

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ФГУП «ТИНРО-ЦЕНТРА»

Е.В. Самко, Н.В. Булатов

Тихоокеанский научно-исследовательский рыболовецкий центр (ТИНРО-Центр),  
690950, г. Владивосток, переулок Шевченко, 4  
E-mail: samko@tinro.ru

Рассмотрены основные направления исследований, проводимых в ТИНРО-Центре с использованием различных видов спутниковой информации. Наряду с применяемой с начала 70-х годов спутниковой ИК и ТВ информацией, в последние годы в рыболовецких исследованиях все более активно начинают использоваться данные спутниковой альбитметрии. Приведены некоторые результаты этих работ.

Спутниковая информация используется в исследованиях ТИНРО-Центра с начала 1970-х годов. Большую часть времени до конца 1990-х годов это были черно-белые ИК (инфракрасные) и ТВ (видимый диапазон) изображения, полученные по аналоговой системе передачи (АРТ) со спутников NOAA и ТВ изображения, полученные с ИСЗ «Метеор». Кроме того, в ТИНРО поступали многоспектральные изображения МСУ-М и МСУ-С с ИСЗ «Метеор-Природа», а также радиолокационные изображения с ИСЗ «Космос-1500». Вся перечисленная информация поступала в ТИНРО из Хабаровского регионального центра приема и обработки данных (РЦПОД) и Управлений ГМС (Приморского, Сахалинского, Камчатского).

Учитывая характер поступающих в тот период данных, уровень технического обеспечения (вернее его отсутствие), а также необходимость давать интересующие биологов и рыбаков сведения о гидрологических условиях в районах промысла, анализ спутниковых данных ограничивался визуальным дешифрированием изображений и построением карт термических структур поверхности океана (рис. 1) и карт ледовой обстановки. Наиболее длительные исследования (30 лет и более) проводятся по северо-западной части Тихого океана (от Японии и Курильских островов до 160° в. д.), Японскому и Охотскому (ледовые условия) морям. По указанным районам уже в тот период проводился спутниковый мониторинг океанологических условий.

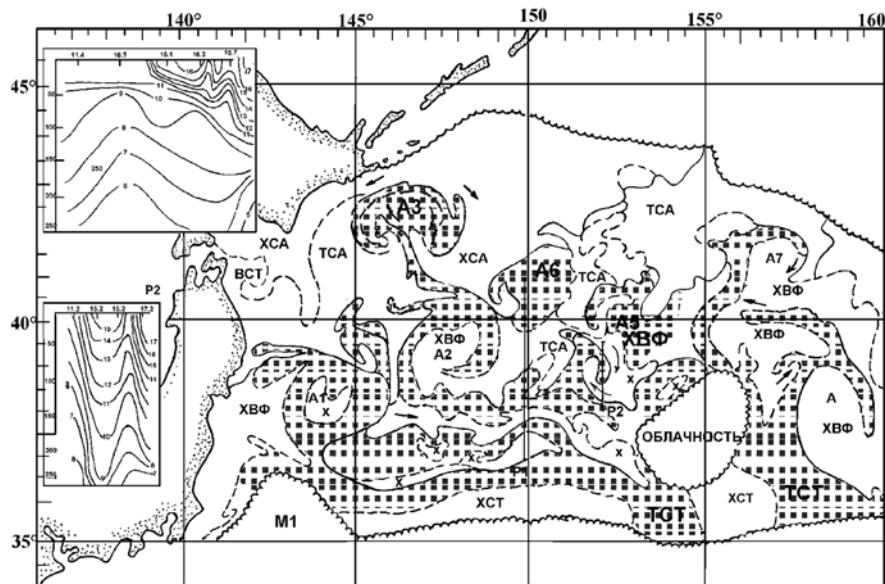


Рис. 1. Карта термической структуры поверхности океана (карта фронтологического анализа по результатам дешифрирования ИК изображений). Условные обозначения рис.8.

В последние годы характер поступающей в ТИНРО-Центр спутниковой информации существенно изменился. Хабаровский РЦПОД и ИАПУ ДВО РАН стали принимать со спутников NOAA и поставлять в ТИНРО-Центр данные высокого разрешения. Причем ИАПУ поставляет в ТИНРО данные, преобразованные в меркаторскую проекцию, которая принята в мореплавании. Данные визуализируются в изображения в ложных цветах с температурной шкалой, обеспечивающей достаточную точность определения температуры поверхности океана (ТПО). Принимая во внимание накопленный опыт, материал и то, что полностью

отфильтровать облачность не удается даже при использовании нескольких методов, был сохранен в основном тот же метод океанологической интерпретации, что и при работе с АРТ данными, хотя, конечно, используются и данные ТПО, снятые с изображений.

Но, наверное, наиболее важным является возможность получения альtimетрических данных об уровне океана. Метод спутниковых измерений уровня (альтиметрические измерения), значительно усовершенствованный в течение последнего десятилетия, позволяет с определенной постоянной периодичностью картировать топографию поверхности океана. Спектр возмущений высоты морской поверхности, измеряемый с борта искусственного спутника Земли, включает в себя почти все физические процессы от капиллярных и ветровых волн до изменений уровня моря, обусловленного бароклинистостью морской воды и глобальными изменениями климата.

