

# Океанологические образования, благоприятные для концентрации пелагических рыб по инфракрасным данным ИСЗ NOAA

Н.В. Булатов, Е.В. Самко, И.Л. Цыпышева

Федеральное государственное унитарное предприятие  
Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр  
(ТИНРО-Центр)  
690950, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4  
E-mail: [samko@tinro.ru](mailto:samko@tinro.ru)

По спутниковым ИК снимкам, полученным в режиме автоматической передачи изображений (АРТ) с ИСЗ NOAA в 1979-2001 гг., и данным о промысле пелагических рыб на акватории к востоку от Японии определены океанологические образования, на акватории которых велся успешный промысел пелагических рыб. Основными районами промысла являются зоны прибрежного и океанического апвеллинга, где, благодаря восходящему движению глубинных вод, поверхностные воды обогащаются биогенными элементами, создается богатая питательная среда для зоопланктона, который является основным кормом для пелагических рыб. Это, прежде всего районы фронтальных зон, области циклонических круговоротов, области взаимодействия теплых и холодных вод. Выявлены закономерности распределения промысловых объектов в зависимости от наблюдавшихся океанических образований.

## Введение

Зависимость распределения рыб от гидрологических условий в океане, в частности их приуроченность к океаническим фронтам - границам вод с различными свойствами (по определению К.Н.Федорова [1]), была известна задолго до начала спутниковых исследований океана [2].

В то же время хорошо известно, что фронты имеют протяженность сотни и тысячи миль, а промысловые скопления встречаются на их ограниченных участках. Известно так же, что плотные скопления рыб встречаются во взаимных вклиниваниях разнородных (теплых, холодных) вод, в различных «языках», затоках и т. д. Как обнаружить эти взаимные вторжения различных вод и другие океанические образования синоптического масштаба?

Еще в 1980 годах, на некоторых промысловых и поисковых судах были установлены станции АРТ типа SU-8 для приема метеорологической информации с ИСЗ NOAA в виде телевизионных (ТВ) и инфракрасных (ИК) изображений (рис. 1), однако специалисты-дешифровщики для анали-

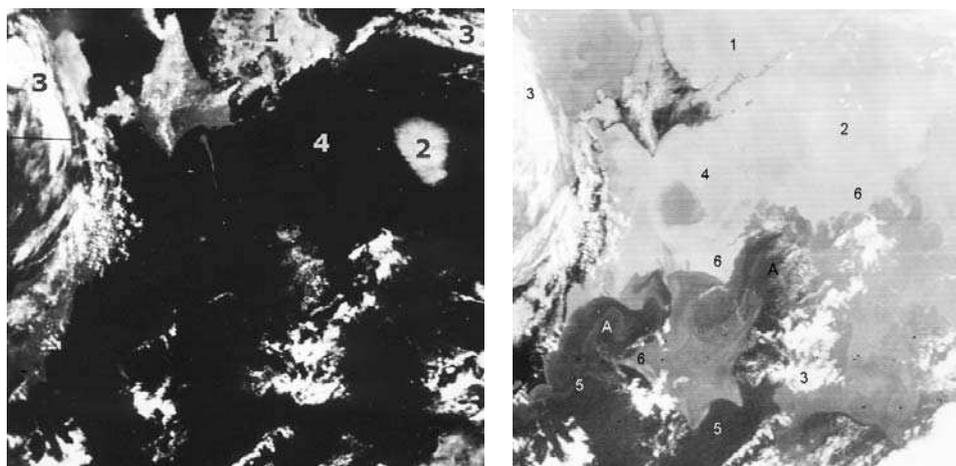


Рис. 1. Изображения северо-западной части Тихого Океана со спутника NOAA  
а) телевизионное (ТВ); б) инфракрасное (ИК)

1 – лед в Охотском море; 2 – низкая облачность; 3 – высокая облачность; 4 – открытая поверхность океана

за этих данных практически отсутствовали, в результате чего станции оказались бесполезными для поиска рыбы. В связи с чем, лаборатория космических методов исследования океана ТИНРО-Центра начала работы по совместному анализу спутниковой и промысловой информации, сначала для определения степени полезности спутниковой информации при оперативном получении и использовании её для выделения наиболее перспективных для промысла районов акватории и океанических образований (рис. 2), а затем и для описания перспективных для промысла образований. При выполнении исследований, авторы опирались на совместный анализ судовых и спутниковых данных, показанный в [3], а также других работах, например в [4, 5].

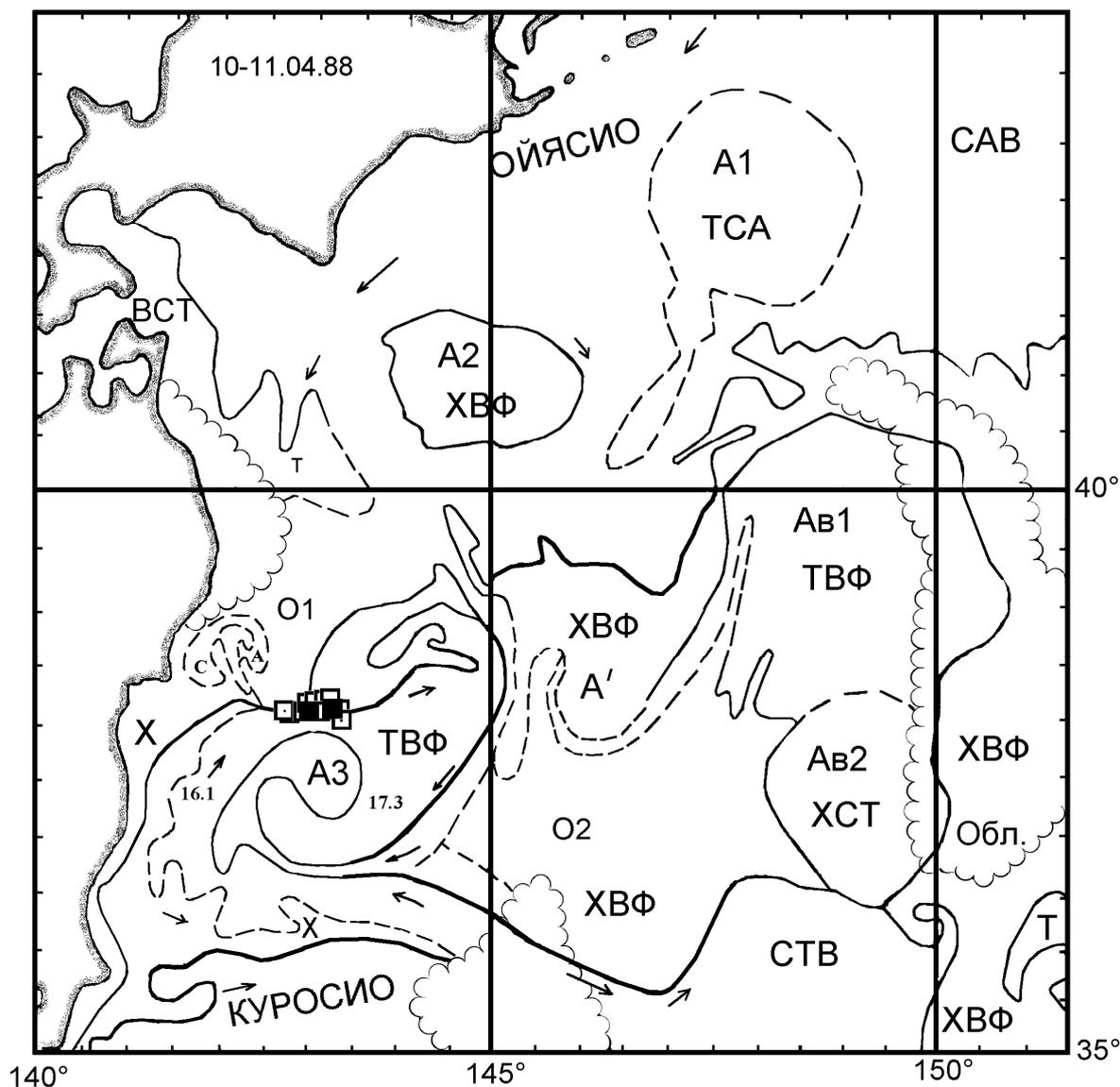


Рис. 2. Карта термической структуры поверхности океана, построенная по изображениям, показанным на рис. 1, и распределение промысла

