшей динамике подвержена восточная часть фронта; при этом область изменчивости положения фронта в 2007 г. больше, чем в 2011 г. За счет поступления теплых атлантических вод и поверхностного прогрева линия фронта в период июнь — август активно продвигается на восток, к архипелагу Новая Земля. Отметим, что

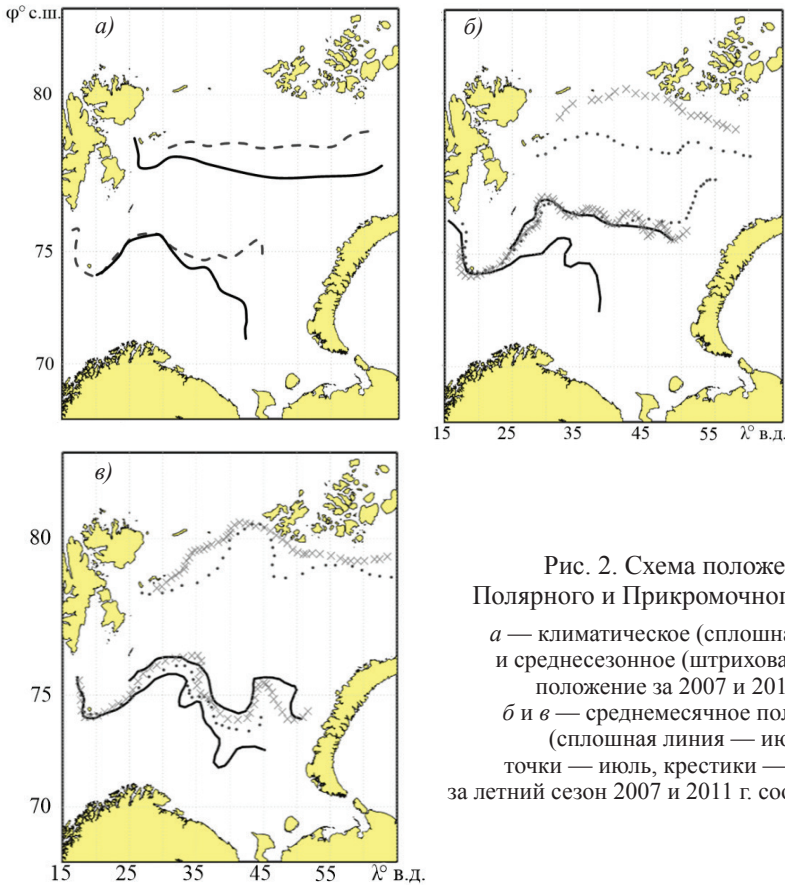


Рис. 2. Схема положения Полярного и Прикромочного фронта.
a — климатическое (сплошная линия) и среднесезонное (штриховая линия) положение за 2007 и 2011 гг.;
б и *в* — среднемесячное положение (сплошная линия — июнь, точки — июль, крестики — август) за летний сезон 2007 и 2011 г. соответственно.

изменения ТПМ в области распространения атлантических вод происходят достаточно синхронно. Изменение ТПМ на большой площади и значительная динамика фронта указывают на то, что тепловой режим моря в значительной мере определяется крупномасштабными процессами, которые в отдельные месяцы характеризовались усилением адвекции тепла из Норвежского моря и интенсификацией теплообмена с атмосферой. При этом в августе 2007 г. фронт располагался немного севернее, чем в 2011 г., что свидетельствует о нестационарности данных процессов во времени.

Прикромочная фронтальная зона формируется, как описывалось ранее, за счет таяния кромки арктического льда. Основной фронт этой зоны динамично перемещается по всей северной части Баренцева моря как в 2007 г., так и в 2011 г. (см. рис 2 б и в). В оба рассматриваемых года самое южное положение фронта наблюдалось в июне, а самое северное — в августе. В оба года в июне северо-восточнее о. Медвежий Прикромочный фронт располагался довольно близко к Полярному фронту. В июле Прикромочный фронт начинает движение на север ввиду отступления кромки льда за счет таяния. Однако изменчивость фронта в июле 2011 г. была больше, чем в июле 2007 г. В августе в оба года Прикромочный фронт практически достиг северной границы моря между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа. В сентябре в оба года положение фронта было близко к его положению в августе.

