

На правах рукописи



Коник Александр Александрович

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНОМАСШТАБНЫХ
ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ В XXI ВЕКЕ**

Специальность 1.6.17 — «Океанология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Санкт-Петербург — 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
(Санкт-Петербургский филиал)

Научный руководитель: *Зимин Алексей Вадимович*, доктор географических наук, доцент, главный научный сотрудник Лаборатории геофизических пограничных слоев Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (Санкт-Петербургский филиал)

Официальные оппоненты: *Лебедев Сергей Анатольевич*, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории геоинформатики и геомагнитных исследований Геофизического центра РАН

Сентябов Евгений Валерьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Лаборатории промысловой океанографии Полярного филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»

Защита диссертации состоится «26» декабря 2022 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.170.01 при Мурманском морском биологическом институте Российской академии наук по адресу: 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, д. 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мурманского морского биологического института Российской академии наук и в сети Интернет по ссылке:
http://www.mmbi.info/fs/files/2796/Dissertaciya_Konik.pdf
Автореферат разослан «16» ноября 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.170.01,
кандидат географических наук



И.С. Усыгина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В последние десятилетия в арктическом регионе наблюдаются значительные климатические изменения [Callaghan et al., 2010; Матишов и др., 2011; Overland et al., 2013; Yamanouchi and Takata, 2020; Макаревич и Олейник, 2020], которые, в первую очередь, отражаются в уменьшении площади ледяного покрова [Serreze et al., 2015; Feltham, 2015; Матишов и др., 2020]. Кроме того, исследования [Årthun et al., 2012; Barton et al., 2018] указывают на усиление процесса «атлантификации» (увеличение притока атлантических вод) в арктических морях. В связи с этим, в современных условиях меняющегося климата, изучение изменчивости положения и характеристик фронтальных зон различного генезиса, формирующихся в морях Северного Ледовитого океана (СЛО), является важной научной задачей, решение которой необходимо для понимания интенсификации механизмов трансформации гидрологической структуры вод [Физическая природа..., 1983; Fer et al., 2014; Barton et al., 2020]. Получаемые характеристики фронтальных зон можно использовать в качестве индикаторов для оценки климатических изменений параметров вод в отдельных морях Арктики.

Увеличение площадей открытых ото льдов вод и появление новых спутниковых сенсоров позволяет шире использовать поступающие на постоянной основе данные дистанционных измерений, что открывает новые возможности в исследовании поверхностных проявлений фронтальных зон и позволяет сформировать представления об их изменчивости за несколько десятилетий. Однако данные спутниковых систем требуют валидации на предмет возможности их применения для детектирования фронтальных зон на акватории полярных морей. Кроме того, неоднородность распределения и малая величина поверхностных градиентов гидрофизических полей во фронтальных зонах морей Арктики является препятствием для получения количественных оценок их положения и характеристик на обширных акваториях, что, в свою очередь, делает необходимым совершенствование методик их выделения.

Отметим, что фронтальные зоны являются перспективными районами для развития рыболовства и оказывают существенное влияние на разные компоненты морских экосистем [Woesckel et al., 2008; Калашников и Сентябов, 2022], что важно для оценки изменений экономического потенциала арктического региона. Перечисленные актуальные задачи соответствуют целям новой Морской Доктрины Российской Федерации (РФ) 2022 года [Указ Президента..., 2022], где важное направление отдано исследованиям, связанным с влиянием Мирового океана на экосистему и климат планеты (в первую очередь на территории РФ).

Степень разработанности темы исследования. Согласно классификации, представленной в фундаментальном труде К.Н. Федорова [Физическая природа..., 1983], механизмы формирования большинства фронтальных зон арктического региона имеют синоптический или «локальный» характер, и связаны с речным стоком, таянием кромки ледяного покрова, атмосферным воздействием или топографическими эффектами. В тоже время, в Арктике встречаются и «климатические» фронтальные зоны, сформированные в результате взаимодействия крупномасштабных элементов общей циркуляции океана. Данное исследование посвящено наиболее крупным фронтальным зонам, наблюдающимся в Баренцевом и Карском морях — «локальным» Стоковой и Арктической, и «климатической» Полярной фронтальной зоне.

СЛО характеризуется поступлением значительного материкового стока, особенно в шельфовых районах Карского моря [Речные плюмы, 2021]. Речные воды образуют значительный по площади поверхностный опресненный слой (ПОС), оказывающий существенное влияние на многие физические и биологические процессы в Карском море [Зацепин и др., 2010а; Завьялов и др., 2015; Kubryakov et al., 2016; Osadchiev et al., 2017; Mosharov et al., 2018; Polukhin et al., 2019; Osadchiev et al., 2020]. Пограничная область между водами морского и речного генезиса характеризуется значительной неустойчивостью [Зацепин и др., 2010а; Завьялов и др., 2015; Osadchiev et al., 2017]. Согласно классификации из работы [Физическая природа..., 1983], данная область называется Стоковой фронтальной зоной (СФЗ). СФЗ — это зона между речными и морскими водами, отличающаяся резкими соленостными и температурными градиентами. Однако использование данного термина при описании гидрологического режима вод Карского моря встречается крайне редко. В [Физическая природа..., 1983; Pavlov and Pfirman, 1995] было обозначено только присутствие такой зоны, а в [Завьялов и др., 2015; Atadzhanova et al., 2018] описано наличие фронтальных разделов в различных частях ПОС и представлены их количественные оценки за отдельные годы. В настоящее время для определения положения фронтальных зон в Карском море чаще всего используются нерегулярные судовые измерения [Зацепин и др., 2010а; Завьялов и др., 2015; Osadchiev et al., 2020], гораздо реже применяют спутниковые данные температуры [Atadzhanova et al., 2018] или хлорофилла-а [Буренков и др., 2010; Глуховец и Гольдин, 2014; Kubryakov et al., 2016]. Вместе с тем, необходимо признать, что методология таких исследований на текущий момент не является универсальной. В большинстве таких работ рассматривается вся область ПОС, а СФЗ, являющаяся внешней границей ПОС, остается не изученной. Отсутствуют сведения о том, где, по данным регулярных многолетних наблюдений, прослеживается СФЗ, какая у зоны внутритроновая

и межгодовая пространственная изменчивость и каковы количественные оценки её характеристик.

В Баренцевом море располагается Полярная фронтальная зона (ПФЗ), исследование которой чаще всего выполняется по данным контактных наблюдений [Воды Баренцева моря..., 2016; Oziel et al., 2016; Моисеев и др., 2019], так как зона лучше всего прослеживается на подповерхностных горизонтах. Зона формируется за счет взаимодействия теплых и соленых атлантических вод с холодными и опресненными арктическими водами [Oziel et al., 2016, Моря СССР, 1982]. В работах [Чвилев, 1991; Harris, 1998] фронтальную зону соотносят с модифицированными баренцевоморскими водами. Установлено, что донная топография играет немаловажную роль в положении ПФЗ [Johannessen and Foster, 1978; Parson et al., 1996]. Фронтальная зона в большинстве исследований выделяется только по данным температуры [Oziel et al., 2016; Ivshin et al., 2019; Våge et al., 2014], значительно реже — по солености [Barton et al., 2018]. В работе [Артамонов и др., 2019] была изучена многолетняя сезонная изменчивость Полярного фронта и его ветвей на основе данных реанализа, показавшего наличие внутрисезонных циклов его пространственной изменчивости. В тоже время, большинство исследований ПФЗ носит фрагментарный характер, что связано с неоднородностью пространственного распределения градиентов внутри фронтальной зоны. Кроме этого, согласно [Воды Баренцева моря..., 2016], обеспеченность измерениями восточной части Баренцева моря гораздо ниже, чем западной, что не позволяет полноценно описать пространственную изменчивость ПФЗ на акватории Баренцева моря.