Отметим, что уровень океана можно рассматривать как интегральный показатель интенсивности термодинамических процессов в океане, отражающих абиотические условия обитания и распределения промысловых организмов.

Уровень океана является более показательным предиктором абиотических условий, чем температура воды, так как:

- он отражает термодинамические условия всей толщи океана, а не только поверхности океана;
- он дает более адекватное описание течений, вихрей, зон апвеллинга и даунвеллинга;
- прямо, а не опосредованно связан с изменчивостью атмосферных условий.

Достоинством альтиметрических данных, безусловно, является всепогодность и возможность регулярно получать информацию об уровне океана и течениях. Использование нового вида информации потребовало снова возвратиться к вопросу океанологической интерпретации спутниковых данных и к сравнению результатов анализа различных видов информации.

Ниже рассматриваются основные направления океанографических исследований, которые проводились и проводятся в ТИНРО-Центре на основе спутниковых данных.

При анализе ИК и ТВ данных для открытых районов океана и морей океанографическую информацию несут главным образом ИК данные. ТВ данные (диапазон 0,5-0,7 мкм) используются в основном для исследования ледового покрова и обнаружения тумана и облачности нижнего яруса.

Поскольку в ИК диапазоне длин волн излучает тонкая поверхностная пленка, то первостепенной задачей является определение вертикальной структуры наблюдаемых термических неоднородностей. ИК изображения с их высоким пространственным разрешением дают более подробно горизонтальную структуру океанических образований, чем одни судовые наблюдения. Вместе с судовыми данными они дают уже их трехмерную структуру. Их совместный анализ позволяет более уверенно проводить океанологическую интерпретацию наблюдаемых образований. Для этой цели были подобраны практически все доступные гидрологические станции и разрезы квазисинхронные ( $\pm 1$  сутки) со спутниковыми изображениями. Выполнялись и специальные подспутниковые наблюдения. В результате этих работ было установлено, что спутниковые наблюдения хорошо отображают реально существующие океанические образования. Причем не только крупномасштабные, структура которых была известна и из классической океанологии, основанной на традиционных судовых наблюдениях (например, теплые и холодные ринги Курсио [1]), но и мезомасштабные и даже мелкомасштабные образования, которые не могли быть обнаружены без спутниковых наблюдений. Например, стриммеры, ширина которых 10-20 миль [1, 2], вихри закручивания и т. д. (рис 2, 3) [3]. В настоящее время в связи с сокращением количества исследовательских рейсов работы этого направления также сокращаются, хотя необходимость их очевидна.

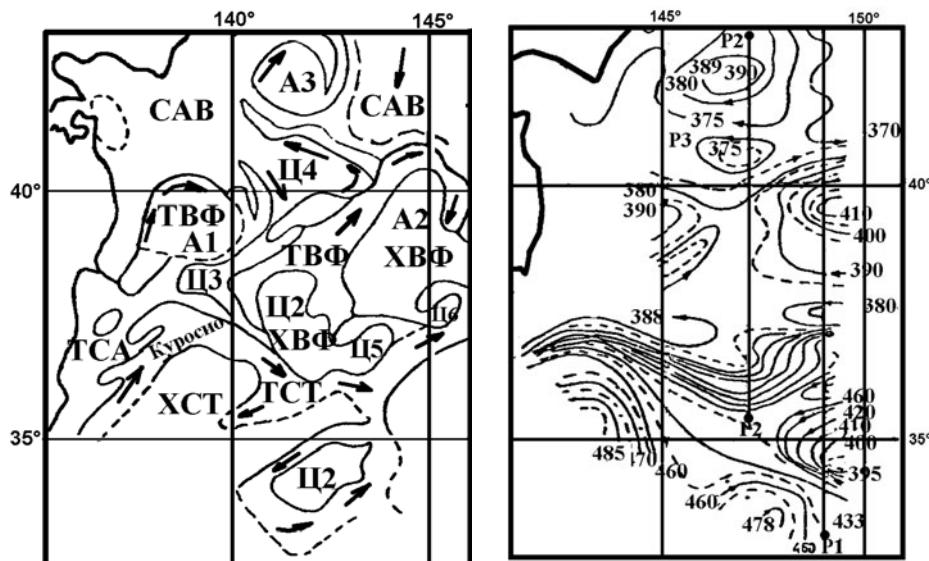


Рис. 2. Карта термической структуры поверхности океана (А) и карта динамической топографии по данным судовых наблюдений (Б). Условные обозначения рис.8.