Представление о мезомасштабной динамике фронтов можно получить на примере карт декадных положений Полярного и Прикромочного фронта за июль и август 2007 и 2011 гг. (рис. 3).

Мезомасштабная изменчивость положения Полярного фронта в восточной части моря характеризуется значительной динамикой в июле и августе. За счет адвекции теплых атлантических вод фронт смещается с июня по август на 300—400 км к Новой Земле, сохраняя стабильность в западной части. Максимальная изменчивость положения фронта за декаду отмечается в июле 2007 г., когда наблюдалось его смещение на 150 км к северу. В остальном декадное изменение положения фронта отражает меандрирующий характер его динамики в течение всего летнего сезона. Смещение фронта за декаду составляет несколько десятков километров и, вероятно, связано с динамическим воздействием ветра.

Для Прикромочного фронта мезомасштабная динамика максимальна в июле на всем протяжении фронта. Всего за одну декаду положение фронта может измениться на 250—300 км. Столь значительная динамика наблюдается на фоне формирующегося в приповерхностном слое пикноклина [2] в условиях совместного влияния адвекции, радиационного прогрева и воздействия ветра. В августе мезомасштабная динамика фронта значительно слабее и проявляется в незначительном изменении его положения.

Стоит отметить, что внутрисезонная изменчивость положения обоих рассматриваемых фронтов сопоставима с их декадной изменчивостью в июле. В остальные месяцы она проявляется в виде смещения положения на несколько десятков километров и образовании языков и меандров.

