

3

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр  
(ТИНРО-Центр)



003054203

----

*На правах рукописи*

**Никитин Александр Афанасьевич**

**ТЕРМИЧЕСКИЕ ФРОНТЫ И ВИХРИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ.**

**Специальность 25.00.28 – океанология**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук**

**Владивосток 2007**

Работа выполнена в Тихоокеанском научно-исследовательском рыбохозяйственном центре (ТИНРО-Центр)

Научный руководитель

Кандидат географических наук, Г И Юрасов

Официальные оппоненты.

д. г. н , проф В В Плотников

к ф -м н В.Г Яричин

Ведущая организация: Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ДВНИГМИ)

Защита диссертации состоится 2 марта 2007 г в 16 00 часов на заседании специализированного совета Д.005 017 02 в Тихоокеанском океанологическом институте им. В И. Ильичева ДВО РАН по адресу. 690041, г Владивосток, ул. Балтийская, 43

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тихоокеанского океанологического института им. В И Ильичева ДВО РАН

Автореферат разослан

«25» января 2007 г

Ученый секретарь

Диссертационного совета

к г н



Храпченков Ф Ф

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Несмотря на значительное количество публикаций, в которых приводится описание различных фронтальных зон Мирового океана и их параметризация, явно недостает работ, посвященных детальным исследованиям изменчивости фронтов и вихрей в сезонном и многолетнем плане с использованием спутниковой информации. Особенно заметен этот недостаток в районах интенсивного рыболовства, каким, в частности, является Японское море. До настоящего времени не проведена систематическая классификация фронтальных зон Японского моря, отсутствуют работы, посвященные описанию структуры различных фронтальных зон, не изучен вопрос об их устойчивости.

Значительная меридиональная протяженность Японского моря через две климатические зоны, а также адвекция субтропических вод из Восточно-Китайского моря через Корейский пролив и их взаимодействие с субарктическими водами собственно Японского моря, приводят к формированию здесь динамически активных зон - фронтальных разделов и вихрей, как известно являющихся областями интенсивного вертикального обмена и, как следствием этого, районами повышенной биологической активности.

Японское море особенно интересно тем, что на сравнительно небольшой его акватории сосуществуют фронтальные разделы различной природы, изменчивость которых определяется сложным взаимодействием разнообразных факторов. Предшествующие исследования фронтов и вихрей, основанные на данных контактных измерений, носили фрагментарный характер в связи с ограниченностью объемов судовых наблюдений отдельных экспедиций. В то же время, обширные объемы многолетних контактных измерений позволили существенно углубить знания о гидрологии исследуемого района.

В течение последних 10-15 лет исследования фронтов и вихрей в Японском море развивались особенно активно в связи с широким применением в океанологии дистанционных методов с искусственных спутников Земли (ИСЗ) и высокочувствительных судовых измерительных приборов. В результате этих исследований было установлено, что фронты и вихри встречаются здесь в широком спектре пространственно-временных масштабов и являются важным элементом структуры и динамики вод как глубоководных, так и прибрежных районов. Рациональное использование природных ресурсов прибрежных зон и увеличивающееся антропогенное воздействие в этих областях также требуют углубленного изучения фронтов и вихрей.

Исходя из вышеизложенного, задача исследования фронтов и вихрей в Японском море является актуальной как с позиций практического использования в освоении биологических ресурсов бассейна, так и в исследованиях фундаментальных вопросов структуры и динамики вод.

Отмеченные выше проблемы и новые возможности их решения определили основную **цель диссертационной работы**: исследовать особенности термической структуры вод и пространственно-временной изменчивости фронтов и вихрей Японского моря. Определить возможности диагностирования и прогнозирования термических условий на основе спутниковой информации для решения рыбохозяйственных проблем.

Для реализации поставленной цели в работе решались **следующие задачи**:

- систематизировать спутниковую информацию и, с привлечением судовых океанографических данных, выделить характеристики поверхностных термических фронтов в Японском море,
- изучить характерные особенности вихревых образований и оценить их роль в циркуляции и перераспределении тепла;
- провести типизацию термической структуры вод на основе спутниковой информации и выявить годовую и межгодовую изменчивость
- исследовать пространственно-временную изменчивость фронтов и вихрей,
- в режиме мониторинга проанализировать связь термических фронтов и вихрей с распределением некоторых видов nekтона в отдельных районах Японского моря

Поставленные задачи решаются на основе существенно дополненных и систематизированных массивов данных по Японскому морю, а именно:

- созданного автором в ТИПРО-Центре архива спутниковых данных (ТВ-, ИК-изображений, многоспектральной информации и т.д.), полученных в различное время из основных источников, в том числе из ДВ РЦПОД (г. Хабаровск), ИАПУ ДВО РАН (г. Владивосток), ДВНИГМИ (г. Владивосток), г. Южно-Сахалинска (УГ КМС) и г. Петропавловск-Камчатский (УГ КМС),
- сформированной базы данных стандартных СТД-зондирований (ТИПРО-Центр, ТОИ ДВО РАН, ДВНИГМИ), а также базы данных стандартных батометрических наблюдений (ТИПРО-Центр и др. организаций).

Анализ и обобщение этих материалов дало возможность получить новые представления о характеристиках, пространственной и временной изменчивости фронтов и вихрей, как в глубоководных, так и в прибрежных районах Японского моря, что в свою очередь будет способствовать успешности освоения ресурсного потенциала вод моря

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА** результатов сводится к следующему:

- существующие методы обработки данных ИСЗ адаптированы для Японского моря;
- предложена и проведена новая классификация фронтальных зон в Японском море;
- впервые, на основе совместных спутниковых и судовых данных, получены новые, значительно более полные характеристики структуры и изменчивости фронтов в

прибрежной и глубоководной частях Японского моря; показан физический механизм поступления теплых вод к берегам Приморья,

- получены новые данные о годовой и многолетней изменчивости фронтов и вихрей;
- сделаны оценки скорости и величин горизонтальных перемещений фронтальных и вихревых образований,
- выполнена типизация лет на «холодные» и «теплые» по характеру термической структуры определяемой положением Субарктического фронта (САФ) в западной части моря,
- изучены мезомасштабные вихри и их роль в водообмене и перераспределении тепла в водах Японского моря;
- выявлена приуроченность скоплений промысла дальневосточной сардины и тихоокеанского кальмара к отдельным участкам фронтальных и вихревых зон

**ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДОВ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ:**

- применением современных методов обработки и анализа данных,
- совместным анализом дистанционных и контактных измерений

Использование космической информации, получаемой на регулярной основе в период с 1975 по 2005 гг., позволило сформировать в ТИНРО-Центре обширный архив данных по термическим условиям исследуемого района. В настоящее время спутниковый мониторинг занимает прочные позиции как инструмент исследования температуры поверхности морей. Спутниковые изображения служат не только для интерпретации гидрологических наблюдений, но и для наведения на объект исследования (фронт, вихрь и т.д.) или конкретного гидробионта. Полученные выводы, не противоречат результатам и выводам других авторов, сделанных на основе анализа традиционных видов информации, а дополняют и детализируют их.

**НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:**

- обобщенная схема термических фронтов Японского моря;
- классификация термических фронтов Японского моря, характеристики их интенсивности, пространственной и временной изменчивости по данным дешифрирования спутниковых снимков за 1977-2003 гг.;
- межгодовая и внутригодовая изменчивость элементов термической структуры вод и разделение лет по ее типам на «холодные» и «теплые»,
- районы формирования вихревых образований в Японском море. Количественные характеристики вихрей (горизонтальные размеры, орбитальная и поступательная скорости, время существования, элементы вертикальной структуры);

- методика мониторинга биологических объектов промысла с использованием спутниковых данных по термическим неоднородностям.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ:**

Полученные результаты непосредственно использовались при выполнении исследовательских работ в ТИНРО-Центре и нашли свое приложение на промысле в Японском море и при организации поисковых работ Тихоокеанского Управления Рыбпромышленной Разведки и Научно-исследовательского флота (ТУРНИФ), а также при решении оперативных задач оценки и прогноза промысловых условий. Материалы проведенных исследований используются при планировании экспериментов по изучению фронтальных структур в Японском море и сопредельных морях, при изучении и моделировании биологических процессов во фронтальных зонах, а также в природоохранных мероприятиях.

### **АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.**

Результаты исследований, представленные в настоящей работе, докладывались: в г. Калининграде на Всесоюзном совещании по проблемам краткосрочного прогнозирования и управления флотом на промысле; на Всесоюзной конференции «Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы» (Зеленоград, 1989г.), на семинаре по спутниковой гидрофизике (Севастополь, 1989), конференции по заповедным делам (Владивосток, 1997), на конференции по изучению глобальных изменений на Дальнем Востоке (Владивосток, 1999, 2004), на семинаре «Визуализация в исследованиях биоресурсов Мирового океана» (Владивосток, 2004), на IX Всероссийской конференции по проблемам рыбного промысла прогнозирования (г. Мурманск, 2004), на 31 Международном симпозиуме по дистанционному зондированию (г. Санкт-Петербург, 2004), на XIII Международной конференции по промысловой океанологии (Светлогорск - Калининград, 2005), на третьей Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 2005)

Отдельные положения диссертации представлялись на экологическом семинаре ИБМ (Институт Биологии моря ДВО РАН), а также на международных конференциях CREAMS (1996, 1997, 1999, 2000), на конференции «The 4th Pacific Ocean Remote Sensing Conference» (Qingdao, China, 1998), на конференции “Coastal and marginal sea” (UNESCO Headquarters Paris, France, 1998), PICES (2001, 2002, 2003 и 2005).

Личный вклад соискателя выражается в планировании научных исследований, составлении программ и научно-технических заданий, сборе и создании архива спутниковых данных, а также обработке и теоретическом обобщении полученных результатов и их

использовании при разработке в ТИПРО-Центре путинных, сезонных и годовых фоновых прогнозов

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, дан краткий обзор содержания диссертации.

**В первой главе** дан обзор современного состояния изученности океанических фронтов и вихрей в Японском море, на основе которого показана настоятельная необходимость новых исследований, выполняемых в настоящей работе. История изучения фронтов и вихрей показывает, что предыдущие исследования, основанные на данных отдельных морских экспедиций или на ограниченных спутниковых измерениях, осредненных за фиксированный период, носили фрагментарный характер, акцентируя внимание на исследовании либо одного отдельного объекта, либо отдельного района Японского моря,

**Во второй главе** характеризуются используемые данные и методы их анализа. В качестве исходной информации в диссертации анализировались спутниковые инфракрасные (ИК-) и телевизионные (ТВ-) изображения Японского моря за 1976-2003 гг. Это более 1000 карт фронтологического анализа, построенных путем дешифрирования спутниковых изображений

Использованная методика обработки спутниковых снимков изложена в работе (Рекомендации ..., 1984) и основана на визуальном дешифрировании ИК, ТВ - изображений, совместном анализе спутниковых и судовых данных и на синоптическом анализе результатов дешифрирования, методика которого базируется на известных физических закономерностях собственного теплового и отраженного морской поверхностью солнечного излучения и особенностях его регистрации на соответствующих изображениях.

Результаты дешифрирования снимков могут быть представлены в виде карт термических фронтов, где различными линиями обозначены фронты с разными контрастами (градиентами) температуры воды, либо в виде карт изотерм на поверхности моря, проведенных в соответствие с очертаниями теплых и холодных областей на ИК снимках. Последние дают наиболее полную информацию о термическом поле поверхностного слоя океана

Процедура обработки заключается в последовательном выполнении следующих этапов

- дешифрирование спутниковых изображений и построение карт фронтологического анализа по каждому снимку,

- систематизация дешифрированных снимков по годам и месяцам,

- построение средних месячных карт положения фронтов и вихрей,

- построение средних сезонных карт для каждого года,

- построение средних годовых карт за весь период наблюдений,

- определение среднего многолетнего положения каждого из выделенных фронтов за весь период наблюдений и построение обобщенной схемы,

Полученные в результате применения этой методики карты позволяют исследовать динамику фронтов во всех заданных временных масштабах

Прежде всего, совмещение всех дешифрированных карт на одну позволяет оценить пространственный масштаб колебаний фронтов (фронтальные зоны), а также построить обобщенную схему фронтов

Анализ динамики выделенных фронтов проводится на среднемноголетнем фоне в связи с небольшой насыщенностью данными спутниковых наблюдений на отдельных временных интервалах (день, месяц, сезон). Вместе с тем анализ месячной, сезонной и годовой изменчивости на среднемноголетнем уровне позволяет оценить ее на перечисленных временных интервалах

Методически построение средних многолетних полей на различных временных масштабах состоит в следующем

Каждая из построенных карт фронтологического анализа с выделенными термическими фронтами наносится на координатную сетку. Линии выделенных фронтов разбиваются на отдельные участки точками пересечения их с координатной сеткой и эти координаты фиксируются. Среднее арифметическое координат точек отдельных фронтов за определенные временные интервалы (месяц, сезон, год, весь период) позволяют построить обобщенную схему и исследовать динамику отдельных фронтов соответствующих масштабах изменчивости

Анализ вихревых образований по спутниковым данным производится следующим образом

- в процессе дешифрирования снимков вихрями считались термические кольцевые или дугообразные образования, иногда с хорошо выраженной спиралевидной структурой

Отслеживались все вихри с диаметром более 20 км. Для этого все Японское море разделялось на мелкие квадраты размером  $0,5 \times 0,5^\circ$  по широте и долготе. Общее количество

квадратов составляло 345. Для каждого полуградусного квадрата рассчитывалось число обнаруженных вихрей (центров вихрей) и количество проанализированных карт в определенном месяце в течение 1988-1996 гг. Повторяемость вихрей в море подсчитывалась как за все время наблюдений с 1988-1996 г., так и для каждого года и сезона в отдельности. Повторяемость вихрей в данном квадрате в определенный сезон рассчитывалась по формуле:

$R = X/Y \times 100\%$  для каждого квадрата, где

$R$  - Повторяемость вихрей в одном квадрате

$X$  - количество вихрей, наблюдаемых в одном том же квадрате за сезон

$Y$  – общее количество наблюдений (карт)