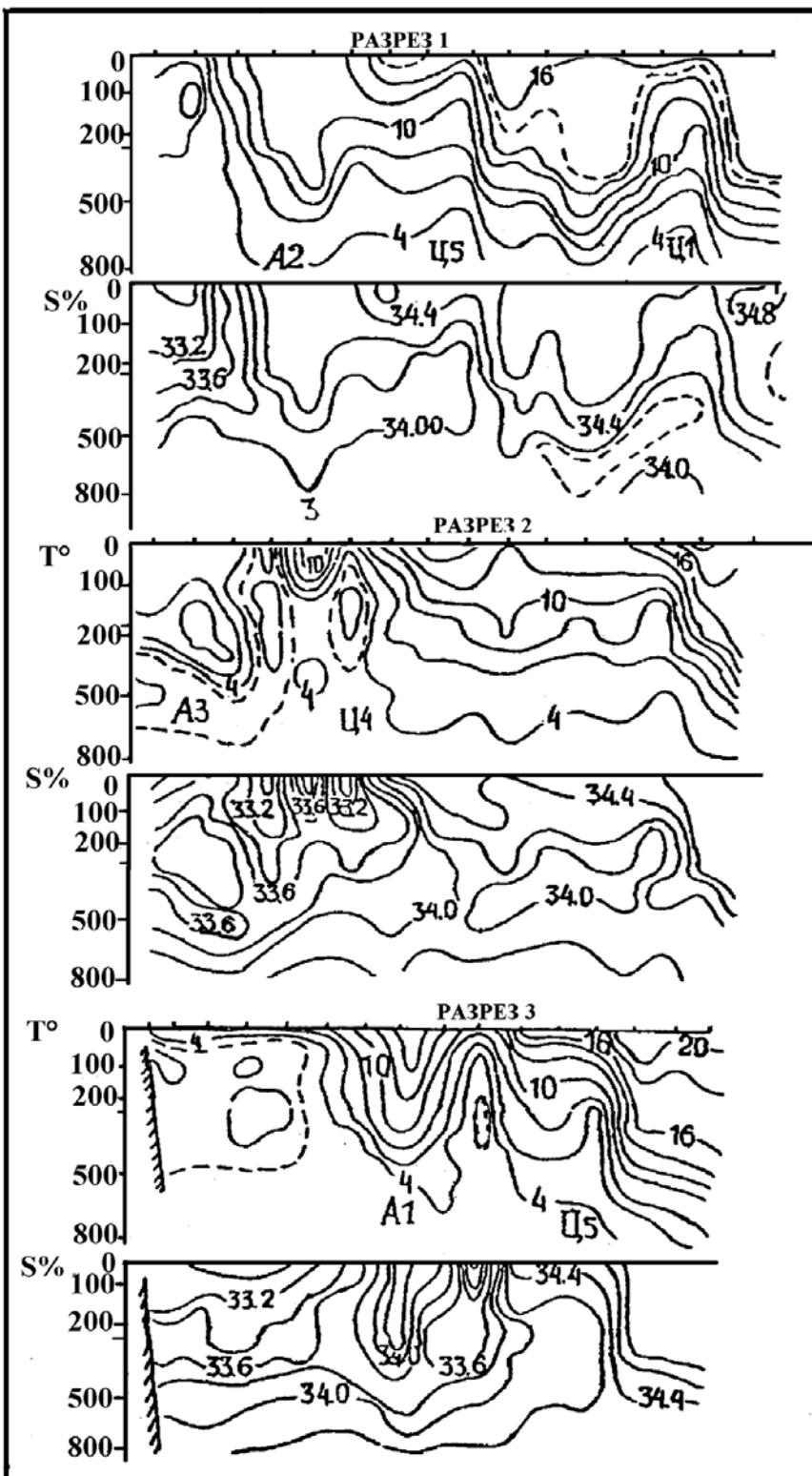


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры и солености на гидрологических разрезах, показанных на рис.2.

Вторым направлением является изучение изменчивости различных диапазонов и масштабов. Естественно, в первую очередь была доступна для изучения изменчивость синоптического диапазона (рис. 4) [4, 5]. В формировании теплых стриммеров и соединении сформировавшихся вихрей с Куросио наблюдается та же периодичность (близкая к 15 и 30 суткам), что и в колебаниях ТПО и глубины залегания термоклина [5]. По всей вероятности они имеют одну и ту же приливную природу. Непериодическая изменчивость обычно связывается с влиянием атмосферных процессов [6,7].

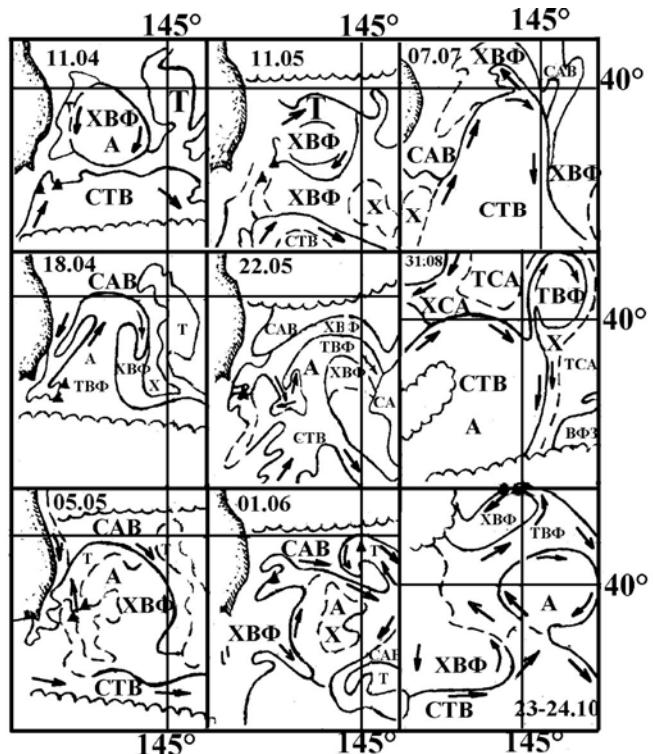


Рис.4. Синоптическая изменчивость в системе фронтальной зоны Куросио. Квазипериодическое вторжение вод Куросио в теплый ринг. Условные обозначения рис.8.

