

75

КОМИТЕТ ПО РЫБОЛОВСТВУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ТИХООКЕАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ (ТИНРО)

На правах рукописи

БУЛАТОВ Нафанаил Васильевич

СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
КУРОСИО И ОЙЯСИО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА  
СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

(11.00.08. - океанология)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата географических наук  
в форме научного доклада

Владивосток - 1994

к

Официальные оппоненты – доктор географических наук,  
профессор Л. П. Якунин

кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник В. В. Покудов

Ведущая организация – Институт океанологии им. Ширшова РАН

Защита состоится "25" января 1995 г. в 12 час  
на заседании специализированного совета Д. 002.06.09  
при Президиуме Дальневосточного отделения РАН по адресу:  
690041, Владивосток ул. Балтийская, 43

С научным док  
в Центральн  
690022, Влад  
ДВГИ ДВО РАН

Научный док

Ученый секр  
Специализир  
кандидат ге

159

ОЖИЛОВ

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы определяется рядом причин. Во-первых, зона взаимодействия Куроисио и Ойясио относится к основным климатическим фронтальным зонам Мирового океана (Федоров 1983, Грузинов 1986). Это одна из энергоактивных и наиболее продуктивных зон Мирового океана. В ее пределах и прилегающих водах происходит нерест, миграция и нагул сайры, сардины, скумбрии и других объектов промысла. Во-вторых, хорошо известна нестационарность и многомасштабность океанических процессов и их обостренность во фронтальных зонах (например, Кошляков 1958, Макеров 1972, Булгаков 1972). Традиционные океанологические методы исследования, включая экспрессметоды, уже недостаточно репрезентативны в отношении пространственных или временных масштабов синоптической и мезомасштабной изменчивости океана (Монин, Каменкович, Корт 1975). Известны также нерегулярность и высокая стоимость судовых наблюдений, особенно обострившаяся в последнее время. Поэтому, несмотря на то, что фронтальная зона Куроисио – Ойясио является одним из наиболее активно изучаемых районов океана, остаются неясными многие вопросы ее структуры и изменчивости. (Например, соотношение струйных течений и вихрей, взаимодействие вихрей с течениями и между собой, возможности типизации структуры или процессов во фронтальной зоне и другие). Постоянно ощущается недостаток поисковых судов для оперативного выделения районов концентрации объектов промысла.

В то же время фронтальные зоны океана представляют собой наиболее благоприятные районы океана для изучения и мониторинга их с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ). Высокие градиенты океанологических характеристик поверхности океана позволяют использовать для этой цели различные виды спутниковых данных, в том числе ИК и ТВ изображения океана, принимаемые с ИСЗ NOAA по системе АРТ (Automatic picture transmission). Они представляют собой наиболее массовый, доступный и недорогой вид спутниковых данных. С весны 1973 года (начало работы спутников с ИК радиометрами на борту) их получают Хабаровский региональный центр приема и обработки (спутниковых) данных (РЦПОД) и управления Гидрометеорологии во Владивостоке, Южно-Сахалинске и Петропавловске Камчатском. Полученные на этих пунктах приема изображения охватывают акваторию Тихого океана от 25–30 до 60–65° с.ш. и от побережья Азии до 160–170° в.д. За прошедшие 20 лет в названных управлениях, ТИНРО и ТОИ ДВО РАН накоплен большой объем ИК и ТВ изображений,

который пока еще не полностью освоен в океанологическом отношении. В начале 70-х годов, когда автором были начаты настоящие работы, имелись лишь отдельные статьи, показывающие возможность использования данных ИСЗ для изучения океанологических фронтов. В настоящее время спутниковые данные, главным образом ИК изображения, полученные с ИСЗ NOAA, используются для изучения практически всех фронтов и фронтальных зон океана крупного и среднего масштаба (Федоров 1983). Но, в большинстве работ исследуются отдельные элементы фронтальных зон: теплые и холодные вихри, грибовидные течения, вихри закручивания и т.д., а не фронтальные зоны в целом.

Цель исследований состоит в обеспечении использования преимуществ спутниковых данных в рыбохозяйственных исследованиях ТИНРО и океанологическом обеспечении промысловых прогнозов и промысла. Для этого ставились два вида задач:

1. научно-методические - разработка и освоение методики дешифрирования и интерпретации спутниковых данных;
2. Оперативно-океанологические - тематическая обработка текущих спутниковых данных и мониторинг океанологических условий. Предполагалось, что после того, как данные ИСЗ представлены в океанологических терминах, они будут использоваться лабораторией промысловой океанографии и другими подразделениями ТИНРО в своих исследованиях наравне с другими видами информации. Результаты исследований первых лет были положительно оценены и использованы в своих работах ихтиологами лаборатории рыбных ресурсов Курисио (Новиков 1979), но в лаборатории промысловой океанографии они не используются до настоящего времени. Поэтому, в дальнейшем исследовании велись в трех основных направлениях:

1. Дешифрирование и интерпретация спутниковых изображений океана - установление связи наблюдаемых яркостных неоднородностей изображений поверхности океана с термохалинной структурой и динамикой вод.

2. Изучение структуры и изменчивости зоны взаимодействия Курисио и Ойясио и прилегающих вод.

3. Изучение зависимости распределения и миграций пелагических рыб (сайры, сардины, скумбрии) и других промысловых объектов от тех океанических явлений, которые наблюдаются на ИК изображениях. Но, учитывая особенности спутниковых изображений, дающих более сложное и неоднозначное представление океанических процессов, чем традиционные методы исследования, основное внимание уде-

ляется их интерпретации и феноменологическому анализу наблюдаемых явлений.

Основными материалами для работы служат ИК и ТВ изображения, полученные в 1973-1993 гг. по системе ART с метеорологических спутников NOAA, которые принадлежат к различным модификациям спутников Tiros (спутник для телевизионных и инфракрасных наблюдений). До 1979 года работали спутники модели Itos (NOAA 2-5), передававшие по системе ART изображения с пространственным разрешением в ИК диапазоне (10,5-12,5 мкм) 8 км, а в видимом (0,5-0,7 мкм) - 4 км (ТВ изображения). С 1979 года работают спутники типа Tiros N (NOAA 6-12), передающие по системе ART изображения, полученные "радиометром очень высокого разрешения" (AVHRR) с пространственным разрешением 4 км в ИК (10,5-11,5 мкм) и видимом диапазонах спектра. В ночное время передаются два ИК изображения в спектральных диапазонах 3,4-4,2 мкм и 10,5-11,5 мкм. Ширина полосы сканирования (обзора) на одной орбите - 3000 км, каждый спутник повторяет обзор земной поверхности дважды в сутки. Система из двух спутников обеспечивает получение данных к основным синоптическим срокам. Дополнительно привлекаются телевизионные и многоспектральные изображения, полученные с ИСЗ Метеор 1-3, Метеор 18-31 (Метеор-Природа) и радиолокационные данные, полученные с ИСЗ типа "Космос 1500". В качестве реперных используются данные синоптических карт погоды (приземный анализ), глубоководных гидрологических наблюдений, измерений течений геомагнитным измерителем (ГЕК) на советских (российских) и японских исследовательских судах. Японские данные берутся из сборников, опубликованных Японским рыболовным и метеорологическим агентствами (JFIC, JMA).

Данные о распределении и миграции промысловых рыб получены из оперативных промысловых сводок типа "флот работал в районе...", сообщений поисковых судов, по системе "РИФ" (дата, координаты, величина улова, объект промысла).

Методика исследования основана на визуальном дешифрировании ИК, ТВ и РЛ изображений, совместном анализе спутниковых и судовых данных и на синоптическом (феноменологическом) анализе результатов дешифрирования. Методика дешифрирования в свою очередь базируется на известных физических закономерностях собственного теплового и отраженного морской поверхностью солнечного или искусственного (РЛ) излучения и особенностях его регистрации на соответствующих изображениях.

Признаками атмосферных и океанических образований служат ярко-

стные контрасты и форма яркостных неоднородностей ИК, ТВ и РД изображений /I, 6, IO/. Используются методы, разработанные в спутниковой метеорологии. Географическая привязка изображений осуществляется с помощью стандартных палеток, рассчитанных в Гидрометцентре СССР.

Излучательная способность морской поверхности в ИК диапазоне близка к I, но излучающим является тонкая поверхностная пленка. Поэтому ключевая задача исследования - установление связи характера распределения ТПО с термохалинной структурой и динамикой вод решается путем сопоставления форм термических неоднородностей с вертикальным распределением температуры, солености и плотности на гидрологических разрезах, направлением и скоростью течений, рассчитанных динамическим методом и измеренных геомагнитным измерителем (ГЕК) и вертикальными движениями вод. Обработка судовых данных проводилась с помощью стандартных методов и программ, имеющих в ТИПРО.

Под термином "океанический фронт" понимается видимая на ИК изображениях граница теплых и холодных вод (вод с различными свойствами) / 4 /. Выделяются три категории фронтов: контрастные (перепад ТПО  $\geq 7^{\circ}\text{C}$ ), умеренные ( $3-6^{\circ}$ ), слабо выраженные (до  $2^{\circ}\text{C}$ ).

Результаты дешифрирования представляются в виде карт термической структуры поверхности океана (ТСПО), аналогичным картам фронтологического анализа, которые строятся в США по району Гольф-стрима. На картах ТСПО показывается также положение гидрологических разрезов и распределение гидрологических характеристик на них. Признаками изменчивости служат наличие или отсутствие определенных явлений (например, антициклонических вихрей), их положение, количество, размер, перемещение.

Необходимо подчеркнуть следующие особенности получаемой информации. С одной стороны при указанных выше параметрах спутниковые данные позволяют изучать широкий спектр изменчивости океана: временной - от мезомасштабной до межгодовой, пространственной - от IO до IOOO км. С другой стороны, облачность непрозрачна для ИК и видимого излучения и возможность получить изображения океанской поверхности возникает крайне неравномерно во времени и пространстве: от нескольких изображений в сутки до полного их отсутствия в течение 1-2 месяцев (табл. I).