В Баренцевом и Карском морях на границе льда и морских вод формируется уникальная по своей гидрологической структуре прикромочная ледовая зона (ПЛЗ) [McPhee et al., 1987; Ginsburg and Fedorov, 1989; Collins et al., 2015]. Многообразие работ по исследованию ПЛЗ [Van Aken et al., 1995; Kędra et al., 2015; Моисеев и Жичкин, 2017; Макаревич и Олейник, 2017; Atadzhanova et al., 2018; Brenner et al., 2020] показало, что в результате воздействия относительно холодных распресненных вод вблизи кромки ледяного покрова и более теплых и отдаленных от кромки морских вод формируется фронтальная зона [Океанические фронты..., 1998]. Необходимо признать, что, до настоящего времени, даже нет установившегося наименования данной фронтальной зоны. Данную область называют Арктической [Океанические фронты..., 1998; Van Aken et al., 1995], Прикромочной [Atadzhanova et al., 2018], либо просто именуют как фронтальную зону ПЛЗ [Brenner et al., 2020]. Данное исследование будет опираться на терминологию из работы [Океанические фронты..., 1998], где область называется Арктической фронтальной зоной (АФЗ). Методические сложности контактных и

дистанционных наблюдений в области АФЗ обуславливают отсутствие надежных сведений о многолетней изменчивости количественных оценок её характеристик в рассматриваемых морях. Из отдельных работ [Океанические фронты..., 1998; Моисеев и Жичкин, 2017] известно, что, по данным судовых измерений в Баренцевом море, АФЗ обладает сложной сезонной и межгодовой пространственной динамикой, которая зависит от характеристик и положения кромки ледяного покрова, а также от параметров приповерхностного ветра. В теплый период года АФЗ в Баренцевом море [Atadzhanova et al., 2018; Моисеев и Жичкин, 2017] характеризуется ярко-выраженными вертикальными и горизонтальными термохалинными градиентами. В Карском море в работе [Atadzhanova et al., 2018] с помощью данных спутникового зондирования радиометров высокого разрешения в отдельные годы описана пространственная динамика АФЗ и получены некоторые сезонные оценки её температурных градиентов и ширины. Однако весьма редкие и отрывочные исследования не позволяют на продолжительном интервале времени описать пространственную динамику и систематизировать количественные оценки характеристик АФЗ за длительный период времени.

Цель работы:

Формирование представлений об изменчивости основных физико-географических характеристик фронтальных зон Баренцева и Карского морей за первые два десятилетия XXI века в условиях современного меняющегося климата.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение валидации данных дистанционного зондирования с помощью масштабных полигонных *in situ* измерений в Карском море.
2. Создание универсальной методики определения пространственного положения и количественных оценок поверхностных проявлений фронтальных зон в морях Арктики на основе объединения разнородных спутниковых данных.
3. Выделение поверхностных проявлений основных фронтальных зон Баренцева и Карского морей на основе многолетних дистанционных измерений и количественная оценка их изменчивости в условиях меняющегося климата за период с 2002 по 2020 гг.
4. Оценка связи параметров фронтальных зон с разномасштабными процессами в океане и атмосфере.

Научная новизна результатов проведенных исследований. Создана универсальная методика, основанная на кластерном анализе, для определения

характеристик поверхностных проявлений фронтальных зон, имеющая широкий потенциал применения для акваторий полярных морей.

Выполнена верификация современных спутниковых данных по температуре и солености с помощью крупномасштабной полигонной съемки Карского моря, которая показала возможность их использования для оценки характеристик фронтальных зон в поверхностном слое арктических морей.

Получены количественные оценки физико-географических характеристик на внутрисезонном и межгодовом интервалах Стоковой, Полярной и Арктической фронтальных зон Баренцева и Карского морей в течении двух десятилетий XXI века.

Установлена связь параметров поверхностных проявлений основных фронтальных зон Баренцева и Карского морей с величиной объема речного стока Енисея, адвекции тепла с Норвежского моря, и глобальной атмосферной циркуляцией, выраженной в атмосферных индексах Североатлантического, Скандинавского и Полярного колебаний.

Получены количественные оценки связи частоты детектирования проявлений субмезомасштабных вихревых структур с изменчивостью характеристик фронтальных зон на многолетнем временном интервале.

Положения, выносимые на защиту:

1. Универсальная методика определения поверхностных проявлений фронтальных зон, основанная на применении кластерного анализа к интегрированным спутниковым данным и позволяющая детектировать их основные характеристики даже в отсутствии однородных градиентных зон.
2. Среднегодовые и внутрисезонные количественные оценки характеристик СФЗ Карского моря, как самостоятельной гидрологической структуры. Величина градиента и площадь фронтальной зоны за безледный период второго десятилетия XXI века уменьшается (на $0,04$ °C/км и 100 тыс. км²).
3. Многолетняя изменчивость характеристик поверхностных проявлений ПФЗ в Баренцевом море. За теплый сезон второй декады XXI века величина градиента и площадь зоны уменьшается (на $0,02$ °C/км и 150 тыс. км²).
4. Среднегодовые количественные оценки и пространственная изменчивость характеристик АФЗ. Положение зоны за второе десятилетие XXI века смещается на 150 км на север.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты позволяют расширить представления о пространственной изменчивости фронтальных зон на акватории морей Арктики, что может быть использовано в интересах развития глобальных моделей климата, изучении причин и следствий региональных климатических

изменений, экологических и биологических исследований. Созданная методика детектирования фронтальных зон на поверхности, основанная на регулярно пополняемых данных спутниковых измерений и не требующая значительных вычислительных ресурсов, позволяет получать оценки фронтальных зон в оперативном режиме и может быть применена для других полярных акваторий. Полученные параметры фронтальных зон могут быть использованы при поиске зон повышенной биопродуктивности и планировании морских гидрологических работ.

Методология и методы исследования. Для исследования основных характеристик фронтальных зон в Баренцевом и Карском морях применялись статистические и физико-географические методы. Для описания пространственно-временной изменчивости фронтальных зон использовались картографический, описательный и аналитический подходы. Достоверность научных результатов подтверждаются публикациями в ведущих профильных рецензируемых журналах и их представлением на всероссийских и международных конференциях.

Личный вклад автора. Автор лично участвовал во всех этапах работы — от постановки задач исследования до формулирования основных результатов и выводов. Автором проведен подбор и выполнен анализ данных судовых и спутниковых измерений. Соискатель разработал и апробировал оригинальную методику для расчета основных параметров фронтальных зон. Автором проведен анализ пространственно-временной изменчивости характеристик Стоковой, Полярной и Арктической фронтальных зон и создана база данных о параметрах перечисленных фронтальных зон. Соискателем произведена оценка связи разномасштабных процессов атмосферы и океана с полученными характеристиками фронтальных зон в условиях современного меняющегося климата. Автором лично написаны все статьи, в которых он является первым автором, и части статьей, опубликованных в соавторстве, а также в представлении результатов работы в научных докладах и конференциях.