По мере накопления материалов появилась возможность исследования межгодовой изменчивости структуры фронтальной зоны Куросио – Оясио. За показатели состояния фронтальной зоны принимались:

- положение фронта Куросио в вершине первого от Японии антициклонического меандра,
- положение центров южных и северных антициклонов северо-восточной первой ветви Куросио
- расстояние центров северных антициклонов от о. Хоккайдо (рис. 5)
- размеры теплых вихрей.

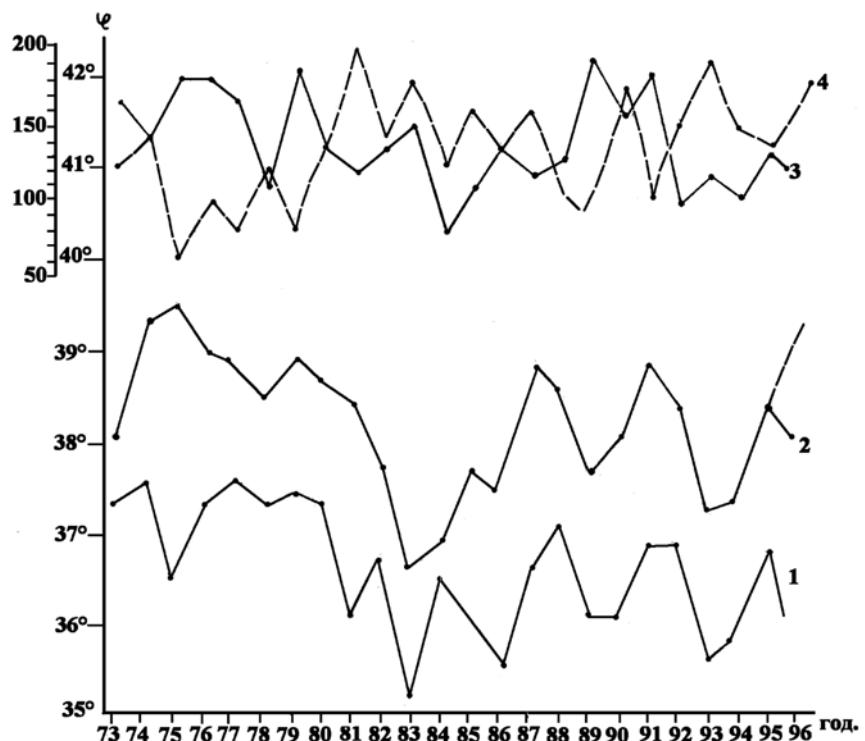


Рис. 5. Межгодовая изменчивость положения фронта Куросио и его ветвей: 1- положение Куросио в мае; 2- положение центров рингов Куросио; 3- положение центров северных рингов Куросио; 4- удаленность центров северных рингов Куросио от о.Хоккайдо.

Отчетливо выделяются как теплые 1970-е годы и как холодные - 1980-е годы. В последующие годы преобладали двух- и трехлетние периоды изменчивости характеристик фронтальной зоны. В целом выделяются периоды, кратные двум и трем годам [8].

Поскольку условия промысла в Южно-Курильском районе формируются взаимодействием течения Оясио с теплыми вихрями (в том числе с рингами Куросио), выходящими в этот район с юга и юго-востока, то в последнее время основное внимание уделяется их формированию, перемещению и взаимодействию с окружающими водами [9, 10].

Следующее направление исследования, основанное на спутниковых данных, – это выделение океанологических образований, благоприятных для концентрации пелагических рыб. Адекватным спутниковым данным были данные системы «РИФ»: дата, координаты, улов каждого судна. За период существования системы «РИФ» оказалось 260 ситуаций (дат), за которые имелись спутниковые карты фронтологического анализа и промысловые данные.

Зимой (в феврале – марте) районы промысла формировались вблизи фронта Куросио в интрузиях вод теплого течения во фронтальную зону или относительно холодных вод фронтальной зоны в воды Куросио (рис. 6а). В первую очередь это «языки» теплых и холодных вод, образованные «вихрями закручивания» на фронте (на левой периферии) Куросио. Причем скопления сардины обычно находились севернее, в теплых интрузиях во фронтальную зону, а скопления скумбрии южнее, в холодных интрузиях в субтропические воды.