■ – координаты тралений с уловами

■ – координаты траления с максимальным уловом

САВ – Субарктические воды; ТСА – теплые САВ; ХСА – наиболее холодные САВ; ВФЗ – воды фронтальной зоны; ТВФ – теплые ВФЗ; ХВФ – относительно холодные ВФЗ; СВТ – субтропические воды; ТСТ – относительно теплые СВТ; ХСТ – относительно холодные СВТ; ВСТ – воды Сангарского течения; Т – теплые участки; Х – холодные участки; А – антициклонические вихри; С – циклонические вихри; О1, О2 – ветви Ойясио; стрелки – предполагаемое движение вод; Обл. – облачность

В представленной статье не ставится задача исследования условий концентрации пелагических рыб, а показывается, как районы (участки акватории), где она концентрируется, выглядят на космических ИК изображениях района, в каких океанологических образованиях формируются промысловые районы. Как обычно, за районы, благоприятные для концентрации рыб, приняты районы работы промыслового флота. Хотя известно, что не вся акватория района равномерно покрывается судовым поиском, и, очевидно, имеются океанологические образования, в которых также может концентрироваться рыба, но информации подтверждающей это нет.

Целью представленной работы является определение океанологических образований, на акватории которых велся успешный промысел пелагических рыб (на примере сардины, скумбрии и сайры), а также выявление закономерностей распределения промысловых объектов в зависимости от наблюдавшихся океанических образований, выделенных по ИК изображениям с ИСЗ NOAA.

Район исследований – Северо-Западная часть Тихого океана – условно ограничен координатами 35-45°с. ш., 140-160° в. д.

### **Материал и методика**

Материалом для работы служили ИК снимки, полученные в режиме автоматической передачи изображений (АРТ) с ИСЗ NOAA в 1979-2001 гг. Обработка ИК снимков проводилась в соответствии с методическими рекомендациями [3] и заключалась в визуальном дешифрировании изображений, по результатам которого строились карты термической структуры поверхности океана (ТСПО). Одновременно производилась океанологическая интерпретация выделенных ярких неоднородностей (образований). В работе использовались 250 карт ТСПО, дешифрированные с ИК изображений (для тех случаев, когда над районами промысла не было облачности или она была незначительной).

Для того чтобы определить значения ТПО, использовались данные метеосводок (1979-1984 гг.), а также трехдневные карты ТПО, передаваемые Японским рыболовным и метеорологическим агентством JFA-FAX (1979-1995 гг.), всего 85 карт.

В качестве промысловой информации использовались данные о промысле сайры, сардины и скумбрии системы «РИФ», существовавшей до 1990 г., а позже – данные промысловых сводок. Промысловая информация предоставлена лабораторией регионального центра данных (РЦД) ТИНРО-Центра.

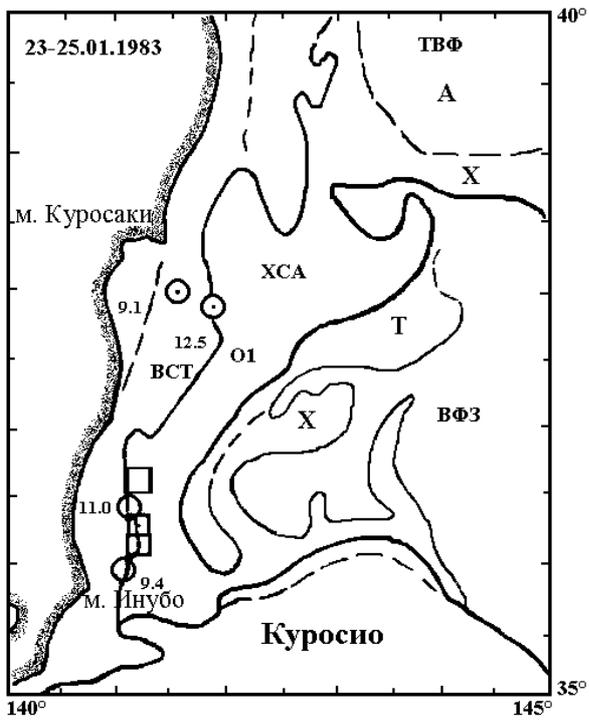
### **Анализ и обсуждение результатов**

Биология пелагических рыб, живущих в верхних слоях северо-западной части Тихого океана, состоит в том, что нерест, размножение протекает в сравнительно теплых субтропических водах, а с началом весеннего прогрева их косяки устремляются на север, пересекая Субарктический фронт, в зоны нагула.

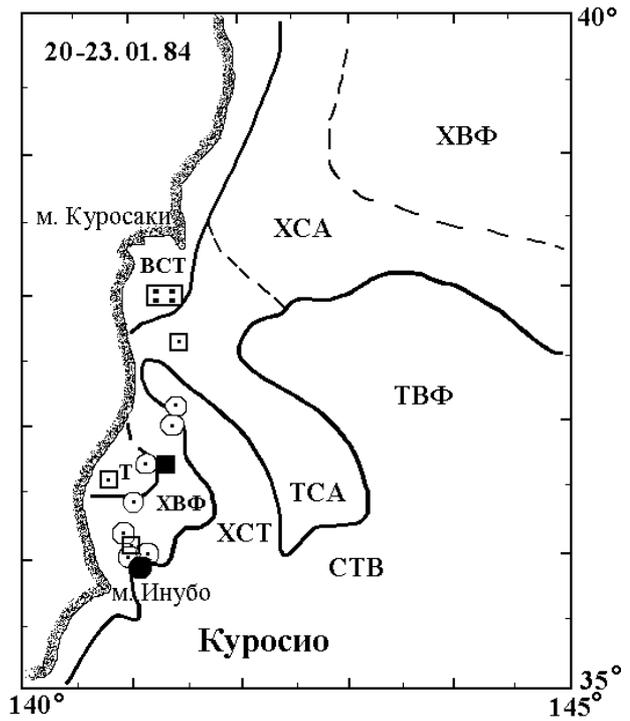
Рассмотрим участки исследуемой акватории по сезонам, которые отличаются от календарных на 1 месяц (по реальным гидрологическим процессам в океане). Например, зима – это январь-март, и далее соответственно.

В начале зимы (январь) сардина и скумбрия продолжали мигрировать на юг. При развитой первой ветви Ойясио (доходящей до м. Инубо и фронта Куроисио) их плотные скопления формировались в основном на его западном фронте (фронт между Ойясио и Сангарским течением), где преобладали южные течения (рис. 3, а).