Благодарности. Автор выражает свою признательность научному руководителю Зимину Алексею Вадимовичу, д. г. н., за безграничное терпение и помощь на всех этапах выполнения диссертации. Автор благодарен за поддержку в работе член-корреспонденту и д. т. н. Родионову А. А., к. г. н. Исаеву А. В. и к. г. н. Атаджановой О. А. за полезные советы и обсуждения в ходе работы. Также автор выражает благодарность Гордеевой С. М., к. г. н., и Козлову И. Е., к. ф-м. н., за помощь в разработке методов исследования и консультации при обработке и анализе спутниковых данных, и Педченко А. П., к. г. н., за предоставление данных полигонной съемки в Карском море

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка условных сокращений и списка литературы из 125 наименования. В ней содержится 110 страниц, 13 таблиц и 40 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены актуальность и степень разработанности темы исследования, основная цель исследования, поставленные задачи, методология и методы исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы, основные защищаемые положения, степень достоверности полученных результатов, апробация результатов исследования, личный вклад автора и список опубликованных диссертантом работ.

В первой главе рассмотрены физико-географические характеристики объекта исследования — гидрологического режима Баренцева и Карского морей (**раздел 1.1**). **В разделе 1.2** описаны характеристики фронтальных зон как предмета исследования: даны определения, классификация, основные параметры и явления внутри фронтальных зон (**раздел 1.2.1**), рассмотрены основные фронтальные зоны Баренцева и Карского морей (**раздел 1.2.2**) и представлены наиболее современные методы исследования как фронтальных зон (**раздел 1.2.3**).

Во второй главе описаны исходные данные и основные методы их обработки.

В разделе 2.1 приведен обзор исходных материалов для идентификации фронтальных зон. Для их выделения на поверхности использовались среднемесячные данные: температура поверхности моря (ТПМ) спутников Aqua и Suomi NPP VIIRS, соленость поверхности моря (СПМ) спутника NASA SMAP и абсолютная динамическая топография (АДТ) продукта AVISO за период с мая по октябрь 2002–2020 гг.

В разделе 2.2 описаны вспомогательные исходные данные для валидации спутниковых измерений, которые представлены крупномасштабной полигонной съемкой Карского моря в сентябре 2019 года. В качестве исходных данных о глобальных и региональных процессах атмосферы и океана, взятых для оценки их влияния на изменчивость характеристик фронтальных зон, за период с 2002 по 2020 гг. использовались: атмосферные индексы САК, ВАК, ВАК/ЗР, СК, ПК; объем речного стока Оби и Енисея; скорость и направление ветра; площадь и сплоченность ледяного покрова; поток тепла, поступающий в Баренцево море, по данным реанализа Copernicus; проявления вихревых структур, которые детектировались по данным радиолокационных изображений (РЛИ) спутников Envisat ASAR и Sentinel-1A/B.

В разделе 2.3 описана методика верификации спутниковых данных, которая основана на применении к рядам прямых и спутниковых измерений, регрессионного и корреляционного анализа и оценки их средней аномалии и функции расхождения [Eilola et al., 2009; Зимин, 2020].

В разделе 2.4 описана универсальная методика определения пространственного положения и количественных оценок поверхностных проявлений фронтальных зон на основе объединения разнородных спутниковых данных. На рисунке 1 представлена блок-схема разработанного алгоритма метода.

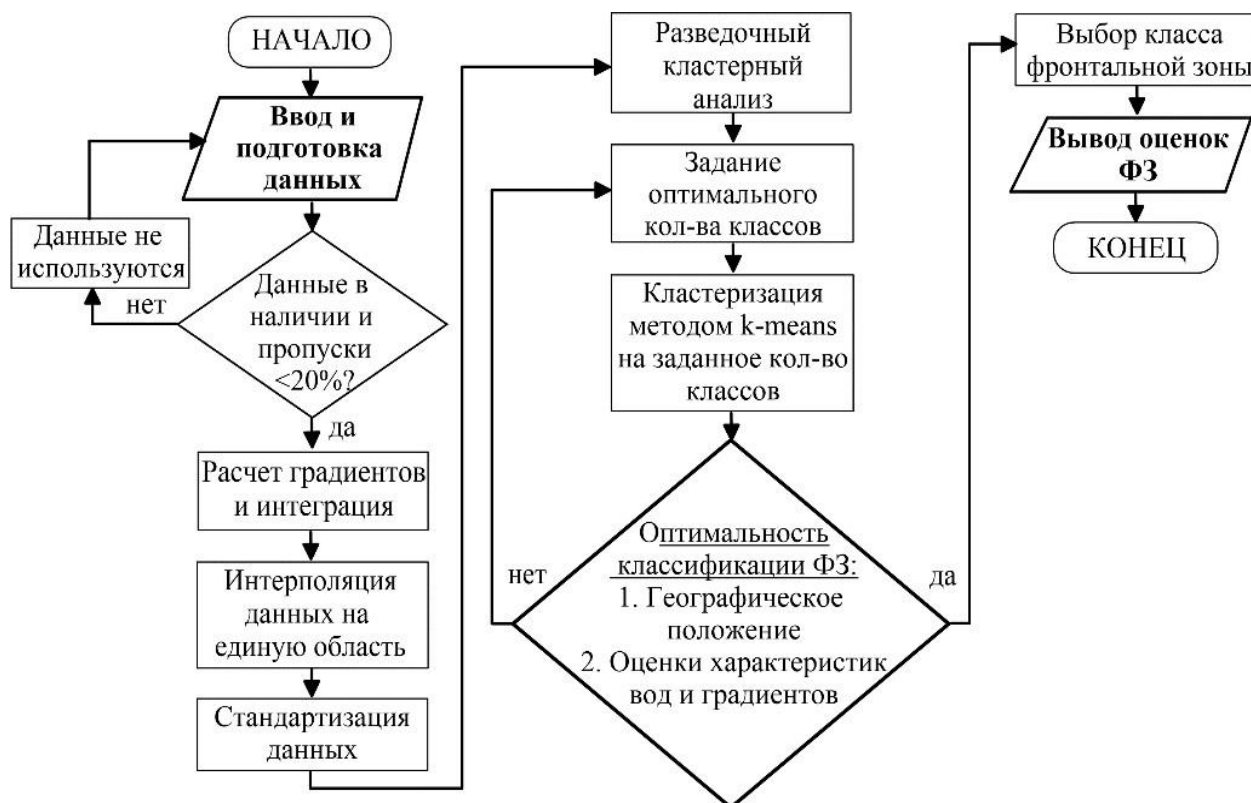


Рисунок 1. Схема разработанного алгоритма метода определения положения и количественных оценок поверхностных проявлений фронтальных зон на основе объединения разнородных спутниковых данных.

Ввод и подготовка данных. На первом этапе алгоритма метода выполнялась загрузка исходных данных выбранных характеристик — ТПМ, СПМ и т.д. *Контроль пропусков.* На втором этапе проводилась проверка наличия исходных данных для рассматриваемой области и выполнялся контроль пропусков в выбранных исходных данных. Если данные по полю отсутствовали или количество пропусков превышало 20%, то они не использовались — выполнялся переход к блоку «Ввод и подготовка данных». В обратном случае шел переход к блоку «Расчет градиентов и интеграция». *Расчет градиентов и интеграция.* На данном этапе в начале производился расчет горизонтального градиента рассматриваемых характеристик и выполнялась интеграция

исходных данных и их градиентов для создания матриц объединенных характеристик в зависимости от детектируемой области. *Интерполяция данных на единую область.* Следующим шагом являлось создание в программном обеспечении MathWorks © Matlab с помощью функции «griddata» двумерной области. Координаты границ областей определялись исходя из описанных ранее положений искомых фронтальных зон. Шаг созданной области выбирался исходя из максимального разрешения представленных в матрице характеристик. В данной работе шаг сетки составлял $1/4^\circ$. *Стандартизация данных.* Каждый параметр внутри объединенной матрицы был приведен к безразмерному виду — стандартизирован — путем деления каждой используемой в анализе характеристики на максимальное значение.