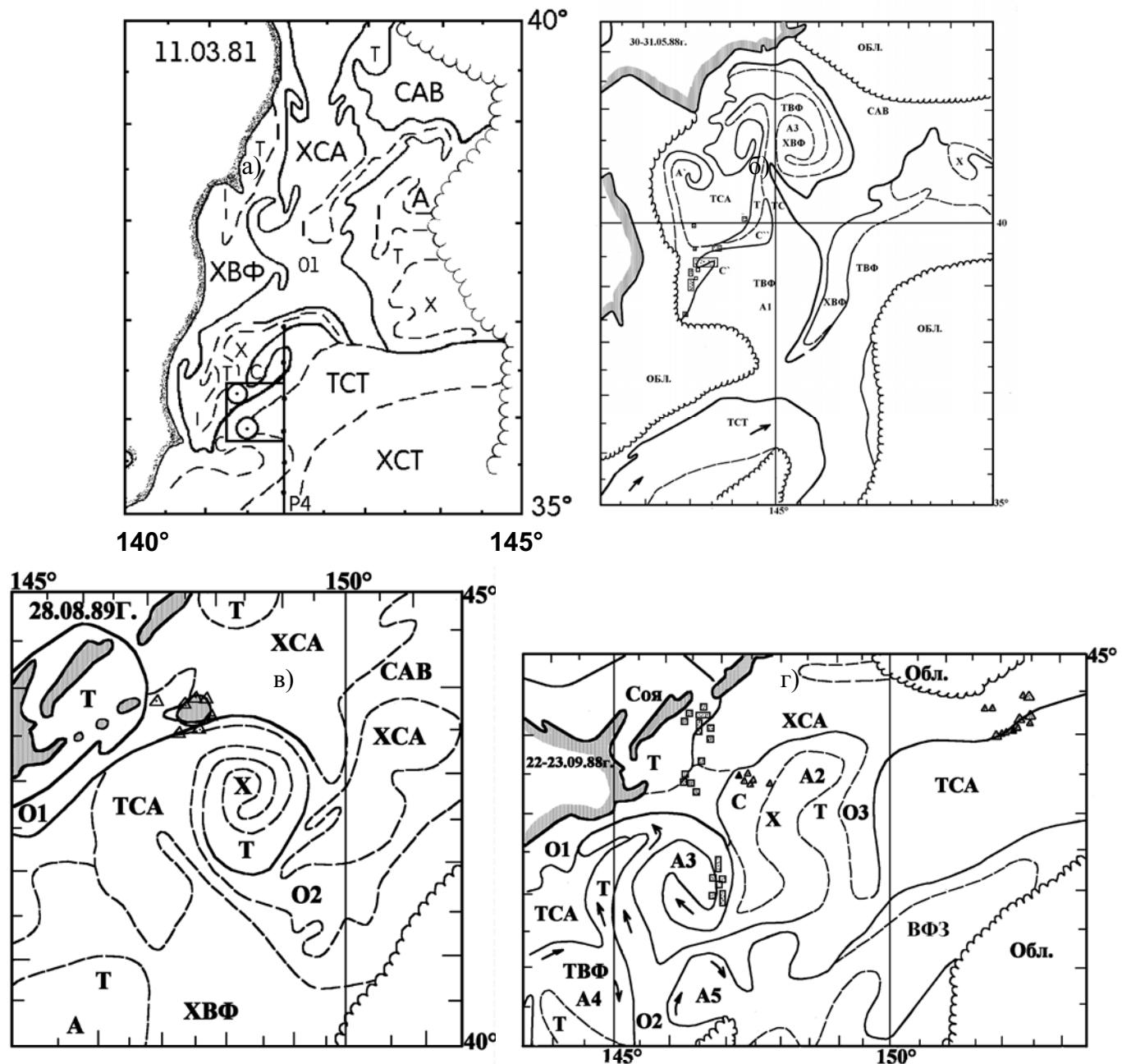


Рис.6. Районы благоприятные для концентрации пелагических рыб. А – зима, Б – весна, В – лето, Г – осень. Условные обозначения рис.8.

Весной, в период северных миграций промысловые скопления сардины и скумбрии наблюдались в таких же взаимных вторжениях теплых и холодных вод в зоне северо-восточной ветви Куросио, т. е. в зоне попутных северных течений (рис. 6б). На северной периферии антициклонов северо-восточной ветви Куросио или в зоне смешанных вод между антициклонами. В это время также скопления скумбрии находились южнее, чем скопления сардины, хотя и в подобных океанических образованиях.

В летний период (август – сентябрь) промысловые скопления сайры формируются обычно в зоне взаимодействия северных антициклонов северо-восточной ветви Куросио с субарктическими водами Ойасио (рис. 6в) также в мезомасштабных выступах фронта. Кроме того, промысловые скопления рыб формировались на фронте между водами Сояя и Ойасио, а в отдельные годы в температурных неоднородностях севернее пролива Екатерины (в Охотском море). В сентябре в значительной степени сохраняется летняя ситуация (рис. 6г). Скопления сайры формировались в относительно теплых трансформированных субарктических водах и на северной ветви субарктического фронта между наиболее холодными и относительно теплыми субарктическими водами. Скопления формировались на фронте Сояя-Ойасио, а также на восточной периферии северного антициклона (А3), т. е. уже в зоне южных течений (рис. 6г).

В более поздний период скопления рыб наблюдались в основном в зоне южных течений, а так же во взаимных вторжениях теплых и холодных вод. Иногда промысловые скопления образуются в смешанных водах Ойасио и Сангарского течения, постепенно смещаясь к югу. Судя по смещению районов промысла, южные миграции рыб продолжаются до января. В этот период меньше выражена приуроченность скоплений рыб к циклоническим «вихрям закручивания» и больше приуроченность к попутным течениям [11].