Таблица I

Количество карт ТСПО, построенных за период с 1979 по 1992 гг. в районе  $35-40^{\circ}\text{с.ш.}$ ,  $140-145^{\circ}\text{в.д.}$  в разные месяцы

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кол-во карт	82	78	116	131	118	57	13	39	46	75	86	64

Наибольшее количество карт построено для периодов смены муссонов (март-май и сентябрь-ноябрь), наименьшее - для лета (июль). В субтропических водах и по мере удаления на восток от Японии количество ИК изображений и карт ТСПО уменьшается (таблица 2).

Таблица 2

Количество карт ТСПО, построенных за период с 1979 по 1992 гг. по различным районам СЗТО

Район иссл.	$30-35^{\circ}$	$30-35^{\circ}$	$30-35^{\circ}$	$35-40^{\circ}$	$35-40^{\circ}$	$35-40^{\circ}$	$40-45^{\circ}$	$40-45^{\circ}$
	сш. 140- 145°вд.	сш. 145- 150°вд.	сш. 150- 155°вд.	сш. 140- 145°вд.	сш. 145- 150°вд.	сш. 150- 155°вд.	сш. 145- 150°вд.	сш. 150- 155°вд.
Кол-во карт	345	334	112	905	840	298	966	425

Это затрудняет идентификацию океанических явлений, наблюдение полного цикла их развития, получение статистических характеристик процессов и придает особое значение синоптическому анализу различных видов данных.

Результаты исследований и научная новизна. Диссертация представляет собой океанографическую работу научно-практического характера. Изучение и мониторинг крупного океанского района с использованием спутниковых изображений в качестве основного (массового) материала и данных глубоководных наблюдений как реперных в отечественной океанологии выполнялось впервые. В работе показаны:

1) Упорядоченность термической структуры поверхности океана, типичные формы (образы) распределения ТПО (в том числе не получающие отображения в данных судовых гидрологических съемок), их термохалинная и динамическая структура, дана их океанологическая интерпретация.

2) Выявлены:

- наиболее общие черты зоны взаимодействия Курисио и Ойясио (чередование струй и вихрей противоположного вращения, обостренных и размытых участков (разрывов) фронтов, особенно теплых и хо-

лодных зон вдоль фронтов различного масштаба);

- связь структуры фронтальной зоны с топографией дна (цепь антициклонических вихрей с расстоянием между центрами 120-180 миль вдоль глубоководного желоба от юга Японии до Камчатки, уменьшение устойчивости образований и размеров вихрей в восточном направлении);

- струйно-вихревая структура ветвей Куроиси и Ойясио;

- типы структуры фронтальной зоны с преобладанием струй или вихрей;

- межгодовая изменчивость положения и контрастности климатических фронтов, количества, размеров и траекторий теплых вихрей (периоды кратные 2-3 годам);

- сезонная изменчивость контрастности и упорядоченности фронтов, движения теплых вихрей, интенсивности теплых течений (активизация весной и осенью);

- в синоптической изменчивости приводятся преобладающие размеры меандров течений (кратные 30-40 милям), теплых (100-120 и 50-70 миль) и холодных (40-90 миль) вихрей, направления и скорости их движения, продолжительность существования теплых вихрей, процессы их формирования и разрушения;

- в мезомасштабной изменчивости выделены струйные выклинивающиеся вторжения (стриммеры), сформированные адвекцией вод, отмечены два вида трансфронтального обмена, связанные с формированием стриммеров или мезомасштабных вихрей, определены периодичности формирования стриммеров и колебания фронтов, близкие к 30 и 15 суткам.

### 3) Установлены:

- зависимость распределения и путей миграций сардины, скумбрии и сайры от крупномасштабных особенностей фронтальной зоны Куроиси-Ойясио (положение фронта и теплых рингов Куроиси, развития интрузий Ойясио);

- синоптические и мезомасштабные образования (вихри закручивания, деформированные участки фронтов, стриммеры), благоприятные для концентрации рыб.

Полученные результаты не противоречат данным традиционных исследований, но в значительной степени расширяют и углубляют их и в большинстве своем являются приоритетными. Представлены сведения о явлениях и процессах, не получающих отображения в данных судовых наблюдений, не обсуждавшихся ранее проявлениях процессов, известных по наблюдениям других параметров (например, ТПО) или

вносящие уточнения в существующие представления.

Практическая значимость. Начиная с 1977 года на основе проведенных исследований составлялись справки и рекомендации, которые передавались в биологические лаборатории ТИНРО, ТУРНИФ, Дальрыбу и использовались при оценке промысловой обстановки в северо-западной части Тихого океана (СЗТО). С 1979 года результаты исследований регулярно используются в качестве океанологической основы квартальных, а затем недельных (с 1986 г.) и месячных (с 1989 г.) прогнозов гидрологических условий (формирование, разрушение, перемещение фронтов, вихрей, интрузий) в промысловых районах СЗТО. Карты ТСПО, с указанием благоприятных для концентрации рыб участков акватории, раз в неделю передаются в лабораторию краткосрочного прогнозирования и на промсовет Дальрыбы. По запросам биологических лабораторий ТИНРО составляются экспертные прогнозы гидрологических условий (состояние течений, фронтов и вихрей) на различные периоды, в том числе и на ближайшие годы.

Апробация. Результаты работы докладывались на I и II съездах океанологов (Москва, 1977, Ялта, 1982), Всесоюзном совещании "Исследование и рациональное использование биоресурсов дальневосточных и северных морей СССР" (Владивосток, 1985 г.), семинарах по спутниковой гидрофизике (Севастополь, 1985, 1986, 1989 гг.), Всесоюзной конференции "Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы" (Звенигород, 1989 г.), Всесоюзной конференции "Рациональное использование биоресурсов Тихого океана" (Владивосток, 1992 г.), на IX Конференции по промысловой океанографии (Калининград, 1993 г.), семинарах в отделе экспериментальной и космической океанологии ИО РАН в 1990 и 1993 гг., заседаниях биологической секции ученого совета и отчетных сессиях ТИНРО в 1978, 1985 и 1989 гг.

Публикации результатов и личный вклад автора. Материалы диссертации опубликованы в 29 печатных работах. Автор был одним из первых исполнителей темы "Использование спутниковой информации в рыбохозяйственных исследованиях" темплана ТИНРО и большинство работ по сбору и дешифрированию спутниковых данных, исследованию структуры и изменчивости фронтальной зоны Куроиси-Ойясио выполнены по его инициативе им лично или под его контролем. В работах по изучению теплых вихрей и условий распределения и миграций рыб, выполненных коллективно, автором также проводился анализ океанологических образований и условий на основе спутниковых данных.

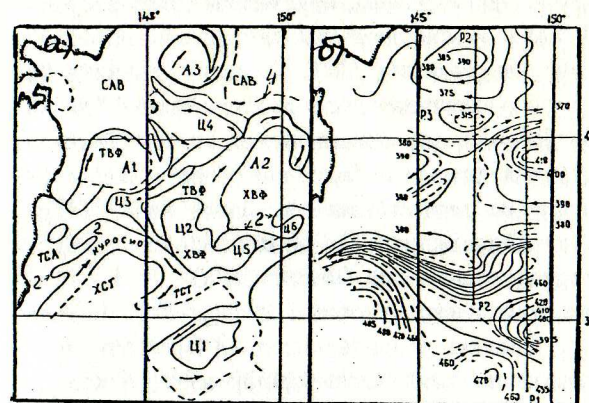
Автор считает приятным долгом поблагодарить профессора С-Петербургского университета В.Р.Фукса, по инициативе и под руководством которого в свое время в ТИПРО начаты работы по использованию спутниковой информации в рыбохозяйственных исследованиях, инженера Хабаровского РЦПОД Л.А.Луданник, принимавшую непосредственное участие в работах на первом этапе, сотрудников ТОИ ДВО РАН Л.М.Митника и В.Б.Лобанова за постоянное и плодотворное сотрудничество. Получение и обработка такого объема спутниковых материалов были бы невозможны без помощи руководства и инженерно-технического состава Хабаровского РЦПОД, ППИ Управлений Гидрометеорологии, а также без напряженного труда инженеров и техников лаборатории космических методов исследования океана ТИПРО.

## II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### I. Интерпретация результатов дешифрирования ИК изображений океана

Получаемые с ИСЗ ИК изображения океана показывают, что в периоды ослабления атмосферной деятельности распределение ТПО приобретает определенную упорядоченность. Типичные формы температурных неоднородностей: лентообразные, кругообразные (эллипсоидные), кольцеобразные, спиралевидные, грибовидные (стреловидные), серповидные и веерообразные, узкие полосы неправильной формы и их сложные сочетания / 5, 6 /.

Крупномасштабные области, теплая на юге и холодная на севере района, могут быть уверенно интерпретированы как субтропические и субарктические воды, а переходная зона между ними - как фронтальная зона Кюросио. Распределение температуры и солености на гидрологических разрезах подтверждают, что в пределах холодной зоны воды имеют субарктическую, а в пределах теплой - субтропическую термохалинную структуру. В переходной зоне наблюдаются области с преобладанием характеристик как той, так и другой структуры (рис. I). Следовательно, границы представляют собой южный и северный субарктические фронты (фронты Кюросио и Ойясио) и их ветви / 10 /. В каждой из трех зон выделяются относительно теплые и холодные области указанных выше очертаний (рис. I а). Основные из них следующие: По северному краю субтропической области выделяется зона экстремально высоких температур шириной 20-40 миль (ТСТ), очевидно сформированная адвекцией теплых вод в стрежне Кюросио. Ее толщина уменьшается вниз по течению от 200 до 100 м (рис. I б), по-



ложение соответствует зоне максимальных градиентов температуры и плотности в слое 200-500 м и максимальных скоростей геострофических течений восточного направления /10/. Северная граница течения - фронт Куроиси в ряде случаев имеет две или более "линий" максимальных градиентов ТПО. Южная, обычно менее контрастная, отображает положение стрежня течения. Подобным образом интерпретируются изображения и других теплых течений. Вдоль берегов Курильских островов и о.Хоккайдо выделяется зона наиболее холодных вод, которая интерпретируется как зона Ойясио (ХСА). Ее восточная граница имеет переменную контрастность (от 1 до 6°). Встречаясь с теплыми вихрями, течение разветвляется. В Южно-Курильском районе воды холодной зоны слабо стратифицированы, а холодные струи, огибающие теплые вихри и распространяющиеся вдоль субарктического фронта, имеют субарктическую структуру (4 на рис.1а).