Разведочный кластерный анализ. Полученный массив интерполированных и стандартизированных данных использовался для разбиения данных на однородные устойчивые во времени и по местоположению группы. Для разведочного анализа использовался иерархический алгоритм кластеризации на основе метода Уорда с Евклидовой метрикой. С помощью дендрограмм, как геометрических интерпретаций расстояний между кластерами, за разные месяцы производилась предварительная оценка возможного количества классов, которые могли соответствовать различным типам вод. *Задание оптимального количества классов.* Из анализа дендрограмм, полученных на прошлом шаге реализации метода, выбиралось минимально возможное число классов, которое принималось за оптимальное. *Кластеризация методом k-means на заданное количество классов.* Для окончательной кластеризации по типам вод применялся интерактивный метод k-means. Количество классов, полученное с помощью метода Уорда, использовалось в качестве априорных ограничений для разбиения данных методом k-means. *Оптимальность выделения классов.* Данный шаг алгоритма метода предполагал анализ географической локализации выбранных классов и сопоставление с ранее опубликованными оценками характеристик вод и их градиентов с акцентом на класс, который может соответствовать фронтальной зоне. При невыполнении критериев оптимальности выполнялся переход к блоку «Задание оптимального количества классов» с увеличением количества классов.

Выбор класса фронтальной зоны. По результатам проведенной кластеризации выбирался класс, соответствующий исследуемой фронтальной зоне. Производился расчет характеристик фронтальной зоны по заданному полю. *Вывод оценок фронтальной зоны.* В конце алгоритма выполнялся вывод средних положений и характеристик искомой фронтальной зоны (ТПМ, СПМ, АДТ и т.д.), её градиентов и площади.

В разделе 2.5 представлены примеры применения универсальной методики

определения пространственного положения и количественных оценок поверхностных проявлений Стоковой (раздел 2.5.1), Полярной (раздел 2.5.2) и Арктической (раздел 2.5.3) фронтальных зон на основе объединения разнородных спутниковых данных. Показано, что разработанная методика позволяет получать физико-географические характеристики искомым фронтальных зон.

В разделе 2.5 описаны методы получения оценок связи фронтальных зон с процессами атмосферы и океана. Осредненные за месяц или сезон характеристики разномасштабных процессов сопоставлялись с параметрами фронтальных зон со сдвигом от 1 до 12 месяцев. Полученные коэффициенты проходили проверку значимости с помощью критерия Стьюдента. Для анализа вихревых структур в области фронтальных зон применялся композитный анализ карт их положений и определялась частота повторяемости вихрей в области фронтальных зон.

В главе 3 выполнен анализ физико-географических характеристик Стоковой фронтальной зоны в Карском море и получены оценки связи её параметров с атмосферными индексами ПК и СК, объемом речного стока Енисея и величиной площади и сплоченности ледяного покрова.

В разделе 3.1 представлены результаты валидации полей температуры и солёности. Показано, что спутниковые данные ТПМ и СПМ достоверно воспроизводят общие тенденции распределения характеристик вод. Значения средних и дисперсии данных температуры и солёности *in situ* и спутников Suomi NPP VIIRS и NASA SMAP схожи, у обоих характеристик наблюдается высокая корреляция ($>0,9$) и минимальное значение функции расхождения, которое близится к нулю.

В разделе 3.2 представлены результаты детектирования и описания поверхностных проявлений Стоковой фронтальной зоны.

Многолетние внутрисезонные положения СФЗ за период с 2002 по 2020 гг. представлены на рисунке 2. В июле СФЗ располагается в центральной части моря. Северная граница зоны располагается у арх. Новая Земля, а южные границы располагаются у полуостровов Ямал и Таймыр. В августе северная граница зоны смещается ближе к Сибирскому побережью. Сентябрь характеризуется полным смещением зоны СФЗ на восток. В октябре зона полностью располагается вдоль восточной части Сибирского побережья. Среднее многолетнее положение за теплый сезон, занимаемое СФЗ на акватории Карского моря, характеризуется её распространением от полуострова Ямал до северной оконечности арх. Новая Земля и постепенным смещением до 90° в.д. к Сибирскому побережью.

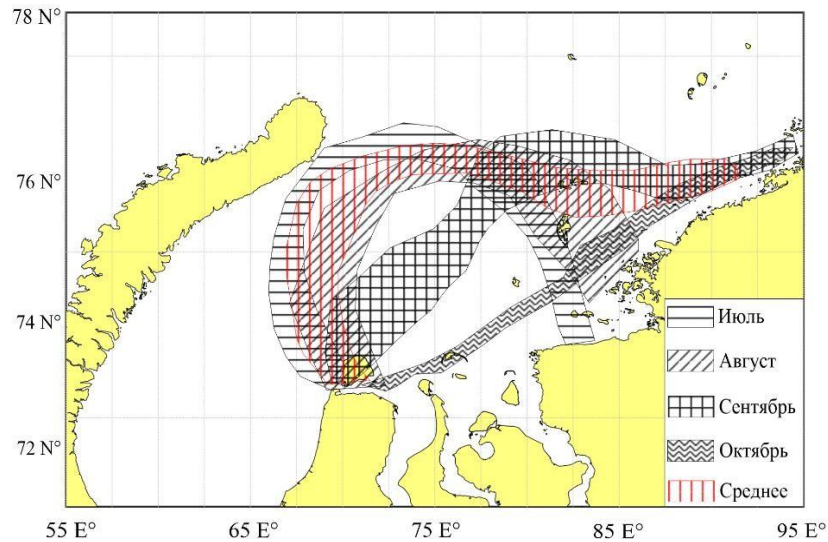


Рисунок 2. Средние многолетние и среднее за сезон положения СФЗ за период с 2002–2020 гг.

Многолетние внутрисезонные оценки СФЗ за период с 2002 по 2020 гг. представлены в таблице 1. Характеристики ТПМ за каждый месяц отражают общий годовой ход с максимумом в августе. Величина градиентов ТПМ и СПМ в течение теплого сезона стабильно высока, максимум градиентов регистрируется в июле. Минимальные значения АДТ наблюдаются в июле, а максимального значения достигают в октябре. Площадь поверхностной СФЗ за теплый сезон увеличивается, максимума достигает в сентябре и затем идет на спад.

Таблица 1. Средние многолетние и средние за весь период исследования количественные характеристики СФЗ: \bar{T} — ТПМ; $\Delta\bar{T}$ — градиент ТПМ; \bar{H} — АДТ; \bar{S} — СПМ; $\Delta\bar{S}$ — градиент СПМ; s — площадь СФЗ.