Обобщая это краткое описание районов концентрации рыб, нужно отметить: что разные рыбы (сардина, скумбрия, летом сайра) концентрируются в различных географических координатах, но в однотипных океанологических образованиях. Для этих образований характерно наличие интенсивного вертикального или горизонтального перемещивания. Наиболее устойчивые районы промысла связаны с прибрежным апвеллингом и циклоническими вихрями закручивания, формирующими на левой периферии течений, благодаря градиенту скорости. В зависимости от размеров они прослеживаются в распределении термо-клинических характеристик до глубины 200-600 метров.

С получением альтиметрической информации появилась возможность провести анализ распределения промысла сайры и кальмара в районе южных Курил (промысел сардины и скумбрии не ведется) в зависимости от уровня океана. Сравнение районов промысла сайры и кальмара с аномалиями уровня океана в путины 2002 – 2004 гг. показывает, что они находились в зоне, прилегающей к нулевой горизонтали или между горизонталями  $\pm 5$  [12, 13]. Это не противоречит выводам, полученным по ИК данным. Районы промысловых скоплений сайры и кальмара находятся на границах между циклоническими и антициклоническими областями, т.е. вблизи океанических фронтов. Однако эти зоны занимают значительно большую акваторию, чем океанические образования, выделенные по ИК изображениям, что вполне соответствует различиям в пространственном разрешении ИК и альтиметрических данных. Таким образом, наиболее уверенно районы вероятных промысловых концентраций промысловых объектов могут быть выделены путем совместного использования альтиметрических и ИК данных.

При оперативном обеспечении океанографической информацией промысловых экспедиций обычно используются альтиметрические данные, полученные в режиме реального времени. Как обычно, при получении нового вида информации результаты ее анализа сравниваются с результатами анализа судовых наблюдений и известных спутниковых данных. В настоящем случае поле течений, рассчитанных по альтиметрическим данным, полученным в реальном времени, сравнивались с картой динамической топографии (0/1000 дБ), рассчитанной по судовым наблюдениям и с ИК изображениями. Район ( $39\text{--}46^\circ$  с.ш.,  $146\text{--}158^\circ$  в.д.) захватывал течение Ойасио, Субарктическое, частично северо-восточную ветвь Куросио и связанные с ними вихри.

Соотношение результатов анализа судовых и альтиметрических данных (текущий) имеет более сложный характер, чем соотношение судовых и ИК данных. Как правило, для определения особенностей динамических процессов на основе спутниковой альтиметрии используются данные об аномалиях уровня океана, которые являются отклонением от среднего уровня за весь период наблюдений. Использование альтиметрической информации в таком виде позволяет получить выраженную нестационарную составляющую поля скорости и практически не учитывает стационарную составляющую.

Сравнение течений, рассчитанных по альтиметрическим данным, полученным в режиме «реального времени» с картой динамической топографии, построенной по судовым данным, и ИК изображениями, показывает, что в альтиметрических данных постоянные течения не выделяются, но хорошо выделяются вихревые образования, в том числе циклонические вихри между Ойасио и Субарктическим течением и антициклонические меандры Субарктического течения и северо-восточной ветви Куросио. Необычным кажется слабое выделение квазистационарного вихря юго-восточнее острова Уруп и отчетливое проявление антициклонических вихрей, находящихся в водах Ойасио [14]. Если объединить наиболее устойчиво (ежедекадно) выделяющиеся в поле течений образования, то получится схема течений подобная карте динамической топографии, где роль постоянных течений выполняют цепи секторов определенных вихрей (рис.7).