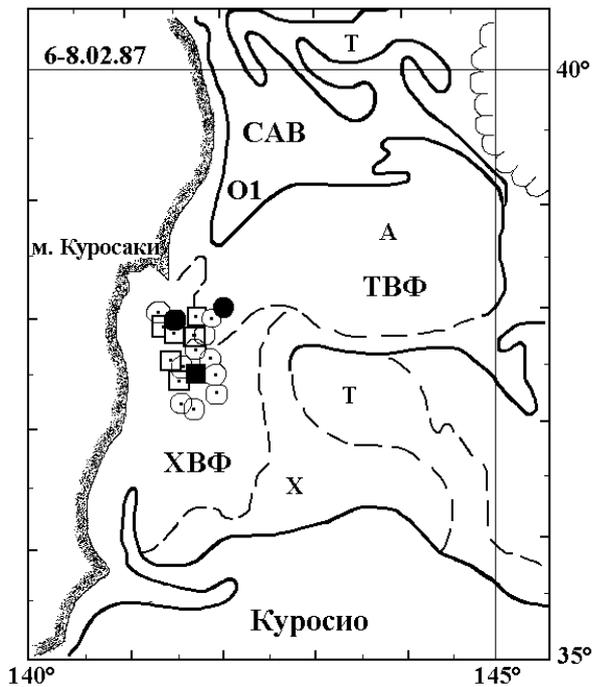
Обычно выделялись два района промысловых скоплений рыб: юго-восточнее м. Куроаки и северо-восточнее м. Инубо (рис. 3, а, б.). В тех случаях, если восточнее м. Инубо формировались крупные теплые выступы или мезомасштабные вихри, скопления рыб формировались на фронтах этих образований, придерживаясь их левой циклонической стороны (см. рис. 3, б).



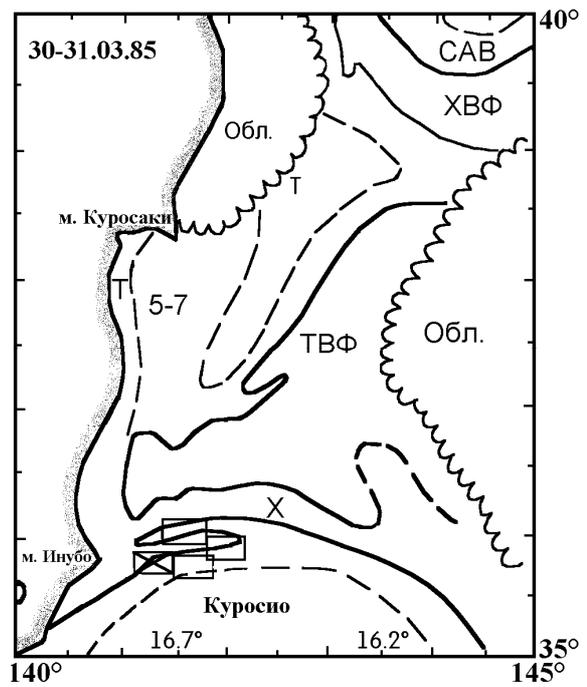
а



б



в



г

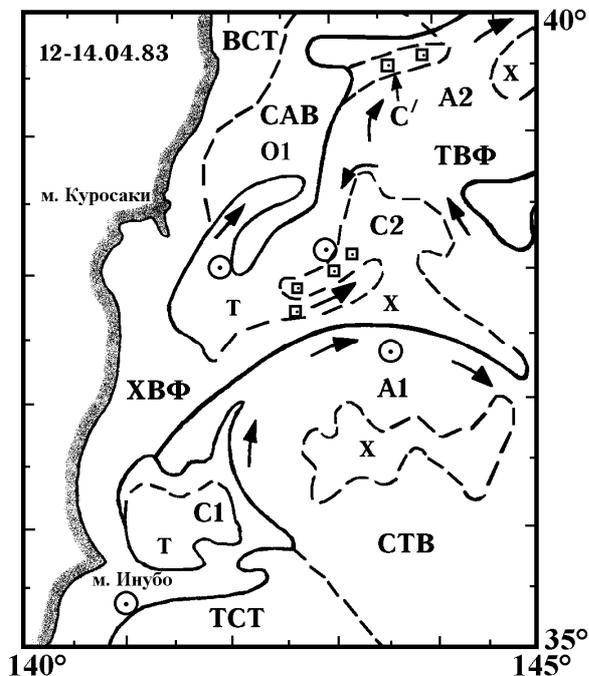
Рис. 3. Карты фронтологического анализа за зимний сезон и распределение промысла  
 а) 23-25.01.1983 г., б) 20-23.01.1984 г., в) 6-7.02.1987 г., г) 30-31.03.1985 г.  
 Условные обозначения рис. 2.

– уловы и район промысла сардины;  

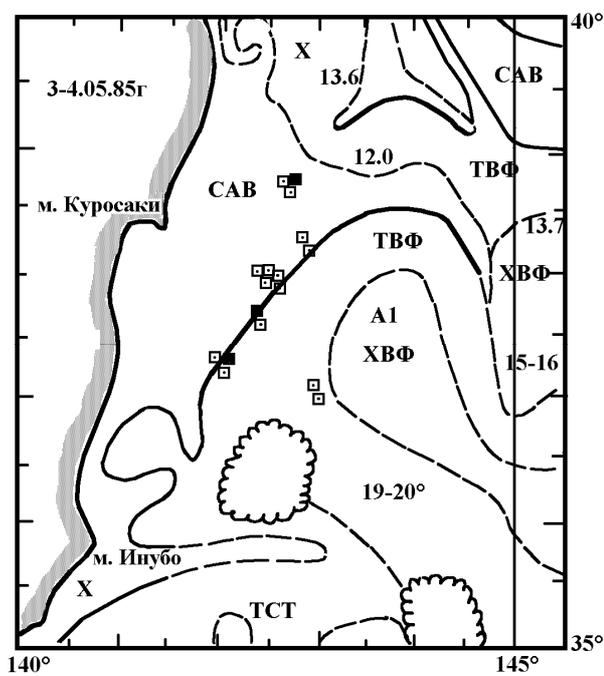
 – уловы и район промысла скумбрии; 
 – максимальные уловы

При слабо развитой первой ветви Ойясио (O1), доходящей лишь до 38.00-39.00° с. ш., южнее нее оставалась малоградиентная область фронтальной зоны. В этих случаях промысловые скоп-

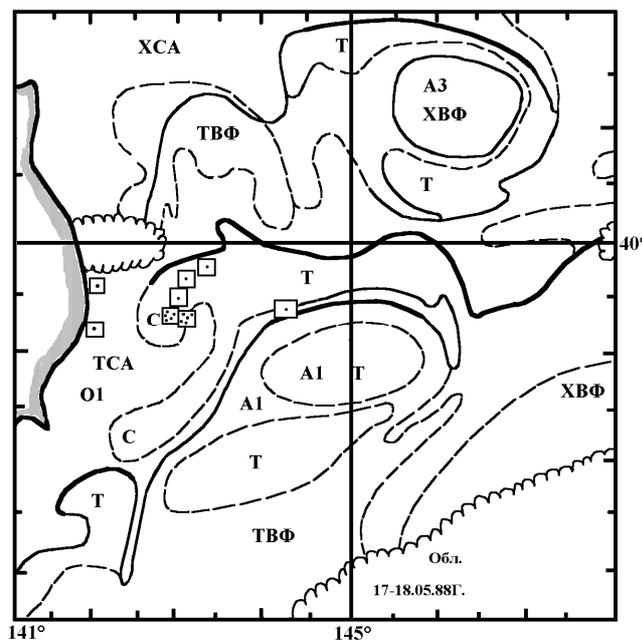
ления рыб формировались на локальных фронтах между относительно теплыми (ТВФ) и холодными (ХВФ) водами фронтальной зоны (рис. 3, в). В течение зимы скопления рыб постепенно спускались на юг и в конце зимнего периода (в марте) они в большинстве случаев концентрировались на фронте Курошио. Как правило, плотные концентрации сардины и скумбрии формировались в циклонических «вихрях закручивания» на левой периферии течения (рис. 3, г). На ИК изображениях эти вихри имеют вид «опрокидывающейся волны», и скопления рыб часто наблюдались в окончаниях «языков» теплых и холодных вод.