Месяц	\bar{T} , °C	$\Delta\bar{T}$, °C/км	\bar{H} , см	\bar{S} , ‰	$\Delta\bar{S}$, ‰/км	s , тыс.км ²
Июль	5,4	0,10	-0,8	18,6	0,14	130
Август	6,3	0,06	1,2	22,6	0,10	159
Сентябрь	4,3	0,08	5,9	25,7	0,10	175
Октябрь	2,8	0,08	9,3	31,4	0,06	157
Среднее за сезон	4,7	0,08	3,9	24,6	0,10	155

Межгодовая изменчивость количественных оценок ТПМ в СФЗ в период с 2002 по 2010 гг. соответствуют годовому ходу температур в Карском море: минимальные значения наблюдается осенью, а максимальные — летом. Однако в 2011-2020 гг. наблюдается положительный тренд поверхностной температуры в СФЗ. Многолетняя изменчивость градиента ТПМ показала, что максимумы чаще всего отмечаются в июле и сентябре, тогда как минимумы в августе и октябре. Во втором десятилетии XXI века отмечается ослабление интенсивности градиента ТПМ в среднем на 0,04 °C/км. Анализ данных СПМ показал, что

в июле наблюдаются солоноватые воды 17–19 ‰, а ближе к осени соленость постепенно возрастает до 27–30 ‰. Максимальная изменчивость градиентов СПМ отмечается в августе и сентябре. Частота положительных аномалий АДТ в теплый сезон с 2012 по 2020 гг. увеличивается. Межгодовая изменчивость площади СФЗ характеризуется её сокращением на 150 тыс. км² за второе десятилетие XXI века.

В разделе 3.3 представлены оценки связи характеристик СФЗ и процессов атмосферы и океана.

В разделе 3.3.1 представлены оценки связи индексов атмосферной циркуляции и параметров СФЗ. Показано наличие связи между зимними значениями индекса ПК ($r = 0,46$) и летними характеристиками поверхностной температуры СФЗ. Отмечаются значимые отрицательные статистические связи между зимним ($r = -0,46$), весенним ($r = -0,52$) индексом СК с летним значением ТПМ в СФЗ. Усиление процессов блокировки над Скандинавским полуостровом и увеличение повторяемости меридиональных Арктических циклонов сформировало значительный объем осадков в зимний и весенний период в районах водосбора рек Оби и Енисея. В результате, их величина количественно меняет объем более теплых речных вод, поступающих в Карское море, которые затем могут уменьшать или увеличивать поверхностную температуру в СФЗ. Значимые коэффициенты корреляции также отмечались между летним индексом СК ($r = 0,65$) и летней площадью СФЗ. Данная связь наблюдается при усилении зонального переноса, который влияет на региональную ветровую циркуляцию, определяющую распространение и площадь поверхностных вод СФЗ.

В разделе 3.3.2 представлены оценки связи речного стока Енисея, площади и сплоченности льдов и параметров СФЗ. Установлено, что объем речного стока Енисея имеет значимый коэффициент корреляции за июль ($r = 0,61$) и август ($r = 0,51$) со значениями площади СФЗ в сентябре. Большой объем речного стока в первые месяцы лета формирует значительную площадь ПОС, которая затем интенсивно перемешивается с морскими водами в сентябре, что отражается на росте площади СФЗ в последующие месяцы. Площадь и сплоченность льдов за октябрь предыдущего года коррелирует с июльскими значениями температуры ($r = -0,72$) и августовскими значениями градиента ТПМ ($r = 0,58$) в СФЗ. Такая связь возникает из-за того, что площадь образовавшихся в октябре льдов является индикатором объёма теплозапаса вод моря, колебания которого в следующий сезон влияют на уменьшение ТПМ в период образования фронтальной зоны, что, по мере прогрева поверхностного слоя, отражается на интенсификации градиента ТПМ в СФЗ.

В разделе 3.4 представлены оценки связи проявлений субмезомасштабных

вихревых структур и характеристик СФЗ. Показано, что ослабление градиентов ТПМ в СФЗ приводит к усилению интенсивности бароклинной неустойчивости в поверхностном слое, что сказывается на увеличении проявлений вихревых структур в области СФЗ.

В главе 4 выполнен анализ физико-географических характеристик Полярной фронтальной зоны в Баренцевом море и получены оценки связи её параметров с атмосферными индексами СК и потоком тепла, поступающим с Норвежского моря.

В разделе 4.1 представлены результаты детектирования и описания поверхностных проявлений Полярной фронтальной зоны.

Многолетние внутрисезонные положения ПФЗ за период с 2002 по 2020 гг. представлены на рисунке 3. В первые месяцы теплого сезона (май-июнь) ПФЗ располагается в области от 71° до 74° с.ш., характеризуясь «южным» типом, а в период с июля по сентябрь ПФЗ детектируется пределах от 74° до 77° с.ш., характеризуясь «северным» типом. Среднее многолетнее положение за теплый сезон, занимаемое ПФЗ на акватории Баренцева моря, характеризуется её распространением от арх. Шпицберген до о. Медвежий, затем вдоль 75° с.ш. до арх. Новая Земля.

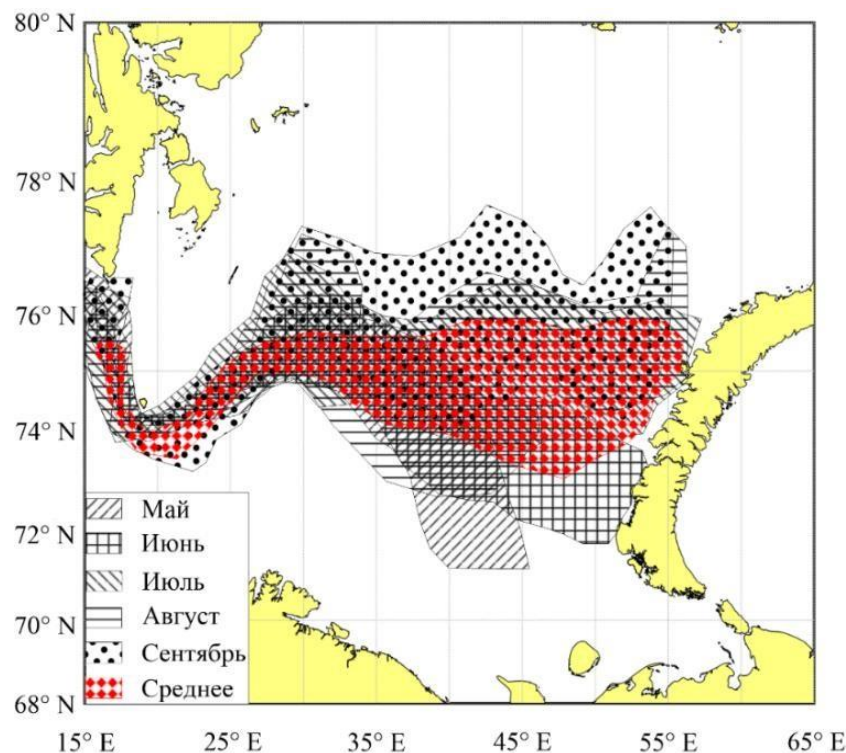


Рисунок 3. Средние многолетние и среднее за сезон положения ПФЗ за период с 2002–2020 гг.

Многолетние внутрисезонные оценки ПФЗ за период с 2002 по 2020 гг. представлены в таблице 2. Температура и соленость вод отражают общую тенденцию годового хода с максимумом в июле-августе. Градиенты ТПМ и СМП остаются стабильными в течение всего рассматриваемого периода. Площадь поверхностной ПФЗ в

течение теплого сезона увеличивается, причем резкий рост наблюдается в начале сезона.

Таблица 2. Средние многолетние и средние за весь период исследования (2002–2020 гг.) количественные характеристики ПФЗ: \bar{T} — ТПМ; $\Delta\bar{T}$ — градиент ТПМ; \bar{S} — СПМ; $\Delta\bar{S}$ — градиент СПМ; s — площадь ПФЗ.