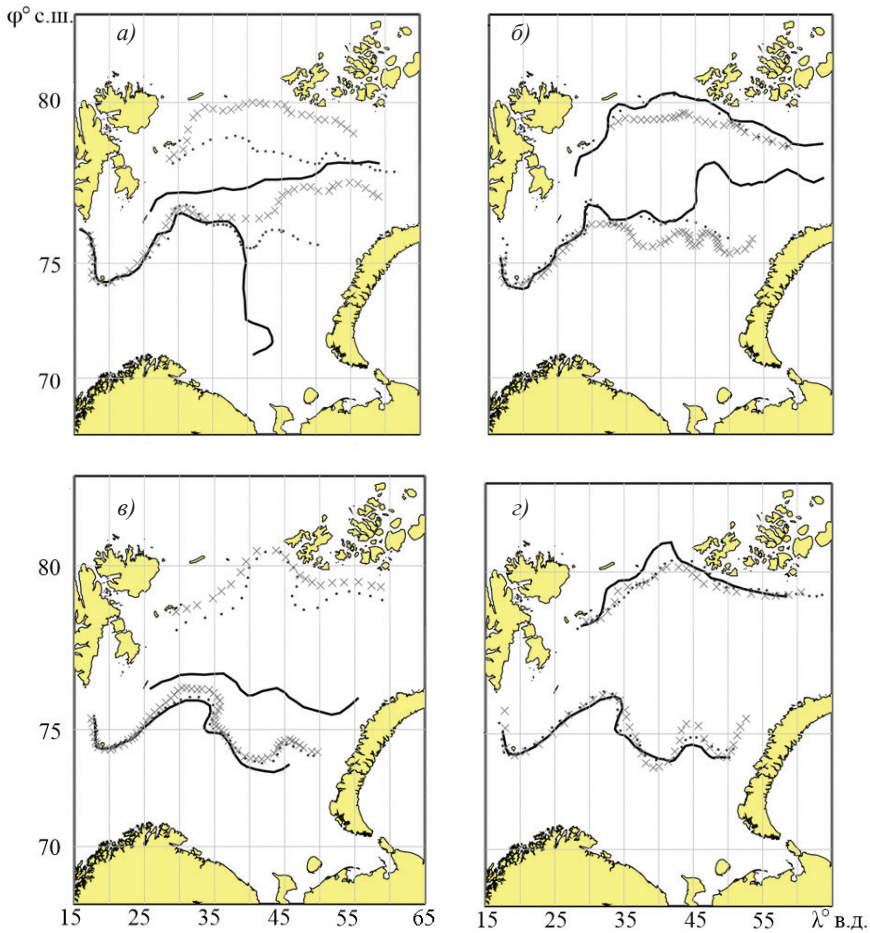


Рис. 3. Декадная схема расположения Полярного и Прикромочного фронта (на акватории Баренцева моря).

Сплошная линия — 1-я декада, точки — 2-я декада, крестики — 3-я декада.
 а — июль 2007 г., б — август 2007 г., в — июль 2011 г., з — август 2011 г.

Оценка количественных характеристик Прикромочной и Полярной фронтальных зон

Количественные характеристики Полярной и Прикромочной фронтальных зон представлены в табл. 1. Средняя ширина фронтальной зоны определялась путем осреднения данных, полученных на трех меридиональных разрезах ТПМ. На основании этих же данных производился выбор оценки максимального градиента ТПМ во фронтальной зоне.

Из таблицы видно, что за теплый сезон 2007 и 2011 гг. значения градиента ТПМ во фронтальных зонах в среднем в 2—4 раза превышают его климатическое

Таблица 1

Декадная изменчивость средней ширины ($L_{\text{сред}}$) и максимального градиента (ΔT_{max}) Полярной и Прикромочной фронтальных зон в 2007 и 2011 гг.

| Месяц | Декада | Фронтальная зона | | | | | | | |
|----------------|--------|-------------------------------|------|--|-------|-------------------------------|------|--|-------|
| | | Полярная | | | | Прикромочная | | | |
| | | $L_{\text{сред}}, \text{ км}$ | | $\Delta T_{\text{max}}, \text{ }^\circ\text{C/км}$ | | $L_{\text{сред}}, \text{ км}$ | | $\Delta T_{\text{max}}, \text{ }^\circ\text{C/км}$ | |
| | | 2007 | 2011 | 2007 | 2011 | 2007 | 2011 | 2007 | 2011 |
| VI | 1 | 122 | 103 | 0,034 | 0,062 | 67 | 56 | 0,031 | 0,043 |
| | 2 | 122 | 100 | 0,047 | 0,061 | 89 | 64 | 0,028 | 0,029 |
| | 3 | 146 | 111 | 0,047 | 0,048 | 84 | 98 | 0,021 | 0,020 |
| VII | 1 | 172 | 132 | 0,047 | 0,037 | 78 | 98 | 0,038 | 0,017 |
| | 2 | 139 | 158 | 0,038 | 0,033 | 67 | 81 | 0,030 | 0,016 |
| | 3 | 136 | 170 | 0,033 | 0,029 | 111 | 109 | 0,023 | 0,015 |
| VIII | 1 | 142 | 152 | 0,046 | 0,034 | 83 | 103 | 0,024 | 0,015 |
| | 2 | 114 | 105 | 0,045 | 0,052 | 75 | 103 | 0,019 | 0,021 |
| | 3 | 153 | 102 | 0,041 | 0,057 | 95 | 95 | 0,014 | 0,029 |
| IX | 1 | 116 | 147 | 0,042 | 0,039 | 67 | 78 | 0,023 | 0,031 |
| | 2 | 102 | 114 | 0,044 | 0,050 | 78 | 100 | 0,023 | 0,025 |
| | 3 | 105 | 100 | 0,031 | 0,043 | 95 | 78 | 0,021 | 0,020 |
| X | 1 | 117 | 97 | 0,025 | 0,046 | 75 | 89 | 0,027 | 0,020 |
| | 2 | 113 | 89 | 0,028 | 0,043 | 89 | 59 | 0,045 | 0,022 |
| | 3 | 103 | 86 | 0,028 | 0,040 | 75 | 86 | 0,068 | 0,032 |
| Среднее за год | | 126 | 117 | 0,038 | 0,045 | 82 | 86 | 0,029 | 0,024 |