**Третья глава.** Используемая методика визуализации позволяет (на основании всех спутниковых данных) построить обобщенную схему фронтов Японского моря, на которой представлены как постоянно регистрируемые, так и существующие значительные периоды времени фронты, выделяемые в зонах, где градиенты температуры превышают  $0,03$  °/км (Park et al., 2004). Как следует из рисунка 1, в пределах акватории моря существует система основного Субарктического фронта (САФ) с его 2-мя западными ветвями: Северо-Западной (СЗ) и Юго-Западной (ЮЗ) и с 2-мя северными ветвями Северо-Восточной (СВ) и Северной Центральной (СЦ). Точки бифуркации Субарктического фронта находятся на западе -  $40,5^\circ$  с ш,  $134,5^\circ$  в д, а на востоке в координатах  $41^\circ$  с ш,  $139^\circ$  в д. Географически, САФ ориентирован в центральной и западной части моря преимущественно по широте, а в восточной – по долготе. Система фронтов САФ разделяет море на два сектора: теплый – субтропический и холодный – субарктический. Следует отметить, что наиболее заметно это разделение отмечается в центральной части моря, между точками бифуркации, а вне этой области САФ разделяется на две ветви, что связано с особенностями циркуляции вод в этих районах. Так, существование межфронтальной зоны между Северо-Западным и Юго-Западным фронтами связано с квазиустойчивыми теплыми крупномасштабными вихрями у восточного побережья Кореи (Park et al., 2004). Две ветви САФ в северной части моря ассоциируются с ветвлением здесь теплого Цусимского течения (Onishi and Ohtani, 1997). Остальные фронты, выделенные на обобщенной схеме, связаны с системой течений Японского моря. Разветвление Цусимского течения в южной части моря обуславливает формирование системы трех отдельных фронтов (ФЦТ): Южный первый (Ю-1), расположенный примерно вдоль  $36^\circ 20'$  с. ш, Южный второй (Ю-2) – северо-восточней п-ва Нота, и на фронт 2-й ветви Цусимского течения (2ЦТ), находящейся между  $36^\circ 30' - 40^\circ$  с ш,  $132 - 135^\circ$  в д в районе поднятия Ямато. Холодные течения Шренка и Приморское определяют положение прибрежного Приморского фронта (ПФ). Фронт в Татарском проливе (ТФ) отмечался в предыдущих схемах (Глаголева и др., 1957) и связан с северной границей

распространения вод Цусимского течения. Сахалинский фронт (СФ), обязан своим происхождением Западно-Сахалинскому течению (Юрасов и Яричин, 1991); Северо-Корейский фронт (СКФ) – связан с холодным Северо-Корейским течением, а Западный фронт (ЗФ) – обусловлен вихрем, образующимся в Восточно-Корейском заливе.

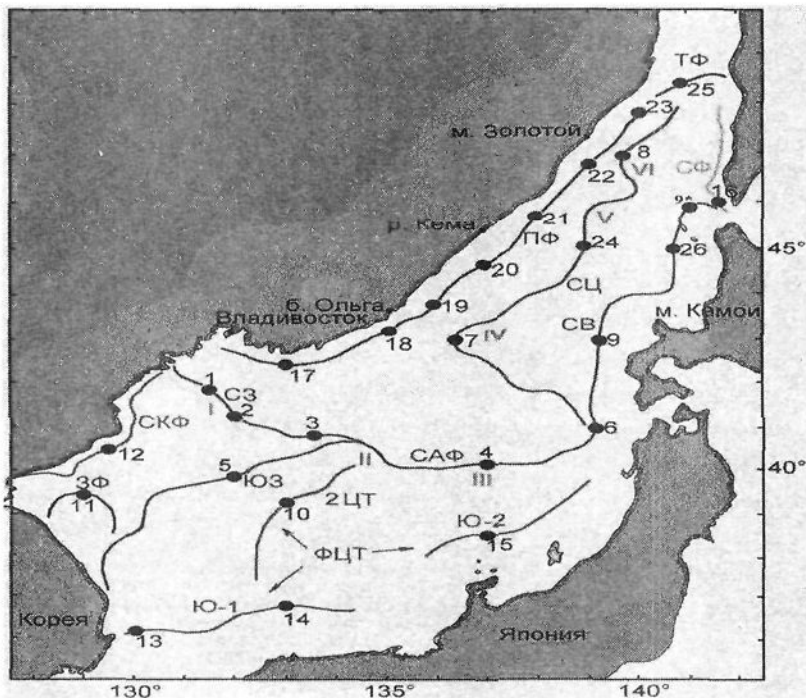


Рис. 1 Обобщенная схема поверхностных термических фронтов в Японском море.

Обозначения: САФ – Субарктический фронт; СЗ – Северо-Западная ветвь САФ; ЮЗ – Юго-Западная ветвь САФ; ЗФ – Западный фронт; СЦ – Северная Центральная ветвь САФ; СВ – Северо-Восточная ветвь САФ; ФЦТ – фронты Цусимского течения (Ю-1 – Южный фронт-1, Ю-2 – Южный фронт-2, 2ЦТ – фронт 2 ветви Цусимского течения); ПФ – Приморский фронт; СФ – Сахалинский фронт; ТФ – фронт Татарского пролива; СКФ – Северо-Корейский фронт; I, II, III, IV, V, VI – меандры САФ;

● - 1-26 – реперные точки, характеризующие динамику фронтов;

— - линия фронта.

Следует отметить, что предложенная обобщенная схема фронтов не противоречит и, вместе с тем, дополняет предложенную ранее (Belkin, Cornillon, 2003; Park et al., 2004).

Вместе с тем, наша методика обработки спутниковых данных позволяет проследить внутри- и межгодовую изменчивость положения фронтов

### Внутригодовая изменчивость термических фронтов

Пространственная изменчивость фронтов анализировалась по перемещению реперных точек 1-26 (рис. 1)

*Субарктический фронт (САФ)* В соответствии с обобщающими работами по термике Японского моря сезоны определены следующим образом зима – декабрь-февраль; весна – март-май; лето – июнь-август; осень – сентябрь-ноябрь. Используя средние месячные положения фронтов, как исходные и проведя их объединение и осреднение по сезонам, получим средне-сезонные схемы положения фронтов. Расположение поверхностных фронтов существенно изменяется в течение года. Можно отметить перемещение СЗ и ЮЗ фронтов на север в весенне-летний период и на юг в осенне-зимний. Можно предположить, что такое движение САФ отражает смену муссонных ветров и изменение водообмена через Корейский пролив. Сдвиг колебания фронта от сезона к сезону может достигать 110-148 км. Наибольшие сезонные отклонения СЗ фронта приходятся, в основном, на зиму и лето и составляют 56-110 км. В северной части отмечается значительное меридиональное смещение СЦ фронта, особенно между 43° и 45° с. ш. Здесь сдвиги фронта от сезона к сезону могут достигать 74-92 км.

Из рисунка 2 видно, что почти все фронты системы САФ испытывают значительные

(до 2° по широте) сдвиги своего положения, причем максимально северное их положение приурочено

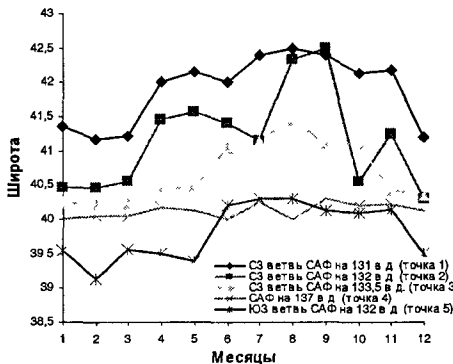


Рис. 2 Внутригодовая изменчивость положения САФ в западной (точка 1, 2, 5), центральной (точка 3) и восточной (точка 4) частях Японского моря в 1976-2002 гг.