Месяц	\bar{T} , °C	$\Delta\bar{T}$, °C/км	\bar{S} , ‰	$\Delta\bar{S}$, ‰/км	s , тыс. км ²
Май	2,61	0,05			245
Июнь	3,71	0,05	34,91	0,02	288
Июль	5,75	0,05	35,02	0,02	313
Август	6,74	0,04	34,97	0,02	331
Сентябрь	5,97	0,05	34,92	0,02	341
Среднее за сезон	5,0	0,05	34,95	0,02	303

Анализ межгодовой изменчивости ТПМ показал, что более низкие температуры отмечаются с 2003 по 2010 гг., а после 2010 г., наоборот, виден тренд на потепление, величина которого может достигать 0,5–1,0°C. В первом десятилетии градиент ТПМ в целом был выше, а после 2010 г. отмечается уменьшение его величины в среднем на 0,02 °C/км при общем потеплении в области ПФЗ. Межгодовая изменчивость СПМ и градиентов СПМ в области ПФЗ характеризуется максимумами в 2018 г. и минимумами в 2020 г. Значения площади ПФЗ имеют ярко-выраженную изменчивость по десятилетиям. В первой декаде XXI века, когда значения ТПМ были в среднем ниже, площадь ПФЗ занимала значительную часть Баренцева моря, однако после 2010 г., когда наблюдалось общее потепление, зона сузилась на 80–100 тыс. км².

В разделе 4.2 представлены оценки связи характеристик ПФЗ и процессов атмосферы и океана.

В разделе 4.2.1 представлены оценки связи индексов атмосферной циркуляции и параметров ПФЗ. Показано, что значимые отрицательные статистические связи наблюдаются между зимними индексами СК и ТПМ ($r = -0,42$), и положительные с градиентами ТПМ ($r = 0,47$) и площадью ПФЗ ($r = -0,44$). При положительных значениях индекса происходит увеличение антициклонической активности, которая усиливает энергообмен с атмосферой. В результате увеличения теплоотдачи от океана в атмосферу в зимний сезон усиливаются конвективные процессы в деятельном слое Норвежского моря. В дальнейшем эти воды транспортируются в Баренцево море и, будучи более холодными, заглубляются быстрее и формируют на поверхности меньшую по площади, но более выраженную по градиентам область ПФЗ.

В разделе 4.2.2 представлены оценки потока тепла и параметров ПФЗ. Показано наличие статистической связи между общим потоком тепла ($r = 0,65$) в июне и площадью фронтальной в июле. Таким образом, в отдельные летние месяцы увеличение поступающего потока тепла из Норвежского моря на восток в Баренцево море может

влиять на увеличение площади проявлений ПФЗ на поверхности.

В разделе 4.3 представлены оценки связи проявлений субмезомасштабных вихревых структур и характеристик ПФЗ. Показано, что максимальное вихреобразование, вероятно, связано с малыми значениями градиента ТПМ, который увеличивает вероятность развития бароклинной неустойчивости в ПФЗ.

В главе 5 выполнен анализ физико-географических характеристик Арктической фронтальной зоны и получены оценки связи её параметров с атмосферными индексами САК и величиной площади и сплоченности ледяного покрова.

В разделе 5.1 представлены результаты детектирования и описания поверхностных проявлений Арктической фронтальной зоны.

Анализ многолетней пространственной динамики АФЗ показал, что в августе фронтальная зона располагается в районах от 78° – 80° с.ш., находясь при этом южнее арх. ЗФИ. В сентябре АФЗ, разделяясь на две обособленные части, смещается в область 80° – 81° с.ш. Вероятно, основной вклад в изменчивость пространственного положения фронтальной зоны в данный период года вносит интенсивность солнечной радиации, которая воздействует на таяние и отход кромки ледяного покрова на север. Среднее многолетнее положение за теплый сезон, занимаемое АФЗ на акватории Баренцева и Карского морей, характеризуется её распространением вдоль 80° с.ш.

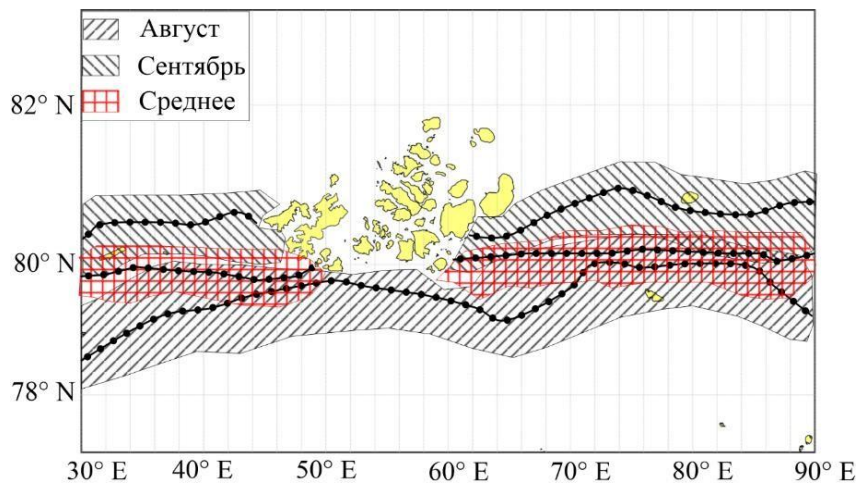


Рисунок 4. Средние многолетние и средние за август–сентябрь положения АФЗ за 2002–2020 гг. Черной линией указано положение кромки ледяного покрова.

Многолетние внутрисезонные оценки АФЗ за период с 2002 по 2020 гг. представлены в таблице 3. Многолетние оценки ТПМ за каждый месяц отражают ход с максимумом в августе и минимумом в сентябре. Величина температурного градиента в августе и сентябре остается неизменной. Максимум площади поверхностной АФЗ регистрируется в августе.

Таблица 3. Средние многолетние и средние за весь период исследования (2002–

2020 г.) количественные характеристики АФЗ: \bar{T} — ТПМ; $\Delta\bar{T}$ — градиент ТПМ s — площадь АФЗ.

Месяц	\bar{T} , °C	$\Delta\bar{T}$, °C/км	s , тыс. км ²
Август	1,2	0,06	364
Сентябрь	0,8		332
Среднее	1,0		348

Анализ межгодовых оценок показал, что во вторую декаду XXI века наблюдается положительный тренд поверхностной температуры, максимум которого отмечается в августе 2020 г. Величина градиента ТПМ в АФЗ за период с 2002 по 2020 гг. практически не меняется. Межгодовая изменчивость площади отличается незначительными колебаниями в первое десятилетие XXI века (амплитуда 30–40 тыс. км²), а в период с 2010 по 2020 гг. её диапазон возрастает в несколько раз (амплитуда более 330 тыс. км²). Такая изменчивость во втором десятилетии XXI века сказывается на положении АФЗ, которое смещается на 150 км на север в сторону СЛО.

В разделе 5.2 представлены оценки связи характеристик АФЗ и процессов атмосферы и океана.

В разделе 5.2.1 представлены оценки связи индексов атмосферной циркуляции и параметров АФЗ. Показано, что между зимними значениями индекса САК и текущими летними величинами ТПМ в АФЗ существует значимая статистическая связь ($r = 0,50$). Наблюдающаяся интенсификация зонального переноса с запада на восток в зимний сезон влияет на увеличение транспортировки вод из северной части Атлантического океана в СЛО. В результате, данный процесс влияет на температуру вод у кромки льдов в теплый сезон, что косвенно может увеличивать ТПМ в АФЗ.