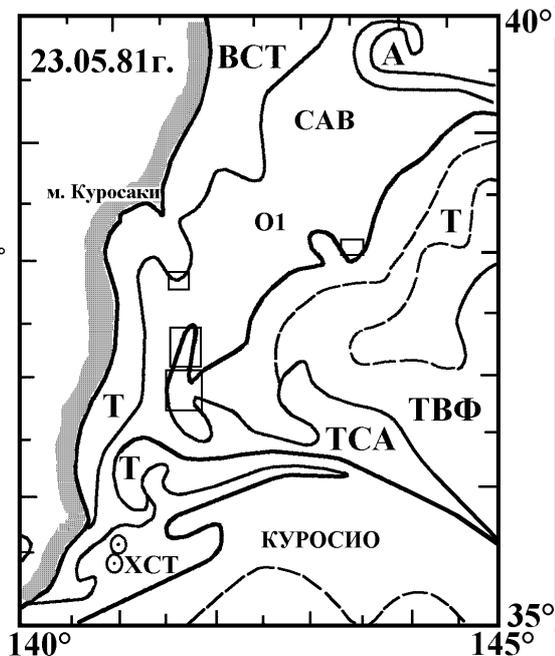
a



б



в



г

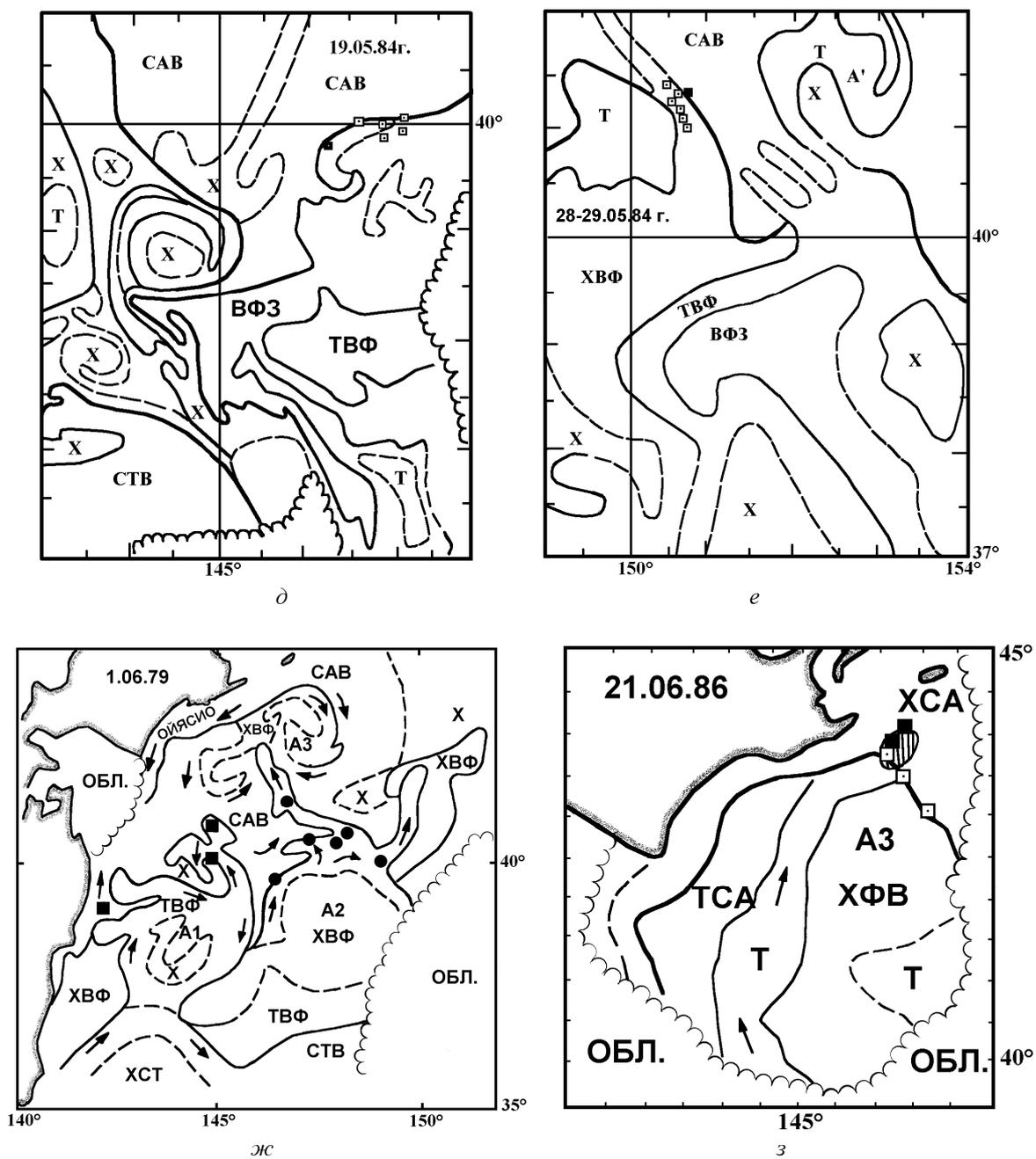


Рис. 4. Карты фронтологического анализа за весенний сезон и распределение промысла  
 а) 12-14.04.1983 г., б) 3-4.05.1985 г., в) 17-18.05.1988 г., г) 23.05.1981 г.,  
 д) 19.05.1984 г., е) 28.05.1984 г., ж) 1.06.1979 г., з) 21.06.1986 г.

Условные обозначения рис. 2.

- — уловы и район промысла сардины;
- ⊙ — уловы скумбрии; ■ — максимальный улов сардины

В весенний период пелагические рыбы (скумбрия, сардина, сайра) мигрируют на север в районы нагула. Как правило, пути миграций пролегают вдоль северо-восточной (первой) ветви Куро-сио и по западным перифериям антициклонических вихрей. В большинстве своем эти антициклоны представляют собой ринги Куро-сио с теплым ядром, хотя по мере продвижения на север их структура сильно меняется. Между первой ветвью Ойясио (О1) и антициклонами северо-восточной ветви Куро-сио (А1 и А2 на рис. 4, а), а так же между самими антициклонами всегда

формируются вихри и области циклонического вращения вод (С1 С2 на рис. 4, а). Этим районам присущи участки апвеллинга, а также чередование участков с различными термическими характеристиками вод и разнонаправленными течениями. По-видимому, это позволяет рыбам выбирать наиболее благоприятные для них в данный момент участки акватории – двигаться на север или задержаться в данном районе. В тех случаях, когда область первой ветви Ойясио и северо-восточной ветви Куроисио более однородны, а фронт между ними имеет более простую форму, скопления рыб наблюдаются именно на фронте или вблизи него. Причем наиболее крупные уловы встречаются именно на фронте (рис. 4, б).

Многолетние наблюдения позволили произвести условную классификацию океанологических ситуаций на «нормальные», «холодные», «теплые» года.

Определения «теплый», «холодный» годы чисто условные. В данной работе к «холодным» годам относятся годы с интенсивным развитием первой ветви Ойясио, когда ее воды с ТПО 2-3°C доходят до м. Инубо и фронта Куроисио, и ослабленной первой (северо-восточной) ветвью Куроисио в зимне-весенний период. К ним относится первая половина 1980-х лет. Особенно ярко эти характеристики проявлялись в 1984 и 1986 гг. В восточной части района эти годы были «нормальными» или «теплыми».

К «теплым» годам в данной работе отнесены годы, когда в первой ветви Куроисио формировались крупные (100-120 миль в диаметре) ринги Куроисио с теплым ядром. К ним относится вторая половина 1980-х лет, когда теплые вихри в летний период доходили до средних Курильских островов. Первая ветвь Ойясио была ослаблена, более развитой была вторая ветвь Ойясио. В первой половине 1990-х годов теплые вихри снова были ослабленными, а во второй – более крупными и активными. Хотя по значениям температуры поверхности океана (ТПО) некоторые годы, например, 1990 год, могут быть отнесены к теплым.