к июлю-сентябрю (максимальный прогрев), а максимально южное – к декабрю-марту (максимальное охлаждение). Изменчивость

максимальной величины наблюдается на Северо-Западном фронте (точка 2), где с сентября по октябрь происходит скачкообразное смещение фронта на юг сразу на два градуса по широте, т.е. октябрь в точке 2 выпадает из общей тенденции. С апреля по июль наблюдается закономерное смещение всех фронтов западного сектора моря на север, что можно связать с

началом летнего прогресса. Выявлено подобие характера изменчивости СЗ фронта и ЮЗ фронта. Ширина межфронтальной зоны максимальна в апреле-мае и августе-сентябре, когда она может достигать 222 км, а минимальна в декабре и марте – (110-148 км). Это связано с отклонением СЗ фронта к северу, в то время когда ЮЗ фронт почти не меняет своего положения и только, начиная с мая, начинает свое движение к северу. Таким образом, СЗ фронт раньше, чем ЮЗ, реагирует на усиливающуюся адвекцию вод с юга. Эффект запаздывания может достигать 1-1,5 месяца.

В северной части моря СЦ фронт занимает наиболее западное положение в июле-августе и в меньшей степени в апреле (рис 3)

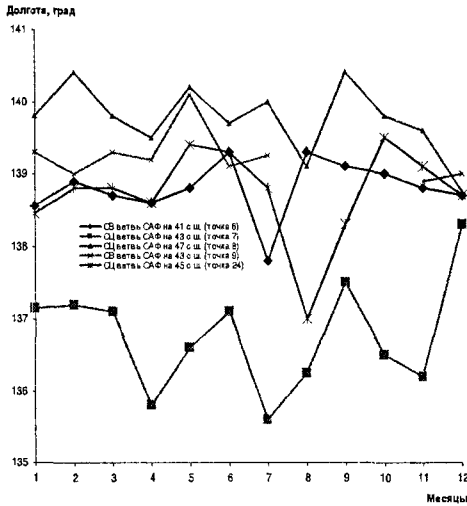


Рис 3 Внутригодовая изменчивость положения САФ в северной части Японского моря (точки 6, 7, 8, 9, 24) в 1977-1997 гг.

Возможно, отклонения СЦ фронта в сторону материка в апреле и июле-августе, связаны с усилением влияния западного отрога тихоокеанского максимума атмосферного давления на Японское море. В эти же месяцы (апрель и июль) ширина межфронтальной зоны (расстояние между точками 7 и 9)

максимальна и может достигать 240-278 км. Минимальная ширина межфронтальной зоны в декабре и составляет всего 56 км.

Анализ внутригодовых колебаний САФ в северо-западной и северной частях Японского моря позволил выделить циклы с периодом близким к 2-3 и 7-9 месяцам. Из них наиболее существенную роль играют колебания с периодом 2-3 месяца.

**Фронты Цусимского течения.** Фронт Ю-1 занимает наиболее северное положение в апреле и августе-сентябре, а Ю-2 – в апреле, июне и октябре. В апреле наблюдается синхронное смещение обоих фронтов к северу. Отметим, что в юго-западной части моря фронт начинает двигаться на север раньше, чем фронт, располагающийся восточнее, однако в августе-сентябре он вновь отходит на юг, при этом фронт в восточной части (Ю-2) продолжает двигаться на север вплоть до октября и только с ноября начинается движение в обратном порядке.

*Западный (ЗФ) и Северо-Корейский (СКФ) фронты* Северо-Корейский фронт занимает экстремально близкое положение к побережью в мае, а удаленное – в декабре. На Западном фронте экстремальное северное смещение фронта отмечается в апреле и в сентябре-октябре, а южное в январе и в июне-июле.

*Приморский фронт (ПФ).* В июле и августе Приморский фронт очень близко подходит к побережью Приморья и это характерно для всего побережья. Практически в эти же сроки наблюдается максимальное смещение СЦ ветви САФ в сторону материка.

*Сахалинский фронт (СФ)* В августе-сентябре Сахалинский фронт наиболее отдален от берега, но в течение последующих месяцев он резко начинает приближаться к побережью, занимая в январе наиболее близкое к берегу положение. С апреля по июль фронт занимает стабильное северное положение.

Наибольшие градиенты температуры воды на Субарктическом фронте отмечаются зимой и осенью между  $134^{\circ}30'$ - $139^{\circ}$  в. д. На СЗ фронте увеличение градиентов температуры воды наблюдалось только осенью, а на ЮЗ – зимой и весной. И, тем не менее, наибольшие величины градиентов связаны с ЮЗ фронтом. Обострение Северного Центрального фронта происходит весной, летом и осенью. Обострение Приморского фронта отмечается летом и осенью. Северо-Корейский фронт наиболее ярко проявлялся весной и в период прогрева поверхности моря.

#### **Межгодовая изменчивость термических фронтов**

*Субарктический фронт* Анализ межгодовой изменчивости географического положения фронтов проводится на основе среднегодового осреднения. Графики изменчивости положения фронтов западного и центрального участков САФ по соответствующим реперным точкам, представлены на рис. 4. Анализ межгодовой динамики СЗ фронта (точки 1 и 2) показал, что в 1980-91 гг. он занимал южное положение, а в 1978, 1979 и 1992-2002 годы – северное (Никитин, 2006).

Термодинамические особенности динамики фронтов хорошо согласуются с атмосферными процессами, происходящими над дальневосточными морями (Шатилина, Никитин, Муктепавел, 2002). И с этого же времени усилилось движение СЗ ветви в северном направлении.

Так, отмеченная положительная тенденция смещения СЗ и ЮЗ фронтов на север с начала 90-х годов до 2002 г., связана с усилением юго-западного переноса воздушных масс, что подтверждается ходом аномалий геопотенциала H500 (Шатилина, Никитин, Муктепавел, 2002). Спутниковые данные за 2002-2006 гг. показывают, что эта тенденция сохраняется и в настоящее время, что говорит о продолжающемся потеплении.

Минимальная ширина межфронтальной зоны между СЗ и ЮЗ фронтами на 132 меридиане наблюдалась в 1981, 1985, 1988 и 1992 и 2000 годы, а максимальная - в 1978, 1979, 1982, 1984, 1986, 1987, 1993, 1996 и 1999 годы

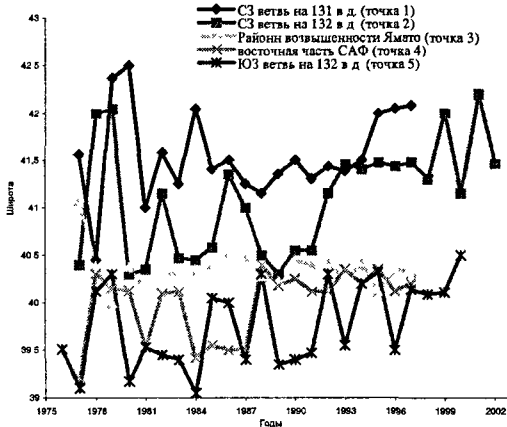


Рис. 4 Межгодовая изменчивость Субарктического фронта в западной, центральной и восточной частях Японского моря в 1976- 2002 гг.

Как следует из рис. 5, экстремально западное положение СЦ фронт на  $43^{\circ}$  с ш (точка 7) занимал в 1979 и 1981 годы, а восточное – в 1984. Здесь можно отметить тенденцию движения СЦ

фронта на запад, к берегам Приморья, начиная с 1985 г. На  $45^{\circ}$  с. ш (точка 24) СЦ фронт занимал экстремально восточное положение в 1980, 1987, 1991 и 1995 гг., а экстремально западное – в 1982. Отметим, что на  $45^{\circ}$  с. ш. СЦ фронт смещался на восток на протяжении 1977-1995 гг., а с 1996 года - на запад. На  $47^{\circ}$  с. ш. (точка 8) СЦ фронт занимал экстремально восточное положение в 1987, западное – в 1981-1983 и 1995 годах, с тенденцией движения СЦ фронта в сторону материка в 1988-1997 гг.