Теплые области синоптического масштаба, имеющие вихреобразные очертания, однородные или с ориентацией языков по часовой стрелке интерпретируются как антициклонические вихри, в том числе теплые ринги Куроиси (А на рис.1). Их термохалинные контрасты с окружающими водами достигают 5-10° и 1,0-1,2°/оо, заглублиение изотермических поверхностей в зависимости от размеров вихря изменяется от 150-200 м до 300-400 м и иногда достигает 800 м (А3 на рис.1). Направление рассчитанных динамическим методом течений подтверждает антициклонический характер вращения вод. В вихрях с однородной теплой поверхностью максимум скоростей наблюдается на поверхности, а в вихрях с холодной центральной областью - под куполом холодных вод на глубине 100-200 м /10/. Термический контраст с окружающими водами, размер и устойчивость теплой области на последующих изображениях качественно характеризуют интенсивность вихря (вертикальную мощность, скорость вращения воды). Восточнее Курильских островов антициклонические вихри проявляются как спиралевидные структуры. Их теплые ядра выражены очень слабо или отсутствуют совсем. Воды вихрей имеют субарктическую структуру, но нижние границы слоев заглубляются по сравнению с окружающими водами на 200-300 метров /9, 10/.

На северо-западных перифериях антициклонов периодически наблюдаются узкие вторжения теплых вод, ориентированные по часовой стрелке. Такие же теплые струи соединяют антициклоны, находящиеся в субарктических водах, с фронтальной зоной. Иногда они приобретают необычные "изломанные" очертания (что при съемке с более

высоким разрешением оказывается результатом мелкомасштабного, не более 10 миль, вихреобразования) или распространяются к северу на 150-200 миль / 3 /. С холодной стороны фронтов Куроиси и Ойясио наблюдаются языки типа "опрокидывающейся волны" или "спирали" теплых вод, ориентированные против часовой стрелки (2 на рис. 1 а). Все эти теплые вторжения имеют ширину от 5 до 40 миль, но наиболее часто - около 20 миль. Вблизи основания они прослеживаются до глубины 400-500 м, а в верхнем 150-200 метровом слое их контраст с окружающими водами достигает 5-7° и 1,0-1,2°/оо. По мере удаления от основания термохалинный контраст и толщина струй уменьшается.

Положение струй всех упомянутых видов на картах динамической топографии соответствует зонам максимальных скоростей течения на периферии одного вихря соответствующей ориентации или между вихрями противоположного вращения (3 на рис.1). Средние за несколько дней скорости их распространения близки к расчетным скоростям течений от 0,2 до 0,8 м/с, а максимальные достигают 1,5-2,0 м/с. Таким образом, теплые струи, так же, как теплая зона Куроиси, формируются адвекцией вод в стрежнях вихревых течений и служат их индикаторами / 10 /. Отмечено, что появлению теплых вторжений северного, северо-западного направления предшествуют южные, юго-восточные ветры, а появлению теплых струй циклонической ориентации - усиление западных ветров / 3 /.

Холодные области синоптического масштаба значительно реже приобретают вихреобразную форму, что, видимо, связано с подъемом и дивергенцией вод. Холодным областям севернее субарктического фронта, окруженным теплыми струями, ориентированными против часовой стрелки, соответствует субарктическая структура вод и циклоническая смена направления течений (Ц4 на рис.1 а, б) /3, 10 /. Холодные области, которые интерпретируются как интрузии (ветви) Ойясио, имеют черты как циклонических меандров Ойясио (Субарктического течения), так и струи, распространяющихся в южном направлении. Часть вод вовлекается в антициклоническое вращение, отрезая ринги Куроиси от течений, часть - отклоняется на юго-восток, распространяясь вдоль фронта Куроиси и лишь часть вод поворачивает на северо-восток, образуя циклонические меандры или вихри / 7, 10 /. Южные, юго-западные течения на западной стороне холодных интрузий имеют большие скорости и прослеживаются до больших глубин, чем северные, северо-восточные течения на восточной стороне интрузии. Так в случае, показанном на рис.1,

скорости течений были соответственно 45 и 23 см/с, а течения прослеживались до 800 и 400 метров / 7 /. Иногда выделяются лишь узкие (10-15 миль) струи, соединяющие циклонические вихри (ЦЗ на рис.1) с субарктическими водами. Воды интрузий, в том числе и проникающие в тыл антициклонов, сохраняют субарктическую структуру, но по мере продвижения к югу трансформируются и выделяются лишь по подъему изотерм в верхнем слое толщиной 100-200 м (Ц2, ЦЗ на рис.1), т.е. выклиниваются так же, как теплые вторжения / 10 /. Начальные участки теплых и холодных интрузий пересекают соответственно холодную и теплую зоны Субарктического течения и являются в отношении нее поперечными струями, подобными рассмотренным Гизбург и Федоровым (1985), отображающими вихревую структуру течения. Изолированные холодные области во фронтальной зоне и субтропических водах имеют термохалинную структуру и направление течений типичное для холодных (циклонических) вихрей, в том числе рингов Куроисио (Ц1, Ц2 на рис.1) / 7, 10 /.

Одной из наиболее распространенных форм термических неоднородностей является грибовидная форма. На основании показанных выше примеров она интерпретируется как сочетание двух вихрей противоположного знака вращения и струи между ними. В общем случае не разделялось, являлись ли вихри квазигеострофическими долгоживущими образованиями или формировались вместе со струей, хотя в конкретных случаях такие различия отмечались / 3, 5 /. В ряде случаев струя теплого или холодного вторжения проходит через две или даже три пары вихрей подобно основной струе Куроисио. Быстрые перемещения фронтов (до 20-30 миль/сутки) обычно охватывают слой, толщиной 50-70 м и вызваны непосредственным воздействием ветра / 5, 10 /.

Результаты измерения течений геомагнитным измерителем ГЕК в большинстве случаев также согласуются с очертаниями термических неоднородностей (рис.2 а), однако, при слабо выраженных фронтах имеются случаи их полного несоответствия (рис.2 б) / 10 /. По всей вероятности, в этих случаях требуется более детальный анализ условий и различий во времени наблюдений.

Таким образом, различаются две группы термических неоднородностей на поверхности океана: крупномасштабные и синоптические образования, где фронты имеют квазигеострофический характер и узкие адвективные струи, распространяющиеся в стрекне течения. Интрузиям Ояисио присущи те и другие черты.

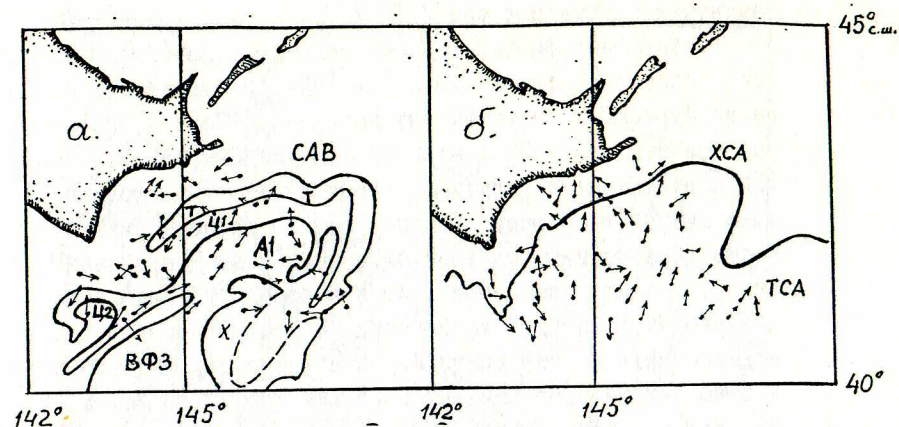


Рис. 2. Направление поверхностных течений в области меандра-вихря северо-восточной ветви Куроисио по данным геомагнитного измерителя (ГЕК)  
а. - апрель 1980 г., б. - апрель 1979 г.

## 2. Структура фронтальной зоны Куроисио и ее изменчивость

### 2.1. Особенности структуры фронтальной зоны Куроисио, наблюдаемые на ИК изображениях

Анализ ИК изображений океана показывает, что различные точки зрения на структуру фронтальной зоны Куроисио, высказанные на основе данных судовых гидрологических съемок (например, Suda, 1936, Kawai, 1955) являются следствием ее крупномасштабной изменчивости. В каждый конкретный момент преобладают те или иные ее черты.

Наиболее характерной чертой зоны взаимодействия Куроисио и Ояисио является чередование струй и вихрей противоположного вращения, которое обеспечивает многие известные ее свойства / 5 /. Вдоль фронтов крупного или синоптического масштабов выделяются зоны (струи) особенно теплых и особенно холодных вод, образованные их адвекцией вихревыми движениями (рис.1 а,б) / 3, 5 /.

Течение Куроисио выделяется в виде теплой струи до 175° в.д. Далее на восток течение разветвляется и, видимо, здесь переходит в Тихоокеанский дрейф. В западной части района отчетливо различаются прибрежная и меандровая моды течения. Холодные ринги Куроисио наблюдаются обычно к югу от циклонического меандра течения



на 146-147° в.д. (рис.1). В меандрах Куроисио часто отмечается замкнутая циркуляция вод / 10 /.

Собственно во фронтальной зоне Куроисио-Ойясио выделяются две теплые области на 143-145 и 147-150° в.д. (первая и вторая ветви Куроисио), состоящие из антициклонических вихрей или струйных ответвлений и 2-3 интрузии (ветви) Ойясио. Восточнее 150-152° в.д. также наблюдается чередование антициклонических (теплых) вихрей и интрузии Ойясио, однако размеры вихрей и устойчивость образований уменьшаются в восточном направлении, что, видимо, связано с рельефом дна. Наиболее отчетливо выражена вихревая структура первой ветви Куроисио, расположенной вдоль глубоководного желоба, где ринги Куроисио могут достигать до 45-46° с.ш., а цепь вихрей прослеживается от юга Японии до Камчатки / 9, 13 /. Уже вторая ветвь Куроисио может быть струйным ответвлением Куроисио, дающим начало Субарктическому течению (рис.3). Третья ветвь Ойясио в этом случае отсутствует, а во фронтальной зоне выделяются два струйных течения / 17, 25 /. В западной части фронтальной зоны преобладают антициклоны с размерами, характерными для теплых рингов течений (90-120 миль), а в восточной - с размерами типичными для вихрей открытого океана (60-90 миль). При развитой вихревой структуре зоны взаимодействия Куроисио и Ойясио количество фронтов связано с количеством крупных вихрей (в основном теплых рингов). В общем случае фронты Куроисио и Ойясио имеют северную или южную ветви, сформированные меандрированием течений и вихреобразованием. Наиболее устойчиво выделяются в западной части фронтальной зоны фронты Куроисио, Ойясио и северная ветвь фронта Ойясио (вторичный, по Булгакову, 1972), в восточной - фронты Куроисио, Субарктический и, менее устойчиво, южная ветвь Субарктического фронта. Лишь между 146 и 150° в.д., где направление среднего и вихревого течений совпадают, в большинстве случаев наблюдаются два фронта. Северо-западная ветвь фронта (Булгаков, 1972) по существу является фронтом Сангарского течения.