В «нормальные годы» в середине и конце мая скопления сардины, продвигаясь к северу вдоль фронта северо-восточной ветви Куроисио, приближаются к Субарктическому фронту или к северным границам южных антициклонов фронтальной зоны (А1 на рис. 4, в). Как правило, наиболее крупные скопления рыб формируются в циклонических вихрях закручивания между первой ветвью Ойясио О1 и антициклонами северо-восточной ветви Куроисио.

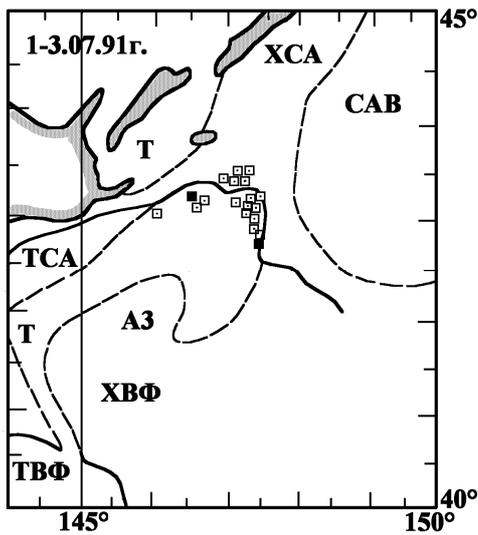
В холодные годы, когда первая ветвь Ойясио и в мае доходила до м. Инубо (1981 г.) скопления рыб до конца мая задерживались в южной части фронтальной зоны: скумбрия в трансформированных субтропических водах, а сардина в неоднородностях фронта северо-восточной ветви Куроисио (рис. 4, г).

В годы, когда северо-восточная ветвь Куроисио была ослаблена (1984, 1986 гг.) скопления рыб мигрировали на север по второй ветви Куроисио (рис. 4, б, е), придерживаясь циклонических деформаций фронта (см. рисунок 4, б). В конце мая – начале июня рыбы преодолевали температурный барьер Субарктического фронта, пользуясь теплыми затоками в циклонические вихри и теплыми стриммерами, проникающими в северные (южно-Курильские) антициклоны фронтальной зоны (рис. 4, е, ж).

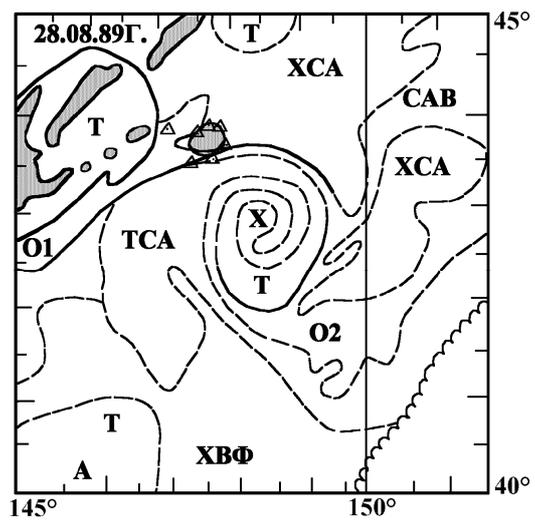
К концу июня большинство скоплений концентрировались на северных фронтах южно-Курильских антициклонов и в прилегающих субарктических (относительно теплых) водах (рис. 4, з).

В летний период (начиная с июня) повторяемость облачности над океаном значительно увеличивается, а термические фронты на поверхности океана размываются в результате радиационного прогрева. Поэтому количество изображений океана существенно уменьшается. Уменьшается и возможность проследить океанические образования, в которых концентрируются рыбы.

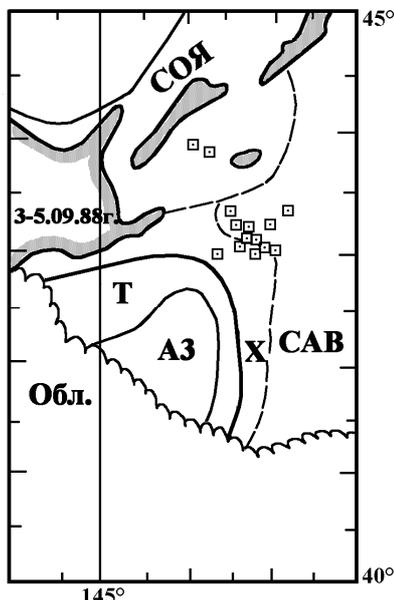
В начале летнего периода (июль) большая часть скопления сардины оставалась на северных фронтах южно-Курильских антициклонов (рис. 5, а). К концу июля они проникали уже в Южно-Курильский пролив и в Охотское море, если там образовались фронты между водами течения Соя и относительно холодными водами, проникающими из океана через пролив Екатерины (рис. 5, б). Такая ситуация возникает в годы, когда вблизи Южных Курильских островов проходят наиболее крупные антициклонические вихри Куроисио (1987-1989 гг.), и воды Ойясио отклоняются к запа-