Таким образом, положение СЦ фронта отразилось и на положении Приморского фронта, особенно на участках, прилегающих к среднему Приморью ( $43^{\circ}$  с. ш) и м Золотой, где ПФ очень близко подходил к побережью Приморья, и, в тоже время, на  $45^{\circ}$  с. ш. ПФ отходил от материка

Отметим, что наиболее стабильное положение САФ занимал в точках 3 и 6 (рис 4, 5)

В 80-е годы наблюдалось сужение межфронтальной зоны на всех участках западной и северной части Японского моря. Наблюдались крупные отрицательные отклонения её ширины от нормы. Положительные отклонения межфронтальной зоны от среднего положения отмечались на  $132^{\circ}$  в д в 1982, 1984, 1986 и 1987 гг., а на  $45^{\circ}$  с. ш. - в 1981, 1992. В 1977-1980 и 1993-1999 гг межфронтальная зона расширялась. На  $132^{\circ}$  в. д. и  $43^{\circ}$  с. ш. наблюдались синхронные изменения их ширины. В то же время, севернее  $45^{\circ}$  с ш синхронизация нарушалась.

*Фронты Цусимского течения (ФЦТ).* В течение исследуемого периода прослеживалось тенденция сдвига Южного фронта –1 (точка 14) на север, а фронта Ю-2 (точка 15) – на юг. Таким образом, интенсивная адвекция теплых вод Цусимским течением наблюдалась в области ее второй ветви и ослабление – в юго-восточной. При этом в юго-западной части (точка 13) положение фронта оставалась без изменения

*Западный (ЗФ) и Северо-Корейский (СКФ) фронты* Положение и мощность Западного фронта (ЗФ) определяется интенсивностью Восточно-Корейского и Северо-Корейского течений

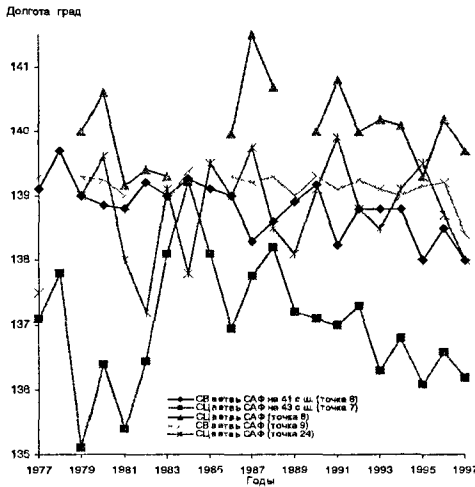


Рис. 5 Межгодовая изменчивость положения Субарктического фронта к северу от 40° с. ш. с 1977-1997 гг

Отмечается значительная межгодовая изменчивость Западного фронта (ЗФ), которая зависит от положения и интенсивности синоптического вихря (Park et al, 2004) в Восточно-Корейском заливе. В настоящее время информации по СК фронту недостаточно для определенных

суждений о его природе и местоположении. Вместе с тем, можно отметить значительную его межгодовую изменчивость СК фронт располагался ближе всего к побережью в 1982, а наиболее удален от берега был в 1987 и 1994 гг

*Фронт Приморского течения (ПФ)* Отметим, что с середины 80-х до 90-х годов характерно удаленное от берега (восточное) положение Приморского фронта, а с 90-х годов фронт располагался гораздо ближе к побережью С 1990 по 2000 гг. прослеживалась общая тенденция движения фронта в сторону материка, особенно на участках вблизи среднего Приморья Это хорошо согласуется с адвекцией субтропических вод из восточной части Японского моря в район среднего Приморья и прослеживается по динамике СЦ ветви, имеющей тенденцию движения в сторону материка.

*Сахалинский фронт (СФ)* Несмотря на то, что информация о положении СФ (точка 16) по некоторым годам отсутствует, можно отметить, что СФ занимал наиболее удаленное

положение от побережья в 1990 и 1994 гг., а наиболее приближался к побережью в 1988, 1993 и 1996

Рассмотрена динамика СЗ фронта на 132 меридиане в течение года по многолетним данным. Оказалось, что в феврале СЗ фронт в течение 1989-2001 гг. располагался северней среднегогодового положения, что указывало на увеличение в эти годы адвекции субтропических вод в северо-западную часть моря. В апреле эта тенденция сохранялась и, начиная с 1987 по 2002 г., также прослеживалось движение САФ на север, что вполне согласовывалось с состоянием центров действия атмосферы (азиатской, дальневосточной депрессий и гавайского антициклона). В мае общее движение СЗ фронта на север отмечалось с 1992 г. В сентябре такая тенденция обнаруживалась с 1989 по 1999 г. В настоящее время данная тенденция также сохраняется. Можно отметить продление летнего гидрологического сезона в течение последних 10-15 лет. Произошел значительный сдвиг термического режима в сторону потепления.

В целом, спутниковая информация адекватно отражает основные элементы гидрологической структуры и позволяет получить информацию о пространственно-временной изменчивости и структуре фронтальных зон. Анализ спутниковых изображений, имеющихся в нашем распоряжении, показывает, что выделенные основные элементы гидрологической структуры достаточно устойчиво проявляются во все сезоны. В связи с тем, что САФ представляет обширную зону в Японском море, его влияние на все локальные фронты значительно и определяется его местоположением и мощностью.

**В четвертой главе** исследуются вихри различного масштаба, их формирование, эволюция, скорости и траектории движения, трансформация, взаимодействие друг с другом и разрушение.

Оценки повторяемости антициклонических вихрей показывают, что распределение вихревых структур в Японском море сильно подвержено сезонной изменчивости. Зимой вихри формируются чаще к западу от 135° в. д. и южнее 42° с. ш (рис. 6а). В весенний период отмечается наибольший ареал распространения антициклонических вихрей. Осенью приуроченность вихревых структур относится к прибрежной части Японского моря. Летом вихревые структуры чаще всего отмечаются в его юго-восточной части (рис. 6б). В связи с вышеизложенным можно предположить, что главной причиной быстрого смещения Субарктического фронта является вихреобразование вдоль фронта и движение вихрей вдоль течений, так как практически во всей межфронтальной зоне наблюдаются антициклонические и циклонические вихри.

Таким образом, вихреобразование может являться главной причиной кратковременных смещений Субарктического фронта в целом и в отдельных его частях.

По результатам анализа и интерпретации спутниковых материалов и литературным источникам нами составлена обобщенная схема районов формирования вихревых

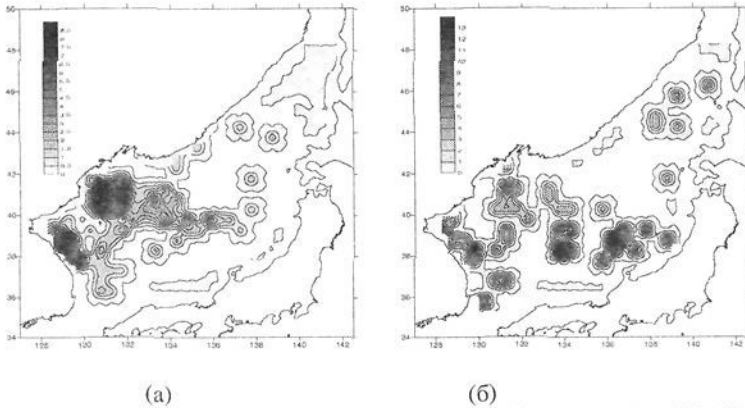


Рис. 6 Повторяемость вихрей на спутниковых картах зимой (а) и летом (б) в 1988-1996 гг. от общего количества карт, (%).