Кроме этих фронтов выделяются и другие границы вод с различной термохалинной структурой, сформированные процессами меандрирования течений, образования и перемещения вихрей (см.рис.3). В зависимости от конкретных ситуаций они могут рассматриваться как синоптические фронты или ветви фронтов Куроисио и Ойясио (Субарктического) / 25 /.

Крупномасштабные фронты деформированы всем спектром изменчивости океана и представляют собой цепочки обостренных и раз-

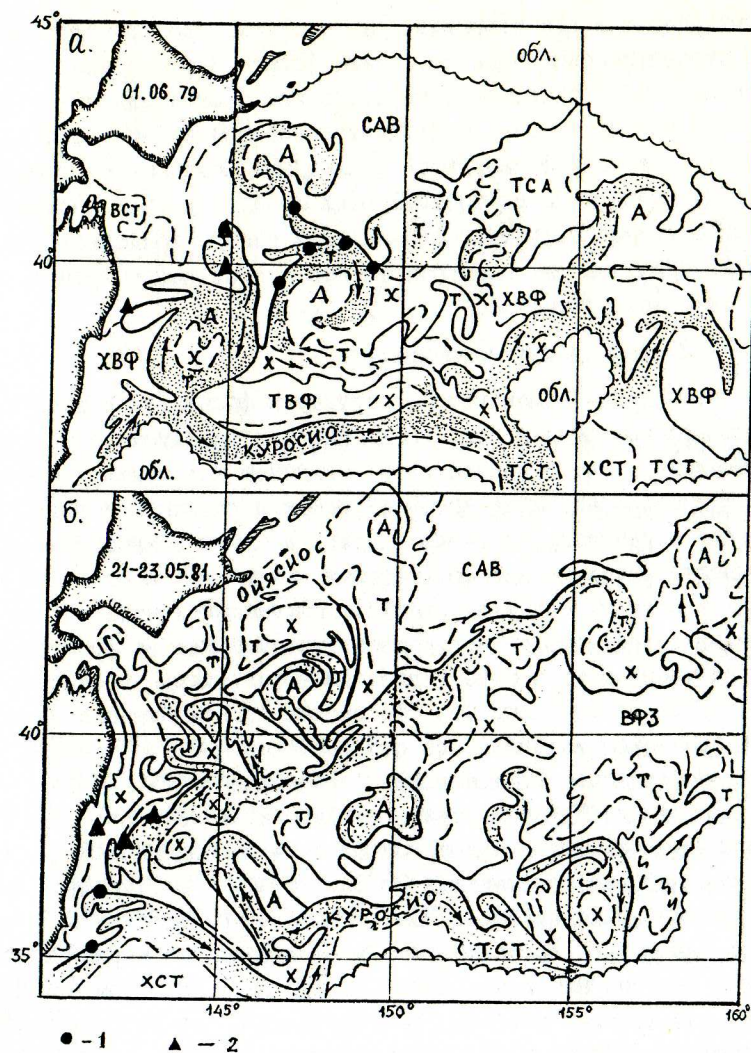


Рис. 3. Структура фронтальной зоны Куроисио-Ойясио с преобладанием вихревых ( а ) и струйных ( б ) элементов  
1 - район промысла скумбрии, 2 - район промысла сардины

мытых участков или разрывов. На участках, где трансформированные субарктические воды достигают фронта Куроисио или трансформированные субтропические воды достигают фронта Ойясио (северные границы теплых рингов) наблюдается обострение этих фронтов. На участках же, где формируются теплые или холодные вторжения, происходит разрушение соответствующих фронтов / 25 /. При преобладании струйной структуры фронтальной зоны в большинстве случаев выделяются лишь два основных фронта, менее деформированных, чем при вихревой структуре.

## 2.2. Межгодовая изменчивость

Межгодовая изменчивость структуры фронтальной зоны Куроисио-Ойясио рассмотрена в мае, когда имеется достаточное количество изображений. Она проявляется в различном положении и контрастности фронтов, расположении, количестве и размерах антициклонов Куроисио и развитии интрузий Ойясио, а также в характере сезонных и синоптических процессов (например, в ширине и скорости продвижения к северу теплых вторжений). Сравнение контрастности фронта Куроисио с количеством поступления вод и тепла во фронтальную зону, полученным на основе гидрологических съемок (Покудов, Вельяотс, 1980) показывает, что обострение фронта Куроисио может служить признаком холодного (в северных районах фронтальной зоны) года. Наблюдения последних лет подтверждает этот вывод.

Положение Куроисио определялось в вершине первого от Японии антициклонического меандра. Средняя за период наблюдения широта положения фронта составляла  $36^{\circ}30' - 36^{\circ}40' \text{ с. ш.}$  (учитывая точность географической привязки). Для 1973-1980 гг. характерно северное положение фронта Куроисио и его антициклонов. В первой и второй ветвях Куроисио наблюдалось по одному рингу размером 100-130 миль / 17, 24, 25 /. В эти же годы преобладало северное направление перемещения вихрей и малая удаленность северных вихрей от о. Хоккайдо (рис.4). Соответственно, в эти годы первая ветвь Ойясио была менее развитой (проникала на юг лишь до  $38-39^{\circ} \text{ с. ш.}$ ), чем вторая (см. рис.3 а). В период с 1981 по 1986 гг. преобладали южное положение фронта Куроисио и его вихрей, размеры антициклонов - 60-90 миль, а также северо-восточное направление их перемещения, удаленное от о. Хоккайдо положение. Первая ветвь Ойясио в эти годы была развита больше второй, достигая м. Инубо (см. рис.3 б). В последующие годы вновь наблюдалось смещение Куроисио и его вихрей к северу (до 1991 года), а затем их отступление к югу.

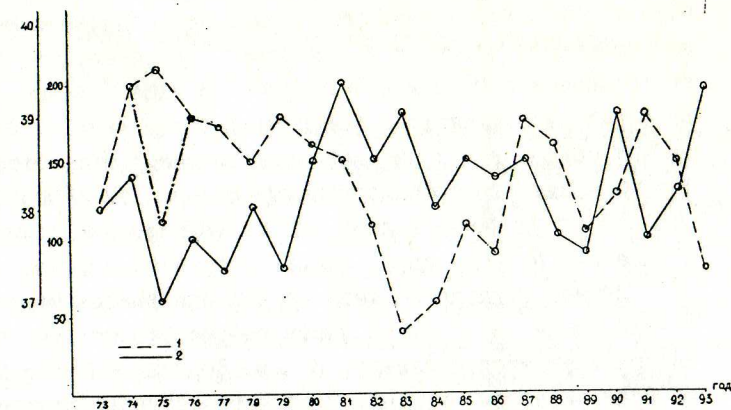


Рис. 4. Межгодовая изменчивость положения антициклонических вихрей во фронтальной зоне Куроисио-Ойясио  
 1 - положение центров южных антициклонов первой ветви Куроисио (по широте)  
 2 - удаленность центров северных вихрей от о. Хоккайдо

(рис.4). Одновременно ветви Куроисио и Ойясио смещались к западу. Размеры теплых вихрей остались такими же, как в начале 80-х годов, менее развитыми были и ветви Ойясио. По всей вероятности эти явления могут рассматриваться как ослабление меридиональности процессов по сравнению с предыдущими годами. Наиболее крупные теплые вихри наблюдались в 1975, 1979, 1983, 1987 и 1991 гг., т.е. через четыре года. С той же периодичностью формируются мезомасштабные вихри восточнее о. Хоккайдо (1977, 1981, 1985 и 1989 гг.). Первая ветвь Ойясио получала максимальное развитие, по степени ее проникновения к югу, в 1974, 1978, 1981 и 1984 гг., а по площади, занятой холодными водами - в 1986 и 1993 гг. Кроме этих относительно длительных периодов (7-8 и 4 года) уверенно выделяются двухлетние периоды. Так например, в 1975, 1977 и 1979 гг. и в 1989 и 1991 гг. теплые вихри занимали более северо-западное положение, чем в 1976, 1978 и 1988, 1990 и 1992 годах (рис.4). Как видно на рис.4 в колебаниях некоторых параметров фронтальной зоны наблюдаются периоды в 3 года. Можно предположить, что в изменчивости структуры фронтальной зоны проявляются периоды, кратные двум и трем годам.

### 2.3. Сезонная изменчивость

Сезонная изменчивость структуры фронтальной зоны Куро-Ойясио обусловлена главным образом непосредственным воздействием солнечного прогрева и атмосферы. Известно, что в летний период термические фронты на поверхности океана размываются благодаря формированию теплого поверхностного слоя. Но, восточнее Курильских островов в конце лета-осенью обостряются термические фронты между стратифицированными водами открытого океана и слабо стратифицированными водами Ойясио (Курильский фронт). В зимний и весенний периоды здесь фронты наблюдаются очень редко.

Летнее ослабление термических градиентов начинается обычно в конце мая-июне в южной части района (фронт Куро-Ойясио) и затем распространяется к северу. В июле фронты обычно слабо выражены на всей акватории района. В августе-сентябре в субарктической зоне, кроме Курильского фронта, обостряются также фронты синоптического масштаба, связанные с антициклоническими вихрями, вышедшими в этот район. С увеличением толщины верхнего квазиоднородного слоя обострение термических фронтов распространяется к югу и в октябре они имеют умеренно обостренный характер на всей акватории, а струйно-вихревая структура фронтальной зоны хорошо выражена.