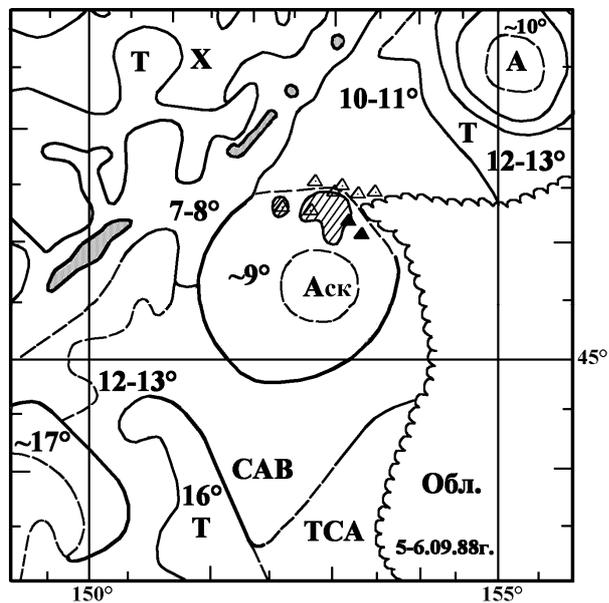
a



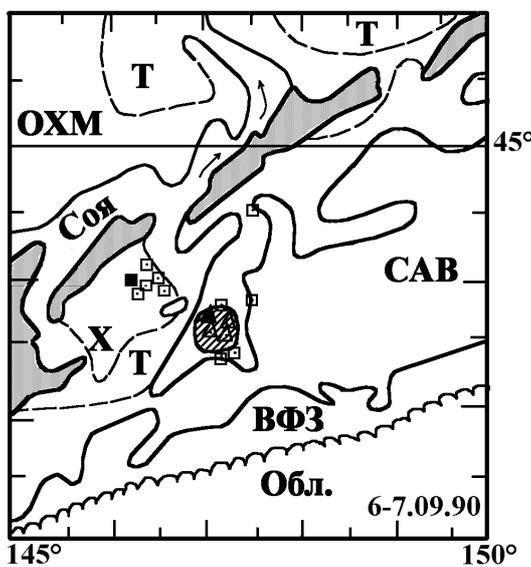
б



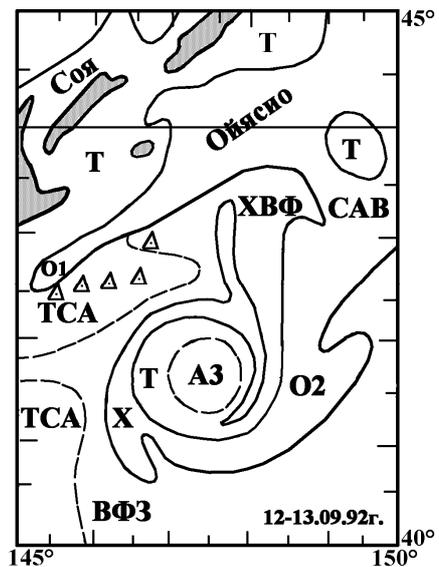
в



г



д



е

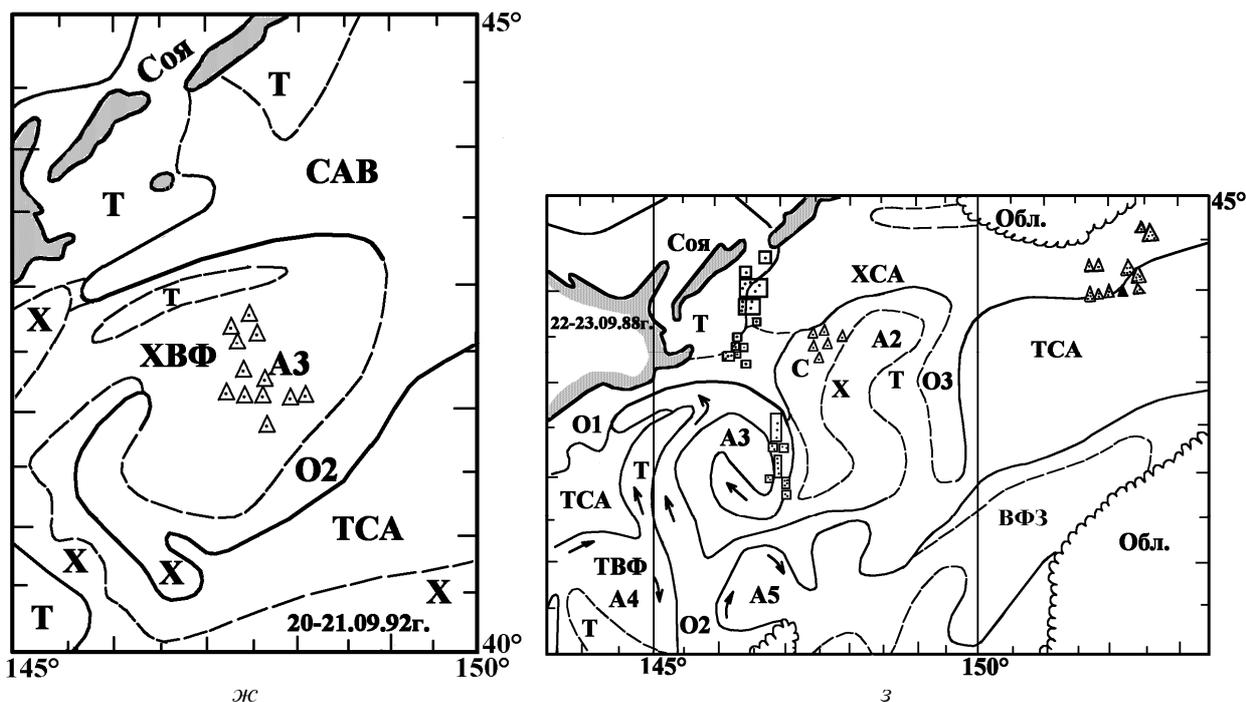


Рис. 5. Карты фронтологического анализа за летний сезон и распределение промысла  
 а) 1.07.1991 г., б) 28.08.1989 г., в) 3-5.09.1988 г., г) 5-6.09.1988г.,  
 д) 7.09.1990 г., е) 12-13.09.1992 г., ж) 20-21.09.1992 г., з) 22-23.09.1988 г.  
 Условные обозначения рис. 2.

□ – уловы сардины; ⊙ – уловы скумбрии; △ (штрихованное) – уловы и районы промысла сайры;  
 □ (черное) ■ ▲ – максимальный улов сардины и сайры

ду. Устойчивыми районами промысла сардины были районы отделения второй ветви Ойясио от основного течения в Южно-Курильский пролив (рис. 5, в).

В те же годы с крупными антициклонами в Курильском районе часть промысловых скоплений сайры поднималась на север до  $46^{\circ}$ - $47^{\circ}$ с. ш. и концентрировались на северной периферии среднекурильских (Аск) антициклонов (рис. 5, г).

В сентябре скопления рыб начинали смещаться к югу. В теплые годы (1990 г.) скопления сардины оставались в водах Южно-Курильского пролива вблизи фронта с более теплыми водами течения Соя. Наиболее крупные уловы отмечались в водах пролива. Другая часть скоплений сардины находилась в южной части слаботрансформированных вод Ойясио, а так же на фронтах этой холодной струи, которая в этом случае доходила только до  $43^{\circ}$ с. ш. (рис. 5, д). В том же образовании находились скопления сайры (см. рис. 5, д). Примерно при таких же условиях (1992 г.) к середине сентября скопления сайры смещались в трансформированные воды Ойясио (ТСА), а затем в центральную часть теплого вихря (рис. 5, е, ж). Нужно заметить, что вихрь имел спиралевидную структуру, образованную его взаимодействием с Ойясио (см. рис. 5, е), но в третьей декаде месяца локальные фронты внутри вихря размывались, и образовалась однородная область смешанных вод, благоприятных для концентрации сайры (см. рис. 5, ж).

В упоминавшиеся выше годы, с прохождением крупных теплых вихрей через Курильский район, скопления сайры, формировавшиеся в районе средне-Курильских вихрей, смещались на юг и задерживались на северной ветви Субарктического фронта (рис. 5, з). Другая группа скоплений задерживалась в теплой области, образованной антициклоническим вихрем А2 и циклоническим вихрем (С), между двумя антициклонами А2 и А3 (см. рис. 5, з). Сардина в конце сентября так же встречалась в двух океанических образованиях. Одна группа скоплений задерживалась на фронте между водами течений Соя и Ойясио на границе Южно-Курильского пролива. Другая группа скоплений сардины в конце месяца заметно продвинулась к югу и находилась на восточной перифе-

рии теплого ринга А3 и его фронта со второй ветвью Ойясио (см. рис. 5, з), где преобладали южные течения, попутные миграциям.

В начале осеннего периода (октябрь) значительная часть скопления рыб продолжала оставаться в районах нагула. Типичная ситуация показана на рис. 6, а, б. В тех случаях, когда воды Ойясио, благодаря антициклоническому вращению, проникают в относительно теплые воды Южно-Курильского пролива (воды течения Соя), скопления сайры формировались в вершинах холодного залива (см. рис. 6, а). При относительно южном положении Южно-Курильского антициклона (А3) типичными районами скопления сайры оставались восточный и западный фронты Ойясио (см. рис. 6, б). Причем наиболее крупные уловы отмечались с холодной стороны фронтов, в водах Ойясио. Скопления сардины наблюдались на широком пространстве: на фронтах ринга А3 и на фронте течения Соя (см. рис. 6, б). Скопления скумбрии находились юго-западнее, на локальных фронтах в циклонической области (С) между антициклонами А3 и А4, а так же на фронте Сангарского течения (граница зоны ВСТ на рис. 6, б). Наиболее крупный улов отмечался именно на фронте Сангарского течения в конце октября.