образований (рис. 7) на фоне основных течений моря. Вихревые образования достаточно хорошо вписываются в циркуляционную систему Японского моря. Однако наша схема несколько отличается от стандартной схемы течений В.И. Яричина (1980) (рис. 7, вставка) наличием циклонических и антициклонических вихрей которые усложняют циркуляцию вод Японского моря.

Нами выделено шесть районов формирования антициклонических вихрей, которые достаточно хорошо согласуются с данными зарубежных исследователей (Isoda, Saiton, 1993; Isoda, 1994). Из всего многообразия как наиболее устойчивых определено семь квазистационарных антициклонических вихрей, из которых вихри К1 и К2 расположены в первом районе, вихри В и G – во втором, вихрь Y2 находится в третьем районе, в зоне влияния возвышенности Ямато, вихрь N формируется северней п-ова Ното и располагается в четвертом районе, а вихрь L находится в шестом районе западной о-ва Хоккайдо.

Остальные антициклонические вихри, как видно из предыдущего рисунка, подвержены сильно сезонной и синоптической изменчивости. Между этими районами прослеживаются 12 циклонических вихрей. На ИК-изображениях их очертания размыты, а проявляются они на снимках в виде светлых пятен (холодных областей). Циклонических вихрей в Японском море наблюдается меньше, чем антициклонических, и динамически они более слабы.

Первый район, где формируются антициклонические вихри (K1, K2 и K3) расположен вдоль восточного побережья Корейского п-ова (район Корейского плато и Цусимской котловины). Второй район формирования антициклонических вихрей (A, B, C, D, I, G, R и O) приурочен к 131 меридиану, а третий, где формируются вихри (Y1, Y2, E, F и P) – к 134. Четвертый район (вихри N и M) расположен к северу от п-ва Ното. Пятый район (вихри H, V и Z) расположен в зоне среднего Приморья над глубинами 2000-3000 м. Шестой район формирования вихрей (вихри L, S и T) расположен в северной части моря к северу от 43° с. ш. между 138-140° в. д.

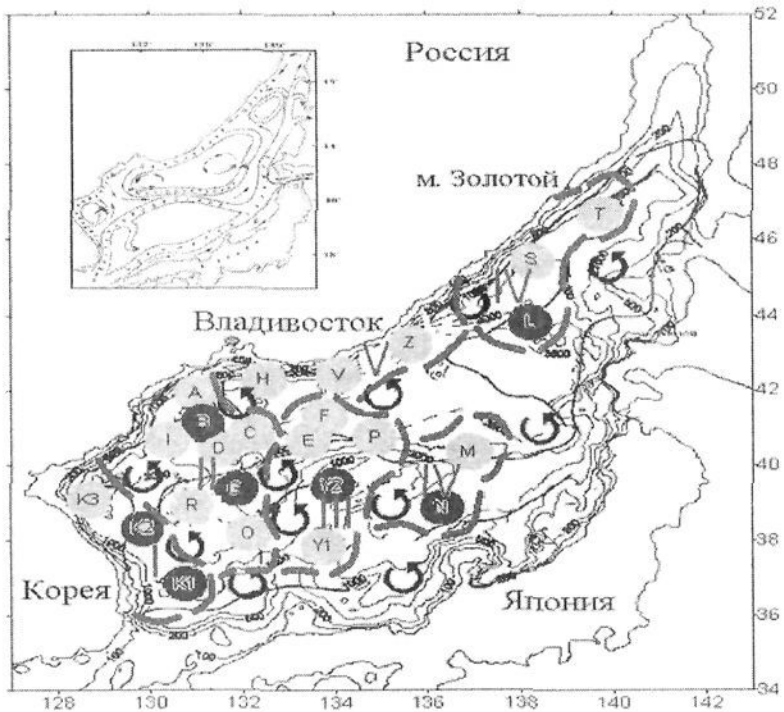


Рис. 7 Положение мезомасштабных антициклонических и циклонических вихрей и районы их формирования в Японском море по спутниковым данным в 1988-1996 гг.

**Обозначения:** ● – антициклонические вихри; — — — — — положение поверхностных термических фронтов; ○ – циклонические вихри; I-VI – районы формирования антициклонических вихрей

В северо-западной части моря вихри неравномерно перемещаются со скоростью от 0,5 см/с до 3 см/с по сложным траекториям. Вихри, расположенные к северу от Субарктического фронта, двигаются в восточном, юго-восточном, северо-восточном направлениях, а вихри, расположенные в зоне влияния Приморского течения медленно движутся на юг, юго-запад вдоль свала глубин. В северной части моря вихри практически не перемещаются или медленно (0,9 см/с) двигаются на север, северо-запад.

Рассматривая процесс взаимодействия вихрей можно отметить, что схема струйных вторжений и спиралевидных структур в условиях плотной "упаковки" вихрей характерна для «теплых» лет, а для «холодных» – она менее выражена. Именно системы вихревых дорожек обеспечивают быструю адвекцию теплых вод в район залива Петра Великого. Показано, что формирование термических структур в Японском море отличается в теплые и холодные годы, что видно по схеме струйных вторжений.

В осенний период при максимальном притоке субтропических вод в северную часть Японского моря в Татарском проливе может отмечаться кратковременное образование вихревой цепочки состоящей из 4-5 мелких вихрей.

Термическая структура вод фронтальной зоны в весенний период имеет преимущественно вихревой характер, что способствует интенсивному перемешиванию вод и перераспределению тепла и соли на участках, прилегающих к фронтальной зоне, и формированию продуктивных зон.

В пятой главе предлагается типизация термической структуры. Особенности временной изменчивости положения фронтов дают возможность для северо-западной части Японского моря, представляющей наибольший интерес для России, провести разделение (типизацию) гидрологических условий структуры по типам «холодных» и «теплых» лет. Типизация основана на взаимном положении СЗ и ЮЗ ветвей САФ. Естественно, что северное положение фронтов, характеризует приток вод с юга и год, когда это происходит, может быть отнесен к типу «теплый». Отсутствие СЗ фронта и более южное положение ЮЗ фронта характеризует «холодный» тип года. Между этими экстремальными типами года выделены промежуточные по параметрам межфронтальной зоны, между СЗ и ЮЗ фронтами. Таким образом, было выделено три типа термических условий вод Японского моря: холодный тип (Х) – с развитым Приморским течением, теплый тип (Т) – с развитым Восточно-Корейским течением и третий тип – промежуточный (Пр), когда и воды Приморского течения и воды Восточно-Корейского течения проникают примерно до 40° с. ш. Схема положения основных фронтов при этих типах показана на рис. 8.

Внутри основных типов выделено два подтипа: холодный подтип (Ха), когда при сильной адвекции холодного Приморского течения на юг вдоль берегов южного Приморья и

Кореи может формироваться теплая область, и теплый подтип (Тa), когда при значительном развитии Восточно-Корейского течения и, в результате, значительной адвекции тепла на север, вдоль берегов Кореи отмечается узкая, относительно холодная зона.

В результате исследования, автору удалось систематизировать спутниковые данные и предложить свою версию типизации термической структуры вод Японского моря и на этом фоне рассмотреть основные черты межгодовой и сезонной изменчивости ее северо-западной части с учетом положения фронтальной зоны. Полученные результаты были сведены в общую таблицу 1. В целом, период 1979-1980 и 1989-2001 гг. следует отнести к «теплому» типу. Для этих лет отмечается сложный механизм трансфронтального обмена, преобладавший в 1990-е годы, когда во фронтальной зоне наблюдалось повышенное вихреобразование. В эти годы САФ располагается севернее среднеголетнего положения.