В период интенсивного охлаждения (декабрь-февраль) формируются языки и выступы холодных вод различных и быстро сменяющихся очертаний, фронты смещаются в сторону теплых вод, антициклонические вихри отступают к югу и юго-востоку / 12, 20 /. В пределах ветвей Ойясио формируются струи особенно холодных вод, шириной от 10 до 30 миль и толщиной 100-150 метров / 14 /. Степень деформации фронтов качественно зависит от характера атмосферных процессов и может служить индикаторами охлаждения верхнего слоя океана. В конце февраля-марте отмечается начало стабилизации структуры фронтальной зоны. Фронты приобретают упорядоченные очертания.

В конце марта-апреле струйно-вихревая структура полностью восстанавливается, причем, формирование теплых стриммеров в антициклонических вихрях обычно наблюдается в начале апреля. В весенний период антициклонические вихри вновь начинают двигаться в северном-северо-восточном направлении / 12, 20 /. Кроме того, в весенний и осенний периоды наблюдается рост антициклонических меандров Куро-Ойясио и продвижение к северу соответствующих участков

фронта Ойясио. Это подтверждает ту точку зрения (Павлова, 1964), что активизация Куро-Ойясио происходит весной и осенью.

### 2.4. Синоптическая и мезомасштабная изменчивость

#### 2.4.1. Меандрирование течений

Так же, как традиционными средствами исследования, на ИК изображениях выделяются квазистационарные меандры Куро-Ойясио с длиной волны 250-320 миль (450-600 км) и меандры с длиной волны 120-160 миль, движущиеся на восток со скоростью около 5 миль/сут. (0,2 узла). Скорость перемещения отдельных участков фронта Куро-Ойясио достигает 20-30 миль/сут., а при осредненных данных за 5-9 суток преобладают скорости до 2 миль/сут. Из крупных меандров наиболее устойчивым является первый от Японии, что, видимо, связано с топографией дна. Для фронтов Ойясио и Субарктического более характерны волны второго вида / 5 /. К этой длине волны близки и расстояние между центрами антициклонов. Если учесть, что вихри закручивания часто располагаются по два вихря на одной стороне меандра, то получится, что длина волны этих возмущений равна 1/4 длины волны основных меандров, т.е. 60-80 или 30-40 миль / 13 /. В районах с большими градиентами скорости течений наблюдается "пидообразная" форма фронта, с длиной волны 15-20 миль / 3, 13 /. К этому можно добавить, что в экваториальной зоне по данным ИСЗ G O E S наблюдаются волны с длиной 550 миль (Legeckis, 1977). Таким образом, вполне возможно, что все наблюдающиеся волнообразные возмущения связаны с одной системой волн определенной длины.

#### 2.4.2. Синоптические вихри

Антициклонические вихри имеют размеры от 30 до 180 миль, но преобладают вихри с размерами 100-130 и 50-70 миль ("мезомасштабные"). Большинство вихрей наблюдаются в сформировавшемся виде, в процессе взаимодействия с течением или более крупным вихрем. Проследить процесс формирования вихрей, получив хотя бы две-три ситуации, удается в редких случаях (1975, 1983, 1979, 1986 гг.). Антициклоны формируются как на фронте Куро-Ойясио, так и на фронте Ойясио. Они могут формироваться как мезомасштабные, а затем увеличиваться до крупномасштабных, получая порции теплых вод в виде стриммеров или таких же мезомасштабных вихрей (например, июль-октябрь 1979 / 9 /). Благодаря взаимодействию с течениями и более крупными вихрями антициклоны могут существовать от несколь-

ких месяцев до 4 лет / 20 /. Мезомасштабные вихри существуют от 2 до 7 месяцев / 10, 20 /. Антициклоны движутся преимущественно в северном, северо-восточном или северо-западном направлении, но иногда меняют направление на юго-западное / 19 /. В зимний период вихри стационарируют или отступают к югу, описывая циклонические петли / 12, 20 /. Средняя скорость перемещения антициклонов по независимым определениям за периоды 1979-1985 и 1986-1990 годы около 0,5 миль/сут., что близко к данным Китано (Kitano, 1976). Максимальные скорости движения вихрей к северу наблюдаются весной и осенью, достигая 1 мили/сут. / 20 /. За время жизни вихри могут проходить расстояние от Куроисио до средних Курильских островов или стационарировать в одном и том же месте / 22 /. Разнообразие движения антициклонов обусловлено, видимо, тем, что они находятся под воздействием противоположно направленных течений. При движении вихрей к северу наблюдаются два вида их диссипаций: отделение участков теплых вод за счет вихрей закручивания и разделение их на два вихря.

Циклонические вихри во фронтальной зоне Куроисио изучены значительно меньше, чем антициклонические. Холодные выступы ветвей Ойясио содержат, как правило, по одному-два циклонических вихря, формирующихся из меандров течения / 4, 5, 7 /. Преобладают размеры вихрей от 40 до 90 миль, что согласуется с данными Китано (Kitano, 1977). Вихри движутся в южном направлении со скоростью около двух миль в сутки. Значительная скорость их продвижения, видимо, связана с тем, что они поддерживают более устойчивую связь с течением, чем антициклоны. Смещаясь на юг циклонические вихри Ойясио усиливают меандры Куроисио и другие холодные области вдоль фронта Куроисио / 4 /. Наблюдающиеся слева от течений и на границах крупных антициклонов вихри закручивания имеют в большинстве случаев форму "опрокидывающейся волны" и размеры 15-20 или 30-40 миль. Но иногда языки теплых и холодных вод вытягиваются вниз по течению на 50-100 миль, имея ширину не более 5-10 миль / 3, 5 /.

#### 2.4.3. Периодическая изменчивость и процессы транс-фронтального обмена

Наиболее распространенным видом трансфронтального обмена является формирование струйных вторжений (стриммеров) в антициклонические вихри, которые связывается с волнами, имеющими длину 150 миль и период 25-30 суток. Прохождение теплого гребня волны через вершину крупномасштабного меандра сокращает расстояние ме-

жду течением и антициклоном и приводит к их взаимодействию. Теплые и соленые воды (Куроисио или фронтальной зоны) образуют кольцо по периферии вихря или заполняют его полностью. Диаметр вихря увеличивается на несколько десятков миль. После прохождения теплого гребня наблюдается усиление холодных интрузий, новый отрыв вихря от течения и уменьшение его размеров. В результате взаимодействия с окружающими водами и атмосферой температура внутри вихря понижается, а ее контрасты размываются. Например, в 1979 году вторжения вод Куроисио в антициклон, смещавшийся к югу, наблюдались 18 апреля и 18-22 мая (рис.5). Вторжения имели

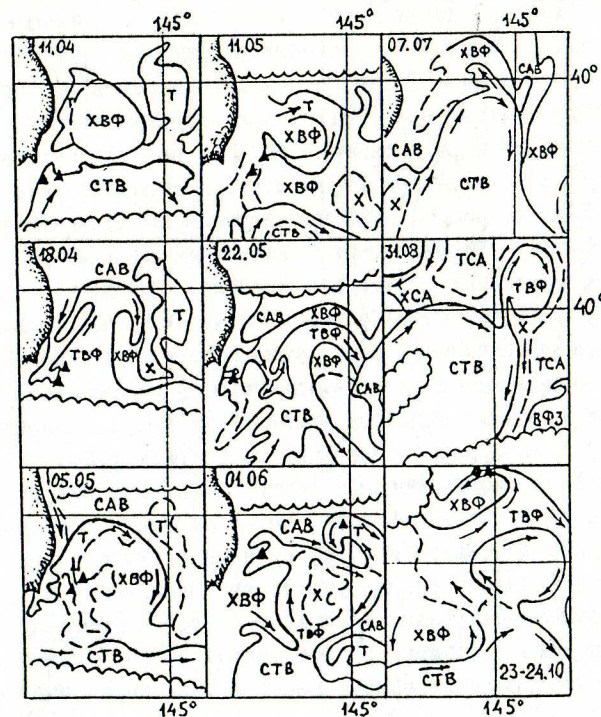


Рис. 5. Развитие вторжений вод Куроисио в антициклонический вихрь в 1979 году

ширину 20-30 миль и продвигались со скоростью 1,5 узла (0,8 м/с). Толщина струи уменьшалась от 200-250 м "на входе" от 50-100 м на востоке вихря. Воды вторжений имели температуру от 17 до 21°, а соленость 34,8‰ при температуре и солености ядра вихря 13° и

34,6-34,7‰ / 19 /. В результате вторжения в вихрь поступало около 3300 км<sup>3</sup> вод Куросио / 28 /. Его размер увеличивался до 130-140 миль и затем вновь уменьшался до 90 миль / 19 /. Наиболее мощное вторжение этого типа наблюдалось в 1998 г., когда воды Куросио с температурой 16-18°, заполнив южный антициклон, проникли в северный вихрь фронтальной зоны, где их контраст с окружающими водами достигал 8-10°. В северном вихре теплая струя имела ширину 30 миль, толщину 100-200 м и скорость продвижения до 2 м/с (около 4 узлов). Такие мощные вторжения наблюдаются эпизодически и обусловлены, видимо, наложением нескольких причин. В тех случаях, когда антициклоны были слабыми или располагались далеко (70-90 миль) от течения наблюдался другой тип трансфронтального обмена - формирование мезомасштабного теплого вихря (рис.6). В марте-мае 1991 г. при продвижении вершины антициклонического меандра к северу (ФК 1) в ней сформировалась замкнутая циркуляция, диаметром 50-70 миль, а стрежень течения отступал к югу (ФК 2 на рис.6). При последующем продвижении к северу стрежня течения и формирующегося вихря, он охватывался холодными водами и отделился от меандра Куросио. Северная граница вихря размылась и теплая масса объемом около 2000 км<sup>3</sup> слилась с теплой областью фронтальной зоны, усиливая ее. Одновременно с поступлением теплой массы во фронтальную зону наблюдалось проникновение порции холодных вод в субтропические воды, усиливающей циклонический ринг Куросио. Как обычно, ее размер был меньше, чем размер теплой массы. Взаимодействие циклонических рингов с холодными водами фронтальной зоны, пересекающими стрежень Куросио, наблюдались весьма редко. Но, единичные случаи свидетельствуют, что эти процессы также существуют. Показанные на рис.5 и 6 случаи трансфронтального обмена относятся к умеренно интенсивным (ширина струи, размер теплой массы). Из их сравнения можно заключить, что процессы обмена первого типа более интенсивны и связаны с преобладанием меридионального переноса, чем процессы второго типа, связанные с преобладанием широтного переноса вод. Как на фронте Куросио, так и на фронте Ойясио наблюдаются смешанные формы трансфронтального обмена, когда отделившаяся от течения теплая масса попадает в область антициклонического вращения и вытягивается в виде стримера шириной 10-20 миль / 3 /. Струйные вторжения в большинстве случаев наблюдаются с периодом близким 30 суток (1974, 1976, 1979 гг.) / 4, 19 /, а в колебаниях отдельных участков фронтов Куросио и Ойясио (например, западной грани-