В разделе 5.2.2 представлены оценки связи площади и сплоченности морского льда и параметров АФЗ. Показано, что сплоченность льдов в исследуемом регионе за октябрь прошлого года имеет значимый коэффициент корреляции с градиентом ТПМ в августе ($r = -0,44$) и площадью АФЗ в сентябре ($r = 0,47$). Кроме этого, площадь льдов в октябре прошлого года коррелирует с сентябрьскими значениями ТПМ в АФЗ ($r = 0,55$). Причина таких взаимосвязей кроется в величине теплозапаса вод, образовавшихся в высоких широтах в течение теплого сезона. В результате, в следующий летний сезон, по мере таяния льдов, величина объема освободившегося тепла может влиять на ослабление градиента в области фронтальной зоны в период ее формирования в августе, а затем в сентябре сказываться на повышении ТПМ и площади АФЗ.

В заключении представлены основные результаты исследования пространственно-временной изменчивости характеристик основных фронтальных зон (СФЗ, ПФЗ и АФЗ)

Баренцева и Карского морей за период с 2002 по 2020 гг. в условиях современного меняющегося климата. Сформированные представления показывают, что глобальные климатические изменения отражаются на характеристиках фронтальных зон: они смещаются в северном направлении, градиент ТПМ в них ослабевает, а площади сокращаются.

Основные результаты работы:

1. Установлено, что данные спутниковых радиометров Suomi NPP VIIRS и NASA SMAP с высокой достоверностью описывают термохалинные поля на поверхности морей Арктики, что позволяет их применять для выделения фронтальных зон.
2. Создана универсальная методика определения физико-географических характеристик фронтальных зон, основанная на применении кластерного анализа к интегрированным спутниковым данным и позволяющая детектировать их основные характеристики даже в отсутствии однородных градиентных зон. Отличительными чертами методики являются отсутствие требований к вычислительным ресурсам и простота её применения.
3. Получены среднегодовые и внутрисезонные количественные оценки характеристик гидрологических полей в области СФЗ. Средний многолетний градиент ТПМ в области фронтальной зоны составил $0,08 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$, СПМ — $0,1 \text{ } \text{‰}/\text{км}$, а площадь — 155 тыс. км^2 . Изменчивость межгодовых оценок градиента ТПМ в СФЗ составила от $0,03$ до $0,17 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$, градиента СПМ от $0,06$ до $0,19 \text{ } \text{‰}/\text{км}$, а площади от 50 до 340 тыс. км^2 . Отмечено, что во второй декаде XXI века наблюдается уменьшение градиента ТПМ в области СФЗ на $0,04 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$, сокращение площади зоны на 100 тыс. км^2 и её смещение на 70 км на север, в сторону арх. Новая Земля. Характеристики СФЗ преимущественно изменяются под влиянием величины объема стока реки Енисей и состояния атмосферы, связанного с развитием ситуаций, блокирующих западный перенос над Скандинавским полуостровом.
4. Получены среднегодовые и внутрисезонные количественные оценки характеристик гидрологических полей в области ПФЗ. Средний многолетний градиент ТПМ в области фронтальной зоны составил $0,05 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$, СПМ — $0,02 \text{ } \text{‰}/\text{км}$, а площадь — 303 тыс. км^2 . Изменчивость межгодовых оценок градиента ТПМ в ПФЗ составила от $0,02$ до $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$, градиента СПМ от $0,01$ до $0,03 \text{ } \text{‰}/\text{км}$, а площади от 90 до 300 тыс. км^2 . Установлено, что во втором десятилетии XXI века

наблюдается уменьшение градиента ТПМ в области ПФЗ на 0,04 °С/км, сокращение площади зоны на 150 тыс. км² и её смещение на 100 км на север к 77° с.ш. Ключевую роль в изменчивость характеристик поверхностных проявлений ПФЗ вносит величина адвекции тепла, поступающего из Норвежского в Баренцево море.

5. Получены среднемноголетние и внутрисезонные количественные оценки характеристик гидрологических полей в области АФЗ. Средний многолетний градиент ТПМ в области фронтальной зоны составил 0,06 °С/км, а площадь — 348 тыс. км². Межгодовая изменчивость температурного градиента составили от 0,04 °С/км до 0,09 °С/км, а площади АФЗ — от 159 до 489 тыс. км². Показано, что во второй декаде XXI века АФЗ сместилась на север на 150 км в область открытых вод СЛО. Площадь и сплочённость формирующегося ледяного покрова в северных районах Баренцева и Карского морей являются преобладающими факторами, под влиянием которых меняются характеристики АФЗ.
6. Установлено, что ослабление поверхностных градиентов ТПМ, связанное с интенсификацией бароклинной неустойчивости, приводит к увеличению количества проявлений вихревых структур в области СФЗ и ПФЗ.

Публикации по теме диссертации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 28 научных работах, из них 7 опубликованы в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus и включённых в перечень ВАК:

1. Свергун, Е.И. Изменчивость фронтальных разделов и короткопериодные внутренние волны в Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых наблюдений за тёплый период 2007 года / Е.И. Свергун, А.В. Зимин, О.А. Атаджанова, **А.А. Коник**, Е.В. Зубкова, И.Е. Козлов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 181–188. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-4-181-188>. — Scopus.
2. Атаджанова, О.А. Субмезомасштабные вихревые структуры и фронтальная динамика в Баренцевом море / О.А. Атаджанова., А.В. Зимин, Е.И. Свергун, **А.А. Коник** // Морской гидрофизический журнал. – 2018. – Т. 34. – № 3 (201). – С. 237–246. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2018-3-237-246> — Scopus.
3. Зимин, А.В. Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря (ТПМ) в районе фронтальных зон Баренцева моря / А.В. Зимин, **А.А. Коник**, О.А. Атаджанова // Ученые записки Российского государственного

- гидрометеорологического университета. – 2018. – № 51. – С. 99–108. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35630100> (дата обращения 15.10.2022).
4. **Коник, А.А.** Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Карского моря / А.А. Коник, А.В. Зимин, О.А. Атаджанова // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2019. – Т. 12. – № 1. – С. 54–61. <https://doi.org/10.7868/S2073667319010076> — Scopus.
 5. **Коник, А.А.** Спутниковые наблюдения вихрей и фронтальных зон Баренцева моря в годы с различной ледовитостью / А.А. Коник, И.Е. Козлов, А.В. Зимин, О.А. Атаджанова // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2020. – Т. 17. – № 5. – С. 191–201. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-5-191-201> — Scopus.
 6. **Коник, А.А.** Оценки изменчивости характеристик Стоковой фронтальной зоны Карского моря на основе комплексирования данных спутникового дистанционного зондирования / А.А. Коник, А.В. Зимин, О.А. Атаджанова., А.П. Педченко // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2021. – Т.18. – №.2. – С. 241–250. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-2-241-250> — Scopus.
 7. **Konik, A.A.** Spatial and temporal variability of the polar frontal zone characteristics in the Barents sea in the first two decades of the XXI century / A.A. Konik, A.V. Zimin, I.E. Kozlov // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2021. – Vol. 14, iss. 4. – P. 39–51. <https://doi.org/10.7868/S2073667321040043> — Scopus.