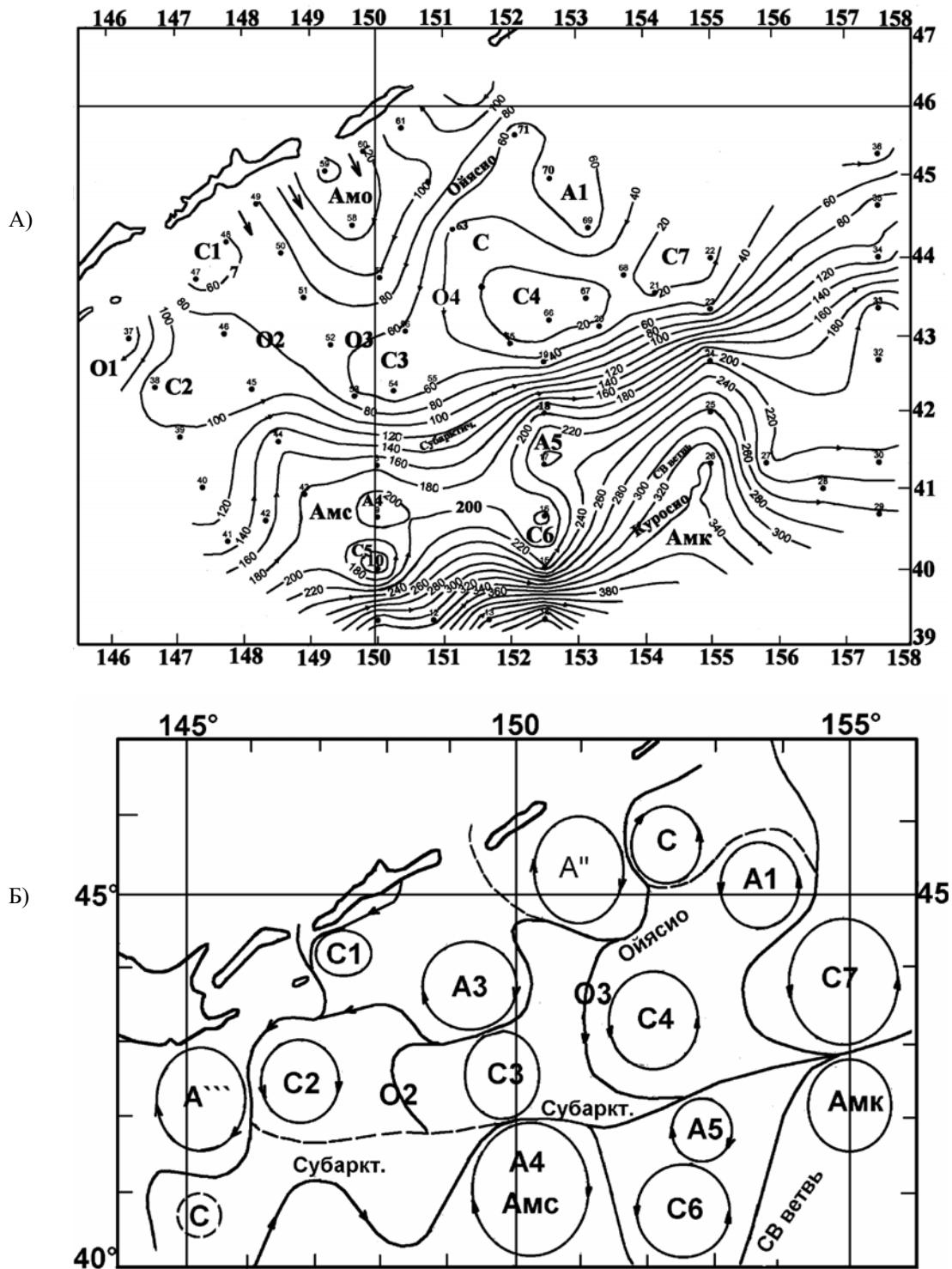


Рис. 7. Карта динамической топографии по данным судовых наблюдений (А) и схема течений и вихрей по альтиметрическим данным (Б).

Сопоставление карт фронтологического анализа с картой течений, рассчитанных по окончательным (GDR) альтиметрическим данным (за 1992-1993) дает более определенные результаты. Необходимо заметить, что в данном случае рассматривалась непосредственно субарктическая фронтальная зона с большими термохалинными контрастами и скоростями течений. Здесь также как и в предыдущем случае в поле течений, прежде всего, проявлялись вихревые образования (в основном антициклонические). Сравнивая карты фронтологического анализа с полем течений можно проследить, как при движении вихря (ринга с теплым ядром) в западном направлении деформируется фронт Куросио, приспосабливаясь к полю течений (рис.8). В некоторых случаях наблюдается несоответствие термических фронтов полю течений. В осенне-зимний период в зоне северо-восточной ветви Куросио наблюдалось отступление фронтов к югу, в то время как вихри продолжали двигаться к северу [15]. Это можно отнести за счет влияния зимнего муссона.

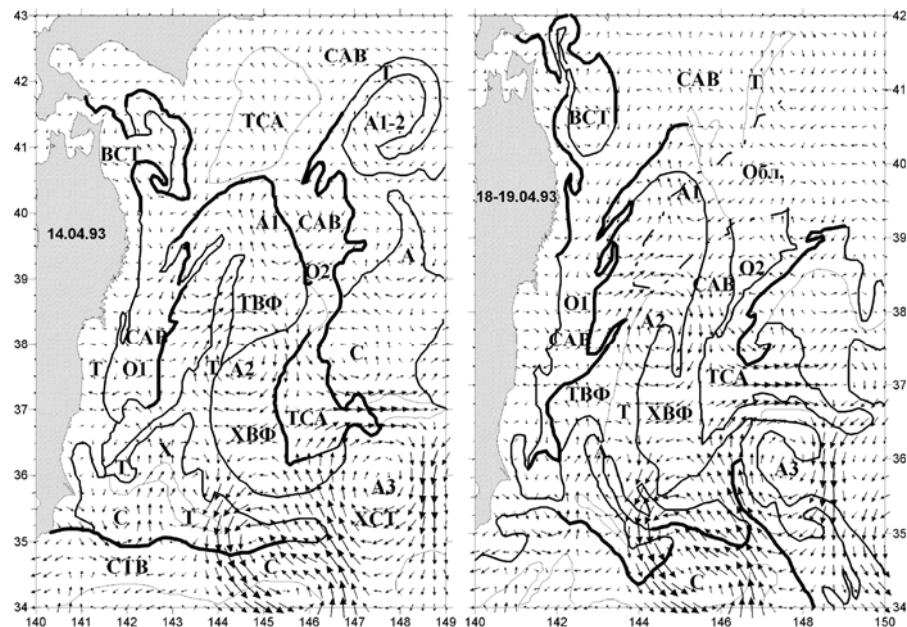


Рис. 8. Деформация термических фронтов вихревыми образованиями, определенными по альтиметрическим данным.