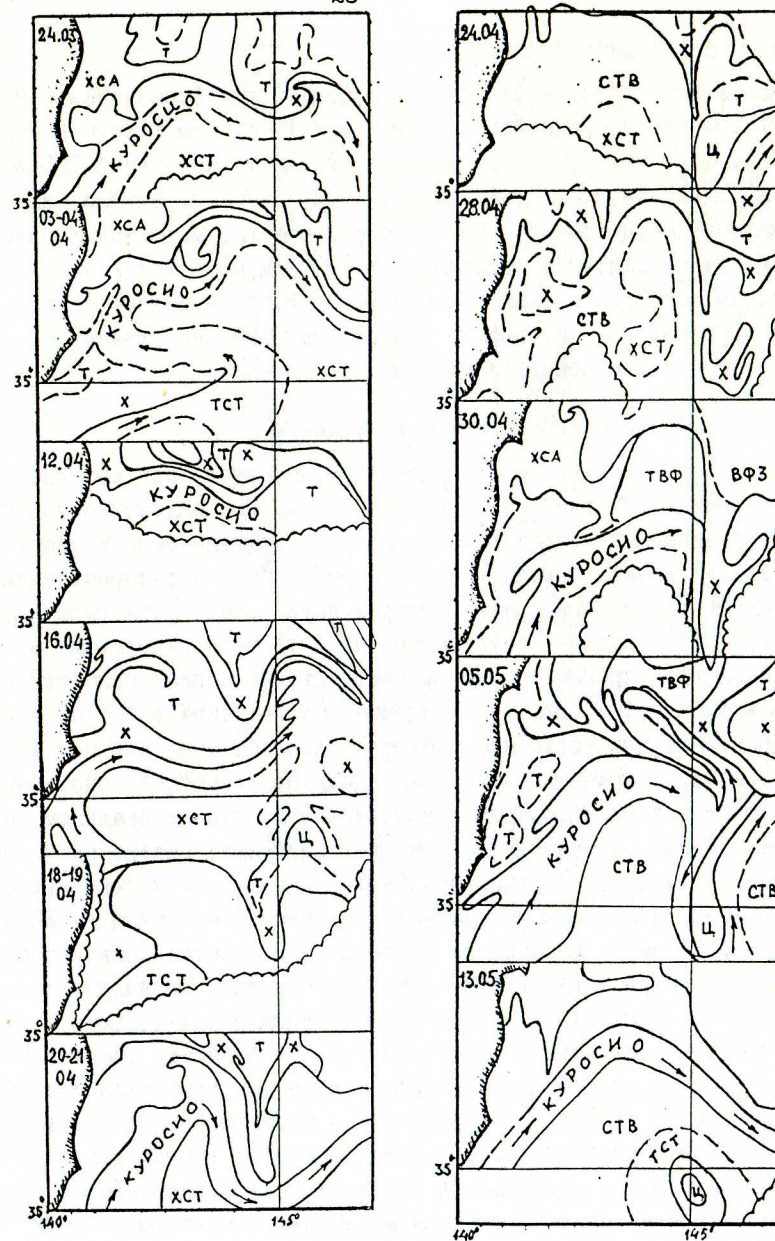


Рис. 6. Проникновение теплых и холодных вод через фронт Куросио в виде мезомасштабных порций (вихрей) весной 1991 года

цы северного вихря фронтальной зоны) и при формировании мезомасштабных неоднородностей - близкие к 15 суткам (полумесячные) / 2, 4 /, что соответствует периодичности колебаний ТПО и глубины залегания термоклина (Фукс, 1972, 1976) и, видимо, имеет ту же приливную природу. При формировании мезомасштабных вихрей иногда наблюдаются периоды около 20 или 40 суток / 3, 7 / (см. также рис.6). Нарушение периодичности, по-видимому связано с атмосферными воздействиями, ускоряющими или задерживающими развитие гидрологических процессов.

#### 2.4.4. Непериодические возмущения

Непериодические возмущения наблюдаются, как правило, при усилениях или смене направлений ветра. При сильных северных, северо-западных ветрах обычно наблюдаются удлинение и увеличение площади языков холодных вод; интрузии Ойясио распространяются дальше на юг, приобретая стреловидную форму; формируются узкие, особенно холодные (температура на 1-3° ниже окружающих вод) струи появляются прогибы фронтов; растягивание теплых областей в направлении ветра (рис.7). При смене направлений ветра на северо-восточное или восточное наблюдается восстановление положений фронтов, сокращение языков холодных вод. Обобщая качественные сопоставления деформаций термических фронтов с реальным полем ветра можно сказать, что усиление северных, северо-западных ветров в течение 1-2 суток до 10-15 м/с приводит к смещению фронтов на 10-20 миль, а усиление ветра за такой же период до 20-30 м/с до 30-50 миль. К таким же перемещениям фронтов приводят более слабые ветры, действующие длительное время. Продолжительное действие сильных (10-15 м/с и более) ветров может вызвать в субарктической зоне полное разрушение теплых областей диаметром 60-80 миль, т.е. способствует погружению теплых ядер антициклонов под слой холодных вод / 16 /. Скорость перемещения участков фронта (0,02% от скорости ветра с отклонением от его направления на 30-40° вправо) оказывается близка к скорости дрейфовых течений, рассчитанных по формуле Экмана и данным инструментальных наблюдений (Куренная, 1990).

В весенний период при смене северо-западных направлений ветра на юго-восточное наблюдался другой вид возмущений - теплые грибовидные вторжения. В зависимости от среды, в которую происходили вторжения, они имели различные очертания. Вторжение в однородную область антициклонического вихря имело струю шириной

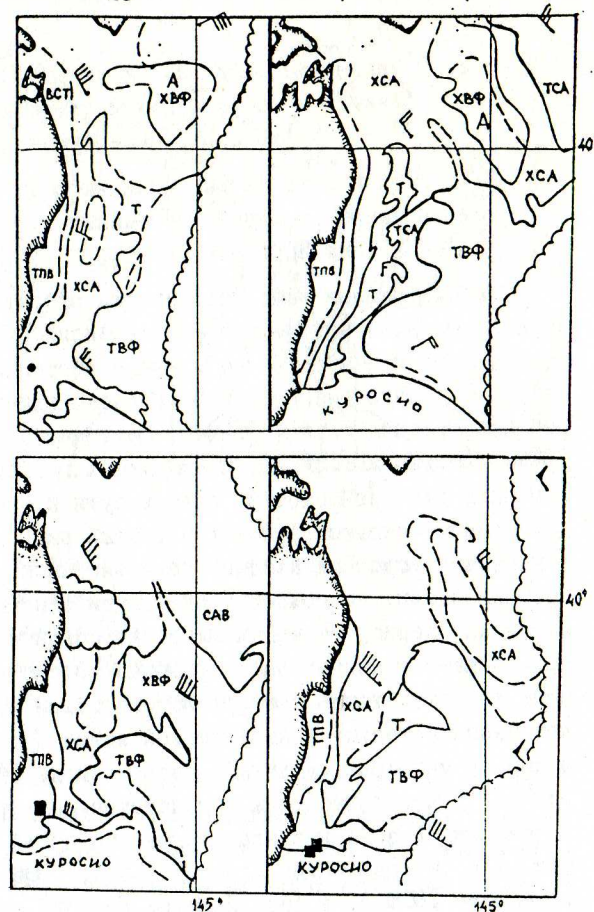


Рис. 7. Деформация термических фронтов при сильных северо-западных ветрах

10-15 миль и длиной более 100 миль. Противоположно-направленные вихри имели диаметры 20-30 миль. Грибовидные вторжения в воды первой ветви Ойясио имели более короткие (30-40 миль) и широкие (15-20 миль) струи и слабо выраженные вихревые элементы.

Таким образом, анализ ИК изображений и карт ТСПО позволяет проследить уже известные особенности структуры фронтальной зоны Куросио-Ойясио и ее изменчивости (фронты Куросио и Ойясио, межгодовые различия их положения), так и особенности, не наблюдающихся традиционными средствами (количество вихрей различных размеров, формирование струйных выбросов и мезомасштабных вихрей и т.д.).