Годы с 1981 по 1988 относятся к «холодному» типу, и для этих лет характерно южное положение САФ с одновременным формированием вихрей меньшего масштаба. В период похолодания ширина межфронтальной зоны уменьшается, а в период потепления увеличивается. Так, например, в холодные 1986-1988 гг. ширина межфронтальной зоны составляла 30-50 миль, а в теплые 1990-е г. увеличивалась до 120 миль.

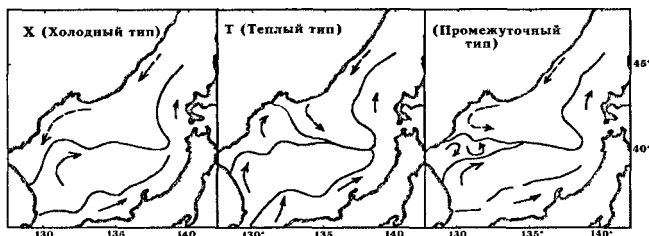


Рис. 8 Основные типы термических фронтов в Японском море.

Особенно хорошо типы выявляются в зимний и весенний периоды. При преобладании радиационного прогрева и прогрева поверхностных вод в летний и осенний периоды термические контрасты уменьшаются, и выделение типов затруднено, хотя в некоторых случаях типы выделяются вполне уверенно. Условия, относящиеся к определенному типу лет, сохраняются в течение одного - двух сезонов, а в отдельные годы в течение нескольких сезонов или даже в течение всего года. Например, в 1980 г. «теплый» тип прослеживался в течение одного - двух сезонов, а «холодный» тип (подтип Ха) в 1982 г. прослеживался в течение всего года.

Характер течений южной и северной частей Японского моря значительно различается, следовательно, термические условия северной части значительно отличаются от таковых в южной

Наблюдаемые особенности в северной части моря, включая Татарский пролив, позволили нам выделить три типа термических условий: I тип (I) – с развитым Цусимским течением, II тип (II) – с развитым Приморским течением, и третий тип – промежуточный (III), когда вдоль западного и восточного побережья пролива формируется холодная область. При первом типе в Татарском проливе можно предположить антициклонический тип циркуляции, при втором циклонический, а при третьем промежуточный тип. Условно можно считать, что при первом типе в районе, прилегающем к северо-западной части Татарского пролива, складываются условия по типу “теплых” лет, при втором – “холодных” лет, а при третьем – промежуточных. Мы говорим “условно”, поскольку выделенные типы свидетельствуют лишь о преобладании адвекции либо субтропических вод к северу, либо субарктических к югу.

Таблица 1

**Типизация термических структур в Японском море по спутниковой информации**

<b>N</b>	<b>Сезоны</b>	<b>Тип структуры</b>	<b>Годы</b>
1	Зима	X Ха Т Та Пр	1981, 1983, 1984, 1986, 1988; 1982, 1987; 1985, 1990, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999; 1979, 1980, 1989, 1994, 2000, 2001; 1991;
2	Весна	X Ха Т Та Пр	1977, 1981, 1983, 1985, 1987, 1988; 1982, 1990, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999; 1979, 1980, 1984, 1986, 1989, 1992, 1993, 1994, 2000; 1978, 1991;
3	Лето	X Ха Т Та Пр	1986, 1985, 1987; 1982, 1983, 1980, 1988, 1981, 1984, 1989, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000; 1990, 1991;
4	Осень	X Ха Т Та Пр	1985; 1982, 1983, 1984, 1987, 2000, 1988, 1989, 1990, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999; 1979, 1991, 1993; 1980, 1981, 1986, 1992;

Первый тип циркуляции наиболее часто повторяется в осенний период, второй тип – зимой, весной и летом, а третий летом и осенью. Влияние сезонной изменчивости на структуру фронтов и вихрей в Татарском проливе обусловлена воздействием непосредственно солнечной радиации и атмосферы. Существенна роль муссонного

характера атмосферной циркуляции, которая приводит к значительным изменениям в горизонтальной циркуляции течений и связанным с нею годовым ходом гидрологических элементов, в результате чего термические условия определенного типа сохраняются в течение одного-двух сезонов, как это отмечалось, например, в 1982 и 1984 годах.

**В шестой главе** исследуется влияние фронтов и вихрей на промысловую ситуацию в отдельных районах экономической зоны России в Японском море, что определяет практическую значимость работ по спутниковой океанологии. Именно спутниковая информация позволяет вести непрерывный мониторинг за термическими условиями, определяющими характер миграций гидробионтов, а также прогнозировать эти условия с месячной заблаговременностью.

Мониторинг термических условий вод Японского моря дистанционными методами позволяет отслеживать перемещение пелагических видов, в частности дальневосточной сардины и тихоокеанского кальмара в экономической зоне России. Выявлена приуроченность скоплений морских животных к Северо-Западному фронту, который формируется как огибающая системы синоптических вихрей. Прослежена зависимость миграций сардины и тихоокеанского кальмара от мезомасштабных вихревых структур.

Полученные результаты о структуре и изменчивости фронтальных зон, течений и вихрей Японского моря с использованием спутниковой информации могут быть применены для изучения и мониторинга условий обитания и миграций других объектов промысла. Например, значительный интерес проявлен к работам, связанным с обнаружением "красных приливов", вызванных ночесветкой (Yakovlev S et al., 2000), в исследовании миграционных путей лососей в российской экономической зоне Японского моря (Семенченко и др., 1997), а также японского анчоуса (Василенко, Шершенков, 1997). В последние годы начаты исследования динамики состояния полей ламинарии в прибрежье Приморья. На основе анализа многолетних данных значений температуры воды, измеренной на прибрежных ГМС, биологических данных ламинарии и спутниковой информации о состоянии фронтов Приморского течения, получены представления о закономерностях формирования «урожайных» и «неурожайных» годов для ламинарии (Крупнова, 2002; Krupnova et al., 2002; Крупнова, 2004; Никитин А А и др., 2004).

В заключении изложены основные выводы и результаты исследования.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

1 В результате выполненных исследований проведена классификация фронтов в пределах всего Японского моря. Схема поверхностных термических фронтов отличается от традиционных представлений. Выделенные основные элементы гидрологической структуры

в Японском море достаточно устойчиво проявляются во все сезоны. На его акватории выделена система основного Субарктического фронта (САФ) с его 2-мя западными ветвями: - Северо-Западной (СЗ) и Юго-Западной (ЮЗ) и 2-мя северными – Северо-Восточной (СВ) и Северной Центральной (СЦ) Точки бифуркации Субарктического фронта находятся на западе –  $40,5^{\circ}$  с. ш.,  $134,5^{\circ}$  в. д., а на востоке в координатах  $41^{\circ}$  с. ш.,  $139^{\circ}$  в. д. Наиболее заметно разделение моря САФ на теплый и холодный сектора отмечается в центральной части моря, между точками бифуркации, а уже за каждой из этих точек САФ разделяется на две ветви, что связано с особенностями циркуляции в этом районе Географически САФ ориентирован в центральной и западной части моря преимущественно по широте, а в северной по долготе. В зоне Цусимского течения выделены три фронта. В прибрежных районах выделяются фронты Приморского, Западно-Сахалинского, Северо-Корейского течений