значение на всей акватории моря. Полученные оценки за оба года схожи. Значения градиента ТПМ во фронтальных зонах сопоставимы с оценками, полученными в работе [14].

Максимальная ширина Полярной фронтальной зоны за рассматриваемые anomalно жаркие годы составляет 172 км, а максимальный градиент 0,062 °C/км. Ширина фронтальной зоны наиболее значительно колебалась в 2011 г. (от 86 до 170 км), когда положение Полярного фронта было стабильнее, чем в 2007 г. Изменение ширины фронтальной зоны за декаду в июле — августе достигало 40—50 км. В июне и октябре изменения ширины фронтальной зоны были незначительными. Изменение интенсивности градиента ТПМ внутри фронтальной зоны не имеет четко выраженной внутрисезонной цикличности и, как правило, составляет всего 0,01 °C за декаду. Максимальные значения градиента внутри фронтальной зоны наблюдались, когда ширина и положение основного фронта были наиболее стабильны.

Максимальная ширина Прикромочной фронтальной зоны за отмеченные anomalно жаркие годы составляет 111 км, а максимальный градиент 0,068 °C/км. Ширина Прикромочной фронтальной зоны в среднем была почти в 1,5 раза меньше, чем Полярной. Наибольшие изменения за декаду наблюдались в июле 2007 г. и составили 40 км. Это, вероятнее всего, связано с интенсивным таянием ледового покрова. При этом отмечалось значительное изменение положения Прикромочного

фронта. Минимальная ширина фронтальной зоны наблюдалась в оба года в начале июня, в период стабильного положения Прикромочного фронта. Изменение интенсивности градиента ТПМ внутри фронтальной зоны имело четко выраженную внутрисезонную изменчивость. Максимальные градиенты ТПМ наблюдались в начале и в конце теплого сезона, а минимальные — в июле и августе. Минимальные градиенты наблюдались в период максимальной изменчивости положения Прикромочного фронта.

В динамике ширины обоих фронтальных зон прослеживается четко выраженный внутрисезонный ход. Максимальная ширина наблюдается в июле — августе, а минимальная — в начале и в конце теплого сезона. Максимальные градиенты ТПМ отмечались в период, когда ширина фронтальной зоны изменялась незначительно, а положение основных фронтальных разделов было близко к стационарному.

Представленные материалы свидетельствуют о наличии сложной мезомасштабной динамики внутри фронтальных зон на акватории Баренцева моря. Однако все эти данные относятся к поверхностному слою и сами по себе не позволяют обоснованно судить о том, насколько глубоко проникают те или иные процессы в водную толщу. Непосредственное выявление процессов, ответственных за наблюдаемое распределение гидрологических параметров на поверхности моря, требует проведения глубоководных измерений.

Заключение

В ходе работы предпринята попытка систематического описания особенностей мезомасштабной и внутрисезонной динамики Полярной и Прикромочной фронтальных зон Баренцева моря и их основных фронтов в годы с минимальной площадью ледового покрова. Получены оценки их характеристик в теплый период года на мезомасштабном интервале осреднения. Средний градиент температуры при декадном осреднении данных внутри Полярной фронтальной зоны составляет $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ при ширине около 120 км , а в Прикромочной фронтальной зоне — немного менее $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ при ширине около 80 км .