3. О связи распределения и миграций промысловых объектов с особенностями структуры фронтальной зоны Куроисио-Ойясио

3.1. Зависимость направления миграций сардины, скумбрии и сайры от крупномасштабных особенностей фронтальной зоны Куроисио-Ойясио

Рассмотренные выше особенности структуры и межгодовой изменчивости фронтальной зоны Куроисио-Ойясио оказывают весьма существенное влияние на северные и южные миграции сардины, скумбрии и сайры. В первую очередь было замечено влияние на пути миграций рыб направления первой (северо-восточной) ветви Куроисио (Новиков, 1979). Анализ материалов последующих лет позволил значительно уточнить эти зависимости, связав пути и время миграций рыб с расположением основных фронтов и теплых рингов / II, 2I, 26 /. В конкретных условиях каждого года миграции рыб отличались своими особенностями, но можно выделить три основных их направления. В начальный период северных миграций сардины и скумбрии основную роль играет меандрирование фронта Куроисио и наличие к северу от него крупного теплого вихря первой ветви Куроисио. Большую часть лет цепочка теплых вихрей первой ветви Куроисио обеспечивала возможность миграции сардины к северу вдоль I42-I45° в.д. (рис.8 а). Однако, в некоторые годы интенсивное развитие холодных интрузий в прибрежной зоне вызвало отклонение путей миграций сардины на восток во вторую ветвь Куроисио (1984, 1986 гг.). При этом в марте-апреле 1986 г. в первой ветви Куроисио отсутствовал крупный теплый вихрь (он сформировался только в мае) и скопления сардины мигрировали на север в основном по второй ветви Куроисио (I47-I50° в.д.). Весной 1984 г., несмотря на максимальное развитие первой ветви Ойясио к востоку от нее не существовал крупный (около 100 миль) теплый ринг и миграции сардины проходили вначале по его западной периферии, а затем отклонялись на восток вдоль фронта Ойясио (рис.8 б). В тех случаях, когда одновременно с интенсивным развитием первой ветви Ойясио северо-восточнее м.Инубо формировались мезомасштабные теплые вихри ("выступы"), а ширина зоны Сангарского течения достигала 25-30 миль (1981 г.) создавались условия для миграции рыб на север вдоль фронта Сангарского течения, концентрации их у южных берегов о.Хоккайдо или выхода их во фронтальную зону после того, как температура вод Ойясио (I-5°) повышалась до приемлемых величин (см.рис.3). Это относится как к сар-

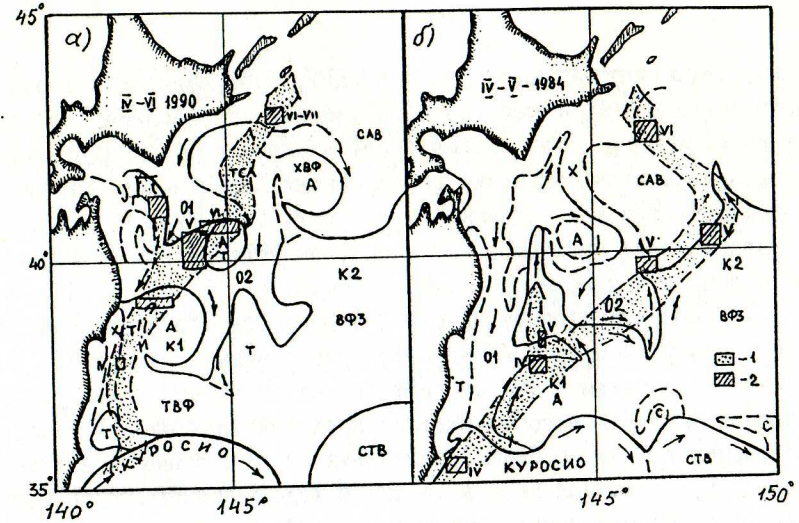


Рис. 8. Пути миграций сардины в годы с различной структурой фронтальной зоны Куроисио-Ойясио  
а) - по первой ветви Куроисио (1990 г.),  
б) - по второй ветви Куроисио (1984 г.)  
I - пути миграций, 2 - районы промысла

дине, так и скумбрии / II /. Кроме того, в тех случаях, когда интрузии Ойясио были развиты слабо, появлялась возможность миграций рыб вдоль фронта Ойясио и рассредоточения на большом пространстве / II, 26 /. На заключительном этапе миграций (июнь-июль) значительную роль играли интенсивность весенне-летнего прогрева верхнего слоя океана. При быстром формировании теплого поверхностного слоя в южно-курильском районе скопления рыб так же быстро мигрировали в традиционные районы нагула / 2I /. Если же в прибрежной зоне сохранялась значительная холодная область (1987 г.), а океанические ветви Куроисио оставались более интенсивными, то создавались условия для миграций рыб (сайры) в район средних Курильских островов, где антициклонические вихри создают условия, благоприятные для нагула / 2I /.

### 3.3. Мезомасштабные образования, благоприятные для концентрации рыб

Несмотря на то, что сардина, сайра и скумбрия распространены на обширных акваториях и в течение года мигрируют через всю

фронтальную зону Куроиси-Ойясио и часть субарктических вод, плотные концентрации рыб, судя по уловам промыслового флота, встречаются в пределах оптимального диапазона температур лишь в определенных океанических образованиях. Причем, разные рыбы концентрируются в однотипных структурах, где, видимо, создаются известные из промысловой океанологии условия (прибрежные фронты в данном случае не рассматриваются).

В конце южных миграций рыб (сардина, скумбрия) их скопления обычно приурочены к сильно трансформированным водам первой ветви Ойясио, а затем к теплым выступам на ее границах (см.рис.7). В период максимального охлаждения верхнего слоя океана скопления рыб формируются в основном вблизи вихрей закручивания на фронте Куроиси (у окончания языков теплых и холодных вод). Если у побережья о.Хонсю формируется мезомасштабный теплый меандр-вихрь - то в его левой, циклонической области. Это, по-видимому, дает им возможность удерживаться в определенном районе с минимальным расходом энергии / 29 /.

В период северных миграций основными районами концентраций рыб являются: западные, северо-западные периферии антициклонов с северными, северо-восточными направлениями течения, вихри закручивания на границах теплых рингов, струйные вторжения, мезомасштабные антициклонические вихри, периферийные участки или теплые затоки в циклонических областях (см.рис.3). В данном случае они позволяют рыбам преодолевать температурные барьеры, двигаться в нужном направлении с наименьшими затратами энергии и находить достаточно корма / II, 29 /.

В период нагула (рис.9 а) основными районами концентрации рыб являются северные фронты антициклонических вихрей, деформированные мелкомасштабными вихрями, холодные затоки в их центральной области (в южно-курильских, средне-курильских вихрях и в вихрях, расположенных восточнее) / II, 27, 29 /. Кроме того, наиболее устойчивые условия для концентрации рыб формируются на фронте между водами Соя и Ойясио, который формируется в Южно-Курильском районе. Реже скопления сайры и сардины наблюдаются на восточном фронте Ойясио и в циклонических вихрях севернее южно-курильских антициклонов / 29 /. По мере увеличения толщины верхнего однородного слоя скопления рыб переходят через термический фронт и начинают располагаться с холодной его стороны в водах Ойясио. Это несколько уменьшает приуроченность скоплений к мезомасштабным циклоническим вихрям (рис. 9 б). В указанных динами-

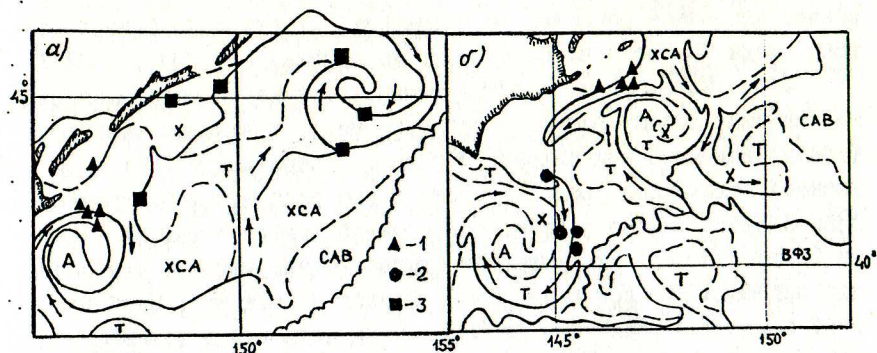


Рис. 9. Районы промысловых концентраций сайры (1), сардины (2), скумбрии (3); а) - 17-19 сентября 1988 г., б) - 27-28 октября 1987 г.

ческих образованиях скопления рыб наблюдаются иногда до конца октября. В частности, скопления скумбрии в 1980 г. оставались в циклонических вихрях севернее субарктического фронта до первой, а в 1979 г. - до третьей декады октября / II /. Мигрируя на юг по второй ветви Ойясио скопления сайры и других рыб часто концентрируются на наиболее обостренных участках фронта Ойясио (между 145 и 150° в.д.), который препятствует их продвижению к югу / 21 /. В ноябре скопления рыб уже, как правило, снова наблюдаются в пределах трансформированных вод первой ветви Ойясио.

#### 3.4. Другие возможности использования карт ТСПО в рыбохозяйственных исследованиях

Кроме определения вероятных путей миграций сардины, сайры и скумбрии и выделения благоприятных для их концентрации участков акватории, которые проводятся регулярно, данные о положении океанических фронтов, течений и вихрей могут быть использованы для изучения и мониторинга условий обитания и миграций других объектов. Условия обитания лемонемы на шельфе южных Курильских островов связаны с положением стрежня Ойясио. В тех случаях, когда течение проходило вдоль свала глубин, наблюдались устойчивые скопления лемонемы и максимальные уловы (от 30 до 80 т/судосутки). Выход на материковый склон мезомасштабного теплого вихря или проникновение вод течения Соя вызывали неустойчивость скоплений и снижение уловов. Подход к материковому склону крупного теплого ринга и ослабление прибрежной ветви Ойясио (1989 г.) вы-



зывает частичное рассеивание скоплений, их отход на северо-восток в воды Ойясио и их погружение на глубину 600-700 м / 23 /.

Скопления морских котиков формируются как и скопления рыб на границах теплых рингов с ветвями Ойясио в районах мезомасштабных циклонических вихрей. В годы с северным ( $36^{\circ}30'$  с.ш. и севернее) положением фронта Куроисио и его рингов, слабым развитием первой ветви Ойясио в сочетании с малой ледовитостью южной части Охотского моря складываются благоприятные условия для северных миграций котиков и их ранний подход на лежбища. Наоборот, в годы с южным и удаленным от Курильских островов положением теплых рингов в сочетании со сложной ледовой обстановкой в Охотском море (1980-1983 гг.) наблюдается поздний подход котиков на лежбища /18/.

По всей вероятности, полученные данные о структуре и изменчивости фронтальной зоны Куроисио-Ойясио могут быть использованы для изучения условий обитания и других объектов промысла.

#### Выводы

1. Термические неоднородности, наблюдаемые на ИК изображениях океана не являются чисто поверхностными явлениями, а отображают термохалинную структуру и динамику вод (течения, фронты, вихри). Их типичные очертания служат индикаторами термодинамических образований.

2. На картах ТСПО получают отображения все известные из традиционной океанологии черты фронтальной зоны Куроисио-Ойясио (течения, их меандры, ветви, крупномасштабные фронты, синоптические вихри, изменчивость с периодами 7-8 и 2 года и 25-30 суток). Кроме того, они позволяют наблюдать особенности структуры фронтальной зоны и ее изменчивости, которые не выделяются по данным традиционных методов исследования: чередование струй и вихрей противоположного вращения, цепь антициклонических образований вдоль Японских и Курильских островов с расстояниями между центрами 120-180 миль, уменьшение устойчивости образований и размеров вихрей восточнее  $150-152^{\circ}$  в.д., узкие (10-30 миль), выклинивающиеся вниз по течению струи, сформированные адвекцией вод в стрежнях течений.