Список материалов в изданиях, индексируемых РИНЦ:

1. Атаджанова, О.А. Поверхностные проявления фронтов и малых вихрей в Баренцевом и Карском морях в теплый период года / О.А. Атаджанова., А.В. Зимин, Д.А. Романенков, **А.А. Коник**, Е.И. Свергун, К.А. Мартын, И.Е. Козлов // В сборнике тезисов докладов II Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» 10–14 апреля 2017 года. – Москва: ИО РАН. – С. 31–33. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30062755> (дата обращения 15.10.2022).
2. Свергун, Е.И. Малые вихри и фронтальные зоны в Баренцевом и Карском морях за безледный период 2007 и 2011 годов / Е.И. Свергун, А.В. Зимин, **А.А. Коник**, О.А. Атаджанова // В сборнике тезисов докладов XV Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из

- космоса" 13–17 ноября 2017 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 291. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863573> (дата обращения 15.10.2022).
3. Свергун, Е.И. Внутренние волны и фронтальные зоны в Баренцевом и Карском морях по спутниковым данным, полученным за безлёдный период 2007 года // Е.И. Свергун, А.В. Зимин, **А.А. Коник**, О.А. Атаджанова., Е.В. Зубкова., И.Е. Козлов // В сборнике тезисов докладов XV Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" 13–17 ноября 2017 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 290. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863572> (дата обращения 15.10.2022).
 4. **Коник, А.А.** Количественные оценки изменчивости основных фронтальных зон Баренцева моря в 2007 и 2011 годах по данным температуры поверхности моря / А.А. Коник, О.А. Атаджанова, А.В. Зимин // В сборнике тезисов докладов XV Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" 13–17 ноября 2017 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 262. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863544> (дата обращения 15.10.2022).
 5. **Коник, А.А.** Изменчивость характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Карского моря за 2007 и 2011 года / А.А. Коник, О.А. Атаджанова, А.В. Зимин // В сборнике тезисов докладов XV Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" 13–17 ноября 2017 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 261. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863543> (дата обращения 15.10.2022).
 6. Атаджанова, О. А. Межгодовая и внутрисезонная изменчивость характеристик малых вихрей в Баренцевом и Карском морях по спутниковым данным / О.А. Атаджанова, А.В. Зимин, Д.А. Романенков, **А.А. Коник**, Е.И. Свергун, И.Е. Козлов // В сборнике тезисов докладов XV Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" 13–17 ноября 2017 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 234. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863516> (дата обращения 15.10.2022).
 7. **Коник, А.А.** Фронтальные зоны Баренцева и Карского морей / А.А. Коник, О.А. Атаджанова, А.В. Зимин // Процессы в геосредах. – № 3(17). – 2018. – С. 239–240. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36443713> (дата обращения 15.10.2022).
 8. Зимин, А.В. Субмезомасштабные процессы и явления в приливных арктических морях (Белом, Баренцевом и Карском) / А.В. Зимин, Д.А. Романенков, О.А. Атаджанова, Е.И. Свергун, **А.А. Коник** // В сборнике трудов международного симпозиума, посвященного 90-летию члена–корреспондента АН СССР, проф.

- К.Н. Федорова «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере МСП–2018» 30 октября–2 декабря 2018 года. – Москва: ИО РАН, 2018. – С. 147–150. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36440680> (дата обращения 15.10.2022).
9. **Коник, А.А.** Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Карского моря / А.А. Коник, А.В. Зимин // В сборнике тезисов докладов IV Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» 22–26 апреля 2019 года. – Севастополь: МГИ. – С. 81–82. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37464370> (дата обращения 15.10.2022).
 10. **Konik, A.A.** Assessment of the variability of the frontal zones of the Kara sea in a changing climate / A.A. Konik, A.V. Zimin, A.P. Pedchenko // В сборнике тезисов международной научной конференции «Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic» 2–4 марта 2020 года. – СПб: ААНИИ. – С. 257–258. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43804698> (дата обращения 15.10.2022).
 11. **Коник, А.А.** Проявления вихревых структур в районах фронтальных зон в Баренцевом море в летний период / А.А. Коник, И.Е. Козлов // В сборнике тезисов докладов V Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» 18–22 мая 2020 года. – Калининград: АО ИО РАН. – С. 88–89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43087184> (дата обращения 15.10.2022).
 12. **Коник, А.А.** Оценки изменчивости температуры и уровня поверхности в районе фронтальных зон Баренцева моря в год с минимальным и максимальным ледовым покровом / А.А. Коник, О.А. Атаджанова., А.В. Зимин // В сборнике тезисов докладов V Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» 18–22 мая 2020 года. – Калининград: АО ИО РАН. – С. 86–87. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43087183> (дата обращения 15.10.2022).
 13. **Коник, А.А.** Особенности распространение поверхностного опресненного слоя и связанной с ним стоковой фронтальной зоны в Карском море по спутниковым данным / А.А. Коник, А.В. Зимин // В сборнике тезисов докладов XVIII Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" 16–20 ноября 2020 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 215. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44794110> (дата обращения 15.10.2022).

14. **Коник, А.А.** Внутригодовая изменчивость характеристик полярной фронтальной зоны в Баренцевом море по данным температуры поверхности и уровня моря / А.А. Коник, А.В. Зимин // В сборнике тезисов докладов XVIII Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" 16–20 ноября 2020 года. – Москва: ИКИ РАН. – С. 214. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44794104> (дата обращения 15.10.2022).
15. **Коник, А.А.** Фронтальная и вихревая динамика Карского моря в теплый сезон 2018 года по данным спутниковых наблюдений / А.А. Коник, И.Е. Козлов // Комплексные исследования Мирового океана : Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, Москва, 18–24 апреля 2021 года. – Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 2021. – С. 89–90. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46522902> (дата обращения 15.10.2022).
16. **Konik, A.A.** Variability of the frontal and eddies dynamics of the Kara Sea in the summer period / A.A. Konik, A.V. Zimin // Международная конференция «EGU General Assembly 2021». 19–30 апреля 2021 года. [Электронный ресурс] – EGU21–5844. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-5844>. (дата обращения 15.10.2022).
17. **Коник, А.А.** Многолетняя изменчивость полярной фронтальной зоны в Баренцевом море / А.А. Коник, А.В. Зимин // Комплексные исследования Мирового океана: Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, Москва, 18–24 апреля 2021 года. – Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 2021. – С. 91–92. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46522903> (дата обращения 15.10.2022).
18. **Коник, А.А.** Изменчивость полярной фронтальной зоны в Баренцевом море и ее связь с атмосферными осцилляциями в XXI веке / А.А. Коник, А.В. Зимин // Моря России: Год науки и технологий в РФ - Десятилетие наук об океане ООН : Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 20–24 октября 2021 года. – Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Морской гидрофизический институт РАН", 2021. – С. 120-121. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47309016> (дата обращения 15.10.2022).
19. **Коник, А.А.** Динамика поверхностных фронтальных зон в Баренцевом и Карском морях в условиях меняющегося климата по разнородным данным спутникового дистанционного зондирования / А.А. Коник, А.В. Зимин // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного

- зондирования Земли из космоса», Москва, 15–19 ноября 2021 года / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2021. – С. 239. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47429184> (дата обращения 15.10.2022).
20. **Konik, A.A.** Seasonal and long-term variability of the characteristics surface frontal zones of the Barents and Kara seas / A.A. Konik, A.V. Zimin // Международная конференция «EGU General Assembly 2021». 23–27 мая 2022 года. [Электронный ресурс] – EGU22–60. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-60>. (дата обращения 15.10.2022).
21. **Коник, А.А.** Многолетняя фронтальная и вихревая динамика Баренцева и Карского морей / А.А. Коник, А.В. Зимин // Моря России: Вызовы отечественной науки: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 26–30 сентября 2022 года. – Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Морской гидрофизический институт РАН", 2022. – С. 92–93. URL: http://conf.mhi-ras.ru/archive/2022/morya_rossii-2022_tezisy.pdf (дата обращения 15.10.2022).