2. Субарктический фронт и его ветви начинают обнаруживаются на ИК-снимках во все сезоны Он наиболее отчетливо проявляется в конце зимы, когда четко прослеживается и его двухфронтальность. Весной основные признаки двухфронтальности Субарктического фронта сохраняются, но постепенно к началу лета ослабевают. Летом в зоне нахождения САФ на поверхности заметны лишь некоторые характерные его признаки, в то время как на глубинах ниже сезонного термоклина фронт по данным судовых наблюдений выражен отчетливо. Осенью фронты обнаруживаются отчетливо. Наибольшие градиенты температуры на Северо-Западной ветви Субарктического фронта отмечаются в ноябре, на Юго-Западной ветви – в феврале, марте и мае

3. Выделено шесть районов формирования антициклонических вихрей Показано, что вихри в северо-западной части моря неравномерно перемещаются со скоростью до  $4$  см/с по сложным траекториям Вихри, расположенные к северу от Субарктического фронта, движутся в восточном, юго-восточном, северо-восточном направлениях, а вихри, расположенные в зоне влияния Приморского течения, медленно движутся на юг, юго-запад вдоль свала глубин. В северной части моря вихри практически не перемещаются или медленно ( $0,9$  см/с) движутся на север, северо-запад

4 Предложенная схема струйных вторжений и спиралевидных структур в условиях плотной "упаковки" вихрей характерна для теплых лет, а для холодных лет она менее выражена. Именно такие системы вихревых дорожек обеспечивают быструю адвекцию теплых вод в район залива Петра Великого. Показано, что процессы формирования термических структур в Японском море отличаются в теплые и холодные годы, что видно по схеме струйных вторжений.

5. Для северо-западной части моря по взаимному положению Северо-Западного и Юго-Западного фронтов выполнена типизация гидрологических условий на «холодные» и «теплые», определяющих в этом районе рыбопромысловую обстановку. Выделены три типа и два подтипа термической структуры вод Японского моря. Название типов свидетельствует лишь о преобладании адвекции либо субтропических вод на север, либо субарктических на юг. Термические условия, относящиеся к определенному типу лет, могут сохраняться в течение одного-двух сезонов, а в отдельные годы в течение нескольких сезонов или даже всего года

6. Выявлена приуроченность скоплений дальневосточной сардины и тихоокеанского кальмара к Северо-Западной, Северной Центральной ветвям Субарктического фронта, для которых характерна связь со струйной адвекцией через систему синоптических вихрей. Прослежена зависимость миграций дальневосточной сардины и тихоокеанского кальмара от мезомасштабных вихревых структур

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Никитин А.А., Дьяков Б.С., Казанцев П.И. Особенности океанографических условий в период северных миграций сардины в западной части Японского моря в 1988г. Результаты исследований по прогнозированию промысловой обстановки на Дальнем Востоке Сборник научных трудов. Под ред Л.Н. Бочарова. Владивосток 1989 с. 40-48
2. Никитин А.А., Харченко А.М. Изменчивость термических фронтов в Японском море по данным ИСЗ В сб научн Трудов ТИНРО «Дистанционные исследования океана» Под Ред. Л.Н. Бочарова. 1990. С. 45-54.
3. Никитин А.А., Дьяков Б.С. Эволюция антициклонического вихря в Японском море у берегов Кореи в системе вод Восточно-Корейского течения в 1991-1992 гг. (по данным спутниковой и судовой информации) Исследования Земли из космоса N 6 1995. С 98-106.
4. A.A.Nikitin, B S Dyakov Water structure and dynamics of the Japan sea frontal zone in spring by satellite and data of research vessels. Proceedings of Fourth CREAMS Workshop R/V "Okean" Vladivostok. February 12-13, 1996 P. 53 -56
5. Danchenkov M A , Nikitin A A , Volkov Y N., Goncharenko I A Surface thermal fronts of the Japan Sea Proc CREAMS'97 Int Symp , 28-30 Jan 1997. Fukuoka. Japan 1997. P. 75-80
6. Danchenkov M A , Lobanov V.B and Nikitin A.A. Mesoscale eddies in the Japan Sea, their role in circulation and heat transport Proc CREAMS'97 Int. Symp. 28-30 Jan. 1997. Fukuoka. Japan 1997. P. 81-84

7. Zuenko Yu, Glebova S., Nikitin A., Novikov Yu Polar front meandering and variability in the north-western Japan Sea (East) Sea. Tsushima Warm Current. October 15(Wed), 1997. Programmed in "East Sea Oceanography Conference" Tokyo. 1997. P. 139-145.
8. Shatilina T.A., Nikitin A.A., Dyakov B.S. The anomalous water warming in the north-western part of the Japan Sea in the 90-s and variations of atmospheric circulation over the Far East Proceeding of "The 4<sup>th</sup> Pacific Ocean Remote Sensing Conference" Qingdao, China, July 28-31 1998 P 547-549
9. Никитин А.А., Дьяков Б.С. Структура фронтов и вихрей в западной части Японского моря. Известия ТИНРО. 1998. Т. 124 С. 714-733.
10. Дьяков Б.С., Никитин А.А. О гидрологических процессах в Японском море в весеннее время. Известия ТИНРО, Т 127, Владивосток 2000. С. 78-88
- 11 Дьяков Б.С., Никитин А.А. Сезонная и межгодовая изменчивость структуры вод в зоне субарктического (полярного) фронта Японского моря по данным судовой и спутниковой информации Известия ТИНРО Т. 128. 2001. Владивосток С 996-1019
12. A.A. Nikitin, T.A. Shatilina, T.V. Dyomina, B.S. Dyakov Peculiarities of long-term thermal water variability of the Tatar Strait (Sea of Japan) Reports of the international workshop on the Global change studies in the Far East, Vladivostok September 7-9. 1999 Vol 1. Vladivostok. 2001. P 97-110
13. Nikitin A.A., Dyakov B.S. Spatial structures of fronts and eddies of the Japan Sea in the 90-s by Satellite data Proceedings of CREAMS'2000 International Symposium OCEANOGRAPHY OF THE JAPAN SEA. Vladivostok Dalnauka. 2001. P. 260-263.
14. Шатилина Т.А., Никитин А.А., Муктепавел Л.С. Особенности атмосферной циркуляции при аномальных океанологических условиях в Японском, Охотском морях и прилегающей части Тихого океана Известия ТИНРО. N 130. 2002. С. 79-94.
15. Никитин А.А., Харченко А.М. Типизация термических структур в Японском море и некоторые элементы их изменчивости. Известия ТИНРО Т. 131 2002. С. 22-40
- 16 Никитин А.А., Данченков М.А., Лобанов В.Б. Пути переноса субтропических вод В кн. Дальневосточный морской биосферный заповедник Исследования Коллективная монография Отв. ред А.Н. Тюрин. Т. 1 Владивосток. Дальнаука. 2004 Глава V. Гидрология и метеорология района заповедника. С 314-319
17. Никитин А.А. Пространственное распределение термических фронтов в Японском море и некоторые элементы их изменчивости. Изучение глобальных изменений на Дальнем востоке. Тезисы докладов рабочего совещания Владивосток, Россия, 7-9 октября 2004. Владивосток. 2004 С. 59-61

18. Krupnova T., Balkonskaya L., Nikitin F, Matveev V , Glebova S. Bonition of macrophytes settlements along the far eastern seas coast. Abstracts of XVIII International seaweed Symposium Bergen. Norway. 2004 P 65

19 Никитин А.А. Основные черты пространственного распределения поверхностных термических фронтов в водах Японского моря и их изменчивость. Исследование Земли из космоса, N.5, 2006 С. 49-62

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'A.A. Nikitin', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'N'.