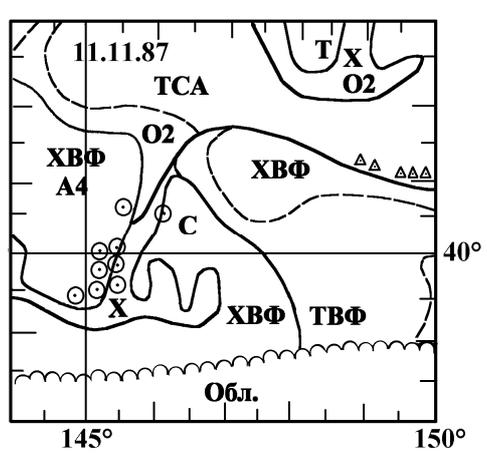
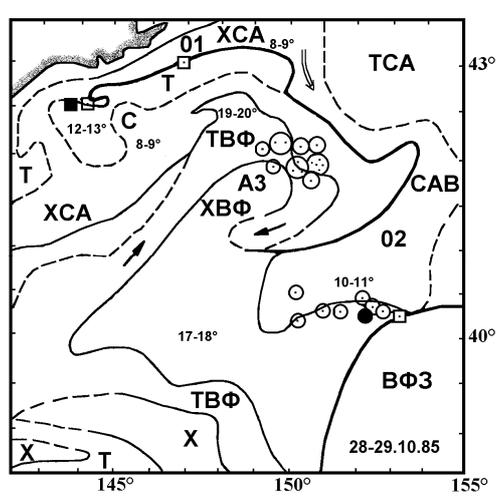
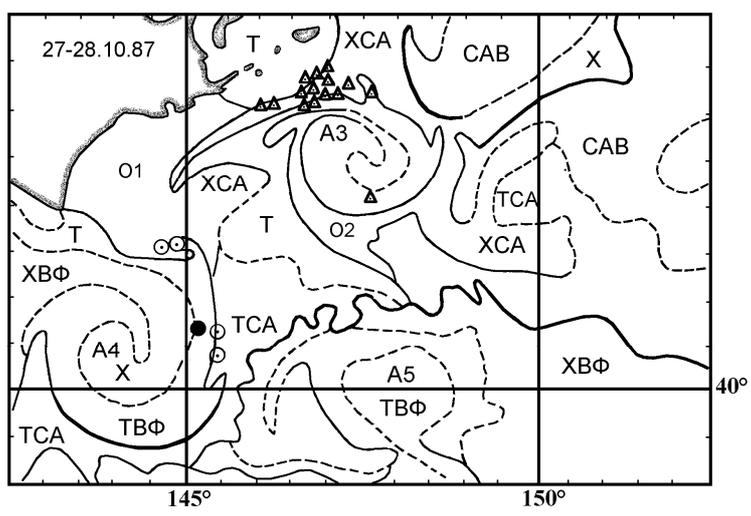
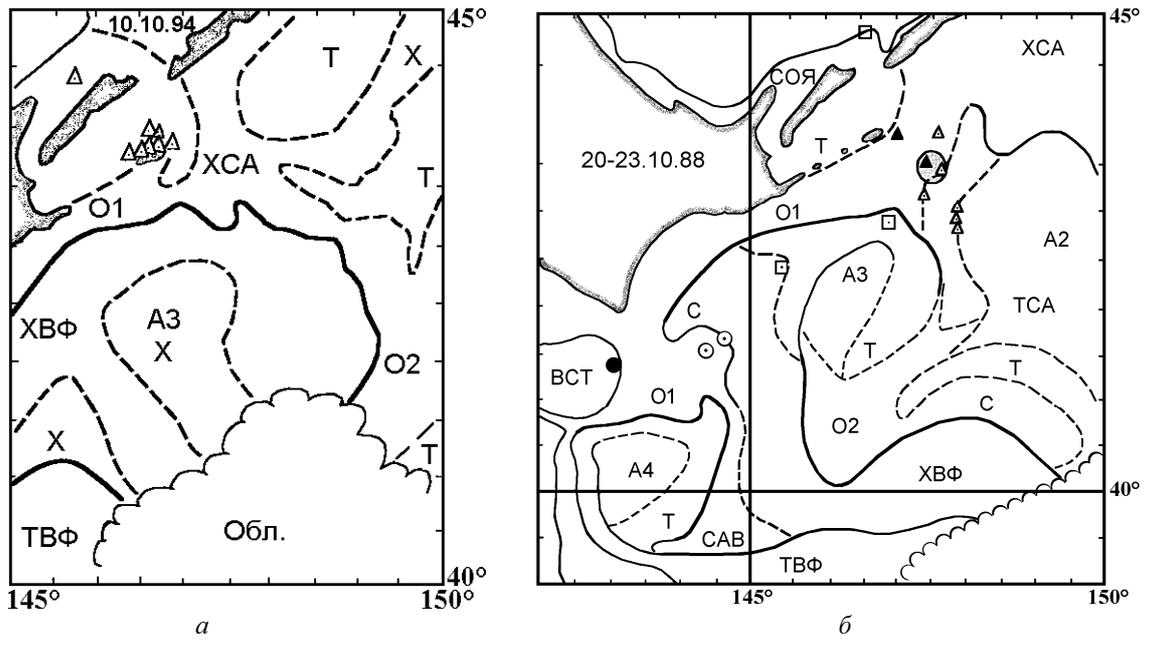
При подходе активных теплых рингов Куроисио к Малой Курильской гряде (1987 г.) и уменьшении ширины первой ветви Ойясио, скопления сайры с западного и восточного фронтов Ойясио формировали один промысловый район. Как правило, он находился вблизи от разделения течения Ойясио на прибрежную (О1) и океанскую ветви (рис. 6, в). Скопления скумбрии в это время находились на основном и вторичном (внутреннем) фронтах на восточной периферии южного антициклона А4, а так же на его северной границе в мезомасштабных циклонических вихрях (см. рис. 6, в). В том и другом районе течения были попутными южным миграциям рыб. Значения ТПО в районе концентраций скумбрии были 16-17°C.

При более высоких ТПО (1985 г. – в водах Ойясио 8-9°C, в ядре северного теплого ринга А3 – 19-20°C) в конце октября скопления сардины мигрировали в южном направлении по восточному фронту первой ветви Ойясио у берегов о. Хоккайдо, задерживаясь в циклонических вихрях закручивания при ТПО 12-13°C (рис. 6, г). Скопления скумбрии в этом случае концентрировались в двух районах: в центральной части теплого ринга А3 на внутреннем, но высоко градиентном фронте (перепад ТПО от 19-20°C до 8-9°C) и на южном фронте второй ветви Ойясио с перепадом ТПО от 17-18°C до 10-11°C (см. рис. 6, г). Нужно заметить, что на фронте второй ветви Ойясио большая часть уловов находилась с теплой южной стороны фронта. Частично там же отмечались уловы сардины (см. рис. 6, г). В ноябре скумбрия продолжала мигрировать на юг вдоль второй ветви Ойясио и восточной периферии теплого вихря А4 (1987 г.). Фактически ситуация на рис. 6, д – продолжение ситуации, показанной на рис. 6, в, и аналогична ситуации сентября 1988 г, показанной на рис. 5, з.

Скопления сайры, мигрирующие по восточным ветвям субарктических вод в начале ноября, задерживались на Субарктическом фронте между (148 и 150° в. д.) (см. рис. 6, д). Во второй половине ноября крупные скопления сайры отмечались в зоне первой ветви Ойясио, главным образом в смешанных и трансформированных водах (рис. 6, е). Нужно заметить, что наиболее крупные уловы снова наблюдались в вихре закручивания между противоположно направленными течениями – первыми ветвями Куроисио (СТВ) и Ойясио (ТСА). В то же время в этот период осеннего усиления северо-восточной ветви Куроисио между субтропическими и субарктическими водами наблюдалось несколько фронтов (см. рис. 6, е). Информация о распределении пелагических рыб на других участках рассматриваемой акватории отсутствует.