В годы с минимальным ледовым покровом обнаружено незначительное смещение Полярного фронта от климатического положения за теплый сезон, в то время как Прикромочный фронт сместился к северу на 250 км . В июле отмечается пик мезомасштабной динамики обоих фронтов, обусловленный, очевидно, влиянием синоптических процессов, адвекции тепла течениями и таяния льда, на фоне формирующегося приповерхностно пикноклина. В другие месяцы синоптическая динамика выражается в меандрировании положения фронтов до нескольких десятков километров.

Установлено, что значения градиента ТПМ в районе фронтальных зон Баренцева моря в среднем в 2—4 раза превышают его климатическое значение для всей акватории моря. В динамике ширины обоих фронтальных зон прослеживается четко выраженный внутрисезонный ход. Максимальные градиенты ТПМ

во фронтальных зонах прослеживаются в условиях минимальной динамики положения основных фронтальных разделов.

В дальнейшем предполагается развивать исследования в направлении поиска вероятной когерентности между количественными оценками мезомасштабной и синоптической изменчивости характеристик фронтальных зон и проявлениями субмезомасштабной вихревой динамики.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № 0149-2018-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ» и при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-05-00965_A).

Список литературы

1. Алексеев Г.В., Радионов В.Ф. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1 (103). С. 32—41.
2. Гирдюк Г.В., Дженюк С.Л. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 280 с.
3. Голенко Н.Н., Зубин А.Б., Разживин В.А. Гидрологические условия в районе водораздела Норвежского, Гренландского и Баренцева морей летом 1985 года // Структура гидрофизических полей Норвежского и Гренландского морей. М.: изд-во ИОАН, 1987. С. 18—23.
4. Зимин А.В. Закономерности субмезомасштабных процессов и явлений в Белом море // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 104—120.
5. Казьмин А.С. Структура и изменчивость океанических фронтальных зон: анализ глобальной спутниковой информации / Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2014. 43 с.
6. Михайлова Н.В., Юровский А.В. Анализ главных компонентов полей концентрации морского льда в Баренцевом море // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 2. С. 12—20.
7. Морозов А.Н., Павлов В.К., Павлова О.А., Федоров С.В. Полярная фронтальная зона Западного желоба Баренцева моря по данным контактных наблюдений 2007 года // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 2. С. 39—53.
8. Жичкин А.П. Динамика межгодовых и сезонных аномалий ледовитости Баренцева и Карского морей // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 55—64.
9. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: изд-во ПИНРО, 2016. 216 с.
10. Николаев Ю.В., Макинас А.П., Иванов Б.В. К проблеме изучения Прикромочных зон арктических морей // Труды ААНИИ. 1986. Т. 406. С. 131—138.
11. Романенков Д.А., Зимин А.В., Родионов А.А., Атаджанова О.А., Козлов И.Е. Изменчивость фронтальных разделов и особенности мезомасштабной динамики вод Белого моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9, № 1. С. 59—72.
12. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеониздат. 1983. 296 с.
13. Hill A.E. Dynamics of tidal mixing fronts in the North Sea / A.E. Hill, I.D. James, P.F. Linden, J.P. Matthews, D. Prandle, J.H. Simpson, E.M. Gmitrowicz, D.A. Smeed, K.M.M. Lwiza, R. Durazo, A.D. Fox, D.G. Bowers // Phil. Trans. R. Soc. Lond. Phys. Sci. Eng. 1993. V. 343 (1669). P. 431—446.
14. Kostianoy, A.G. Nihoul J.C.J., Rodionov V.B. Physical Oceanography of Frontal Zones in the Subarctic Seas // Elsevier Oceanography Series. 2004. V. 71. P. 1—316.
15. GHRSSST Overview. Information about group and working model [Электронный ресурс]. Содержит информацию о продукте. Режим доступа: <https://www.ghrssst.org> – свободный. Загл. с экрана.
16. National snow and ice data center [Электронный ресурс]. Содержит информацию о продукте. Режим доступа: <http://nsidc.org> – свободный. Загл. с экрана.