3. Межгодовая изменчивость с периодами 7-8 и 2-3 года проявляется в положении и контрастности фронтов Куроисио и Ойясио, размерах и направлениях движений теплых рингов; с периодами 4 года - в размерах теплых рингов и формировании мезомасштабных вих-

рей восточнее о.Хоккайдо. Однако, все периоды проявляются только на определенных отрезках времени.

4. Сезонная изменчивость проявляется в деформациях фронтов радиационным прогревом и атмосферными воздействиями, а также в смене направлений движения антициклонов Куроисио и согласуется с изменением об интенсификации Куроисио весной и осенью.

5. В меандрировании течения выделяются волнообразные возмущения с длиной 250-320 миль (крупномасштабные меандры Куроисио) 120-160, 60-70, 30-40 и 15-20 миль ("пилобразные возмущения").

6. Преобладающие размеры антициклонических вихрей 100-120 миль; средняя скорость перемещения - 0,5 миль/сутки; время существования от 2-3 месяцев до 4 лет; особенности структуры - в большинстве случаев относительно холодная центральная область. Размеры циклонических вихрей во фронтальной зоне 40-90 миль, скорость перемещения 2 мили в сутки; особенность структуры - большая асимметричность, чем у антициклонов (черты как струй, так и вихрей).

7. Выделяются два вида трансфронтального обмена: периодические формирования струйных вторжений, обусловленные волнами с длиной 150 миль и периодом 25-30 суток и формирование мезомасштабных вихрей.

8. Полумесячная периодичность проявляется в формировании неоднородностей меньшего масштаба и колебаниях участков фронтов.

9. Выделение периодичности в структурных перестройках фронтальной зоны совпадают с периодичностью отдельных океанологических параметров, что подтверждает их реальность.

10. Положение фронта Куроисио и теплых рингов определяет пути северных миграций пелагических рыб по первой или второй ветвям Куроисио или вдоль фронта Сангарского течения.

11. Наиболее благоприятными для концентрации пелагических рыб мезомасштабными образованиями являются циклонические вихри закручивания, теплые струйные вторжения и теплые затоки в циклонических областях (при северных миграциях), холодные области внутри антициклонов (в основном летом) и обостренные участки фронта (в основном при южных миграциях).

12. Кроме условий распределения и миграций сайры, сардины и скумбрии материалы дешифрирования ИК изображений могут быть использованы для изучения и мониторинга условий миграций морских котиков и концентрации глубоководных рыб (лемонемы) на материковом склоне южных Курильских островов.

### III. СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Булатов Н.В. Океанологическое дешифрирование фронтальных зон океана по спутниковым ТВ и ИК снимкам. /Тезисы докл. I съезда советских океанологов. Москва, 20-25 июня 1977 г. М.Наука, 1977, с.180/.
2. Булатов Н.В., Луданник Л.А., Фукс В.Р. Мезомасштабное вихреобразование во фронтальной зоне Куро-Сиво (по данным метеорологических спутников Земли). /Вестник Ленинград.ун-та, 1978, № 18, с.87-94/.
3. Булатов Н.В. О структуре и динамике полос теплых вод севернее субарктического фронта в Тихом океане. /Изв.ТИНРО, 1980, т.104, с.50-57/.
4. Булатов Н.В. Некоторые черты синоптической и межсезонной изменчивости в системе вод Куро-Сиво по данным метеорологических спутников Земли. /Тр.ДВНИГМИ, 1980, вып.80, с.34-45/.
5. Булатов Н.В. Вихревая структура субарктического фронта в северо-западной части Тихого океана. /Уч.записки ЛГУ, 1980, № 403 "Спутниковая океанология" 2, с.61-72/.
6. Булатов Н.В. Определение зон термических контрастов на ИК снимках и их океанологическая интерпретация. § 19 в гл.4 "Определение зон термических контрастов на поверхности океана по ТВ и ИК снимкам. /Инструкция по использованию спутниковой информации для гидрометеорологического обеспечения. Мин-во обороны СССР, Главное упр-е навигации и океанографии, 1981, с.116-122/.
7. Булатов Н.В. Особенности формирования циклонических меандров и вихрей в зоне субарктического фронта (по данным ИСЗ)./Иссл. Земли из космоса, 1982, № 3, с.53-58/.
8. Булатов Н.В. Исследование структуры и изменчивости вод северо-западной части Тихого океана по данным ИСЗ. /Тезисы докл. II Всесоюзной съезда океанологов. Ялта, 10-17 декабря 1982, ч.1, вып.4, Севастополь, 1982, с.65-66/.
9. Булатов Н.В., Лобанов В.Б. Исследование мезомасштабных вихрей восточнее Курильских островов по данным метеорологических спутников Земли. /Исслед. Земли из космоса, 1983, № 3, с.40-47/.
10. Рекомендации по использованию спутниковых ИК снимков в океанологических исследованиях. /Препринт, Владивосток, ТИНРО, 1984, 44 с./.
11. Дьяков В.С., Булатов Н.В., Беляев В.А. Влияние гидрологиче-

- ских условий на распределение скумбрии к востоку от Японии. /Изв. ТИНРО, 1984, т.109, с.73-82/.
12. Булатов Н.В. Структура и изменчивость вод северо-западной части Тихого океана. /В сб."Исследование и рациональное использование биоресурсов дальневосточных и северных морей", тезисы докл.Всесоюзного совещания, Владивосток, 15-17 октября 1985, Владивосток, 1985, с.14-15/.
  13. Булатов Н.В., Харченко А.М. Использование космической информации в рыбном хозяйстве Дальнего Востока. /сб.Проблемы Дальневосточной рыбохозяйственной науки. М., Агропромиздат, 1985, с.74-82/.
  14. Булатов Н.В., Куренная Л.А. О сезонной и синоптической изменчивости горизонтальной термической структуры вод северо-западной части Тихого океана, наблюдаемой на ИК изображениях. /Тезисы докл. III съезда советских океанологов, секция "физика и химия океана". Ленинград, 14-19 декабря 1987. Л., Гидрометеоздат, 1987, с.58-59/.
  15. Митник Л.М., Булатов Н.В., Лобанов В.Б. Синоптические вихри в океане на спутниковых радиолокационных изображениях./Докл. АН СССР, 1989, т.307, № 2, с.454-456/.
  16. Булатов Н.В., Лобанов В.Б., Ломакин А.Ф., Рогачев К.А., Толмачев К.П. История А2: структура и динамика синоптического вихря Куро-Сиво. /Препринт. Владивосток, ТОИ ДВО АН СССР, 1988, с.45/.
  17. Булатов Н.В. Опыт использования спутниковой информации для изучения фронтальной зоны Куро-Сиво и обеспечения промысла. /Тезисы докл. Всесоюзной конф. "Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы". Звенигород, 1989. М., 1989, с.12/.
  18. Ащепков А.Т., Булатов Н.В., Муктепавел Л.С. Использование спутниковой информации при определении сроков промысла и воспроизводства северных морских котиков. /Тезисы докл. Всесоюзной конф. "Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы". Звенигород, апрель 1989, М., 1989, с.39/.
  19. Булатов Н.В. Спутниковые наблюдения взаимодействия вихрей с течениями. /В сб."Дистанционные исследования океана". Владивосток, ТИНРО-ВНИРО, 1990, с.32-44/.
  20. Лобанов В.Б., Рогачев К.А., Булатов Н.В., Ломакин А.Ф.,

- Толмачев К.П. Долгопериодная эволюция теплого вихря Курошио. /Докл. АН СССР, 1991, т.317, № 4, с.984-988/.
21. Novikov J.V., Ivanov A.V., Bulatov N.V. Pelagic fish stocks in North-Western Pacific and their commercial harvesting perspectives. /Bull. of the Japanese society of Fisheries Oceanography. Vol.55, No.1, 1991, pp.63-72/.
22. Bulatov N.V., Lobanov V.B. Monitoring of the Kuroshio warm-core rings during 1986-1990. / The 6 th IECSS Workshop, Fukuoka, april 22-27 1991, Abstracts, p. 17 /.
23. Савин А.Б., Булатов Н.В. Влияние динамики вод на промысел лемонемы. /Тезисы докл. Всесоюзной научной конф. "Проблемы рыбопромыслового прогнозирования", Калининград, 5-7 июня 1991. Калининград, 1991, с.114-115/.
24. Рогачев К.А., Булатов Н.В. Долгопериодная изменчивость структуры субарктической фронтальной зоны Курошио-Ойясио, определенная по спутниковой информации. /Исслед. Земли из космоса. 1991, № 4, с.104-110/.
25. Булатов Н.В., Харченко А.М. Результаты и проблемы использования спутниковых данных в исследованиях ТИПРО. /Тезисы докл. Всесоюзной конф. "Рациональное использование биоресурсов Тихого океана". Владивосток, 8-10 октября 1991, Владивосток, 1991, с.27-28/.
26. Булатов Н.В., Кеня В.С. Зависимость путей северных миграций сардины от крупномасштабных особенностей развития фронтальной зоны Курошио. /Тезисы докл. Всесоюзной конф. "Рациональное использование биоресурсов Тихого океана", Владивосток, 8-10 октября 1991, Владивосток, 1991, с.25-26/.
27. Bulatov N.V., Lobanov V.B. Influence of Kuroshio warm-core rings on hydrographic and fishery conditions off Southern Kuril Islands. / Proc. PORSEC-92, Okinawa, Japan, August 25-31, 1992, pp. 1127-1131 /.
28. Булатов Н.В. О возможности типизации синоптических процессов во фронтальной зоне Курошио по данным спутниковых и судовых наблюдений. /Тезисы докл. IX Конф. по промысловой океанологии. Калининград, 20-25 сентября 1993 г., Москва, 1993, с.263-265/.
29. Булатов Н.В. Опыт выделения районов, благоприятных для концентрации пелагических рыб по спутниковым ИК изображениям океана. /Тезисы докл. IX Конф. по промысловой океанологии. Калининград, 20-25 сентября 1993 г., Москва, 1993, с.265-266.

Отпечатано в ТИПРО. Тупик Шевченко, 4. Тираж 80 экз.