При более однородной первой ветви Ойясио, сформированной смешанными (Ойясио – О1, Сангарское течение – ВСТ, северо-восточная ветвь Куроисио – ТВФ) водами крупные скопления скумбрии в конце ноября находились в ее водах и на фронте с Сангарским течением и северо-восточной ветвью Куроисио. Более крупные скопления снова наблюдались юго-восточнее м. Куросаки. (рис. 6, ж). В декабре распределение сардины и скумбрии уже напоминает зимнее. Если у побережья о. Хонсю образуется холодная прибрежная зона (Х), то скопления рыб формируются вдоль ее фронта с водами фронтальной зоны (ТВФ, ХВФ) – рис. 6, з. Если холодная зона

первой ветви Ойясио отходит от побережья, то скопления рыб занимают уже южное «зимнее» положение на западном фронте и в «вихрях закручивания» на фронте Куроисио (см. рис. 3, а).



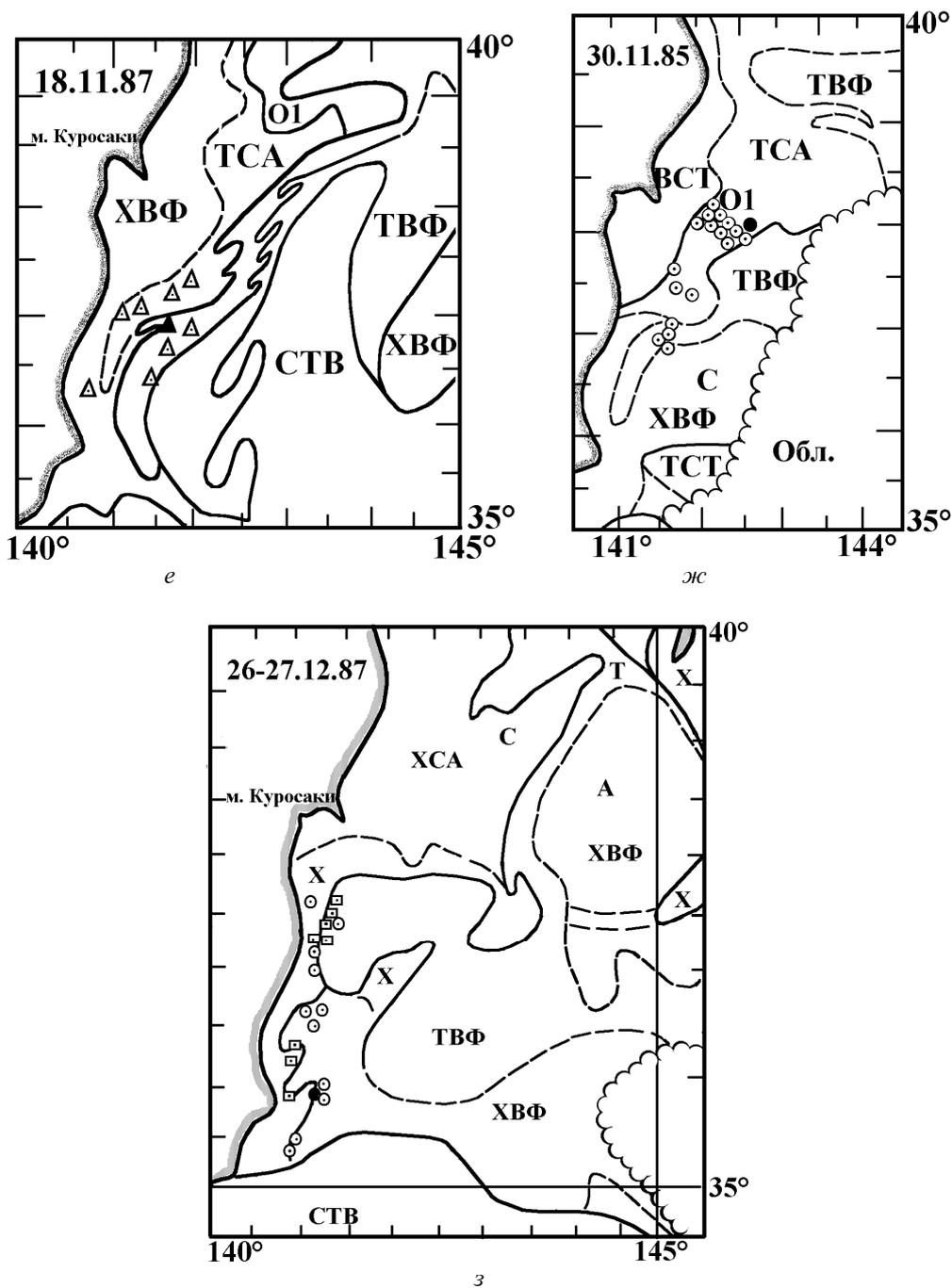


Рис. 6. Карты фронтологического анализа в осенний сезон и распределение промысла  
 а) 10.10.1994 г., б) 20-23.10.1998 г., в) 27-28.10.1987 г., г) 28-29.10.1985 г. д) 11.11.1987 г., е) 18.11.1997 г., ж) 30.11.1985 г., з) 26-27.10.1985 г.

Условные обозначения рис. 2.

- – уловы и район промысла сардины; ○ – уловы скумбрии;
- △ / ▨ – уловы и районы промысла сайры;
- ● ▲ – максимальные уловы

### Выводы

Проведенные исследования показывают, что при своевременном получении и дешифрировании спутниковых изображений в инфракрасном (ИК) и видимом (ТВ) диапазонах спектра они яв-

ляются основным и зачастую единственным источником информации о гидрологических условиях в рассматриваемом районе и весьма полезны для оперативного ориентирования поисковых работ и добывающего флота на промысле. Оперативный анализ спутниковых изображений позволяет выделить районы наиболее вероятного образования промысловых скоплений пелагических рыб.

Как более продуктивные выделяются области циклонического вращения и подъема вод, деформированные вихревыми движениями участки фронтов, области интенсивного горизонтального перемешивания вод. В том числе центральные области антициклонов, если в них проникают субарктические воды. Изображение вихря в этом случае имеет спиралевидную структуру. Нужно также иметь в виду, что отдельные мезомасштабные циклонические вихри существуют несколько дней или недель в зависимости от размера. Они лишь перераспределяют температуру на поверхности океана и биогены. Однако зона циклонического вращения существует длительное время, и вместо одних формируются другие подобные вихри. Вихревые образования позволяют рыбам выбирать оптимальный температурный диапазон и благоприятное направление течений для того, чтобы двигаться в нужном направлении или задерживаться в определенном районе.

Главные районы промысла – это зоны прибрежного и океанического апвеллинга, где, благодаря восходящему движению глубинных вод, поверхностные воды обогащаются биогенными элементами, создается богатая питательная среда для зоопланктона, который является основным кормом для пелагических рыб. Это, прежде всего районы фронтальных зон, области циклонических круговоротов, области взаимодействия теплых и холодных вод.

В заключение отметим, что полученные закономерности распределения промысловых объектов в зависимости от океанологических образований авторы с успехом используют на протяжении 7 лет при оперативном обеспечении сайровых экспедиций

## Литература

1. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов // Л.: Гидрометеоздат, 1983. 296 с.
2. Левасту Т., Хела И. Промысловая океанография // Л.: Гидрометеоздат, 1974. 295 с.
3. Булатов Н.В. Рекомендации по использованию спутниковых ИК снимков в океанологических исследованиях // Владивосток, ТИНРО, 1984. 44 с.
4. Булатов Н.В. Особенности формирования циклонических меандров и вихрей в зоне Субарктического фронта // Исследование Земли из космоса, 1982. №3. С. 53-58.
5. Самко Е.В., Булатов Н.В., Катинтер А.В. Характеристики антициклонических вихрей различного происхождения и их влияние на промысел сайры и кальмара Бартрама юго-восточнее о. Хоккайдо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сб. научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Выпуск 4. Т.1. С. 357-369.