Течения, рассчитанные по альтиметрическим данным (стрелки); термические фронты на поверхности океана по результатам дешифрирования ИК изображений полученных с ИСЗ NOAA: обостренные (толстые линии), умеренные (средние линии), слабые (тонкие линии); САВ – субарктические воды; ТСА – относительно теплые САВ; ХСА – наиболее холодные САВ; ВФЗ – воды фронтальной зоны; ТВФ – теплые ВФЗ; ХВФ – относительно холодные ВФЗ; Т – теплые участки; Х – холодные участки; А – антициклонические вихри; С – циклонические вихри; О1, О2 – ветви Ойясио; ВСТ – воды Сангарского течения; Ск – циклонический вихрь Куросио; Ак – антициклонический вихрь Куросио.

Известно, что наиболее полное представление о структуре и динамике вод района можно получать, используя различные виды судовых и спутниковых данных. При отсутствии судовых наблюдений можно попытаться заменить их совместным анализом альтиметрической и ИК информации. Но определенный минимум специальных подспутниковых глубоководных наблюдений (по крайне мере до 1500 м) должен выполняться. Иначе некоторые вопросы интерпретации альтиметрических и других данных останутся нереализованными. Подобные работы выполняются и в Японском море [16, 17, 18].

Говоря об использовании спутниковой информации в ТИНРО-Центре, нельзя не упомянуть о мониторинге ледовых условий в дальневосточных морях. Для построения карт ледовой обстановки использовались различные изображения в видимом диапазоне спектра ТВ изображения полученные с ИСЗ «Метеор» и NOAA, МСУ-М и МСУ-С. В настоящее время используются почти исключительно синтезированные изображения полученные в Хабаровском РЦПОД с ИСЗ TERRA. Наиболее качественную информацию дают изображения МСУ-С и изображения, полученные с ИСЗ TERRA. На построенные карты в соответствии с общепринятыми правилами наносятся границы распространения льдов различной сплошности (рис.9) в баллах, граница (кромка) льдов малой сплошности (1 балл). Построенные карты используются для оценки ледовой обстановки и условий промысла.

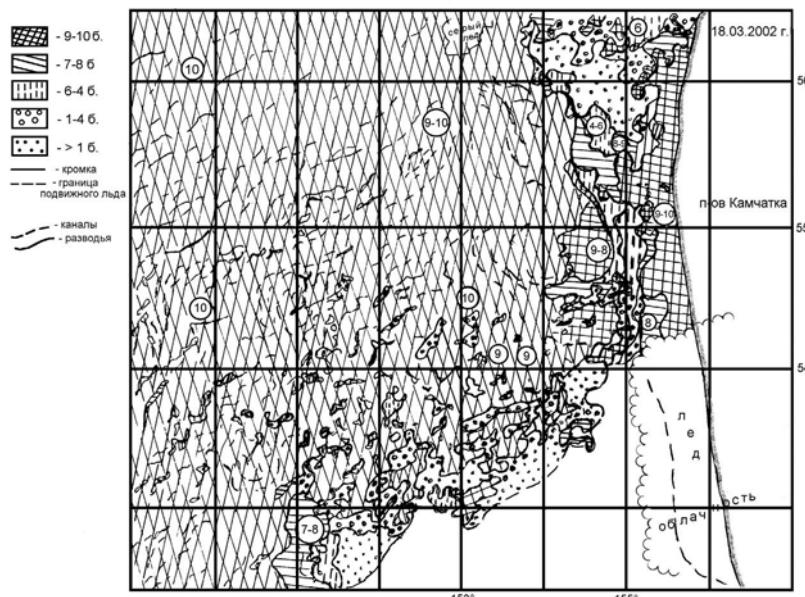


Рис. 9. Ледовая обстановка на юго-востоке Охотского моря 18.03.2002 г. (район промысла магнита).

Кроме оперативных задач, проводятся исследования пространственно-временной сопряженности ледовых условий в Охотском, Беринговом морях, а также рассматривается влияние атмосферных процессов на формирование повышенной или пониженной ледовитости в отдельные годы [19]. В качестве одной из характеристик атмосферных процессов используется площадь сибирского антициклона (рис. 10), которая довольно точно определяет состояние ледового покрова в Беринговом море – начиная с 1963 г. периоды преобладания положительных и отрицательных аномалий средней сезонной ледовитости соответствуют периодам усиления и разрушения антициклона. Т.е. чем большую площадь занимает сибирский антициклон в декабре-мае, тем больше сезонная площадь льда в Беринговом море.



Рис. 10. Интегральные кривые аномалий площади сибирского антициклона (1957-1990 гг.) и ледовитости Охотского и Берингова морей в декабре-мае (1960-2002 гг.).

Состояние ледового покрова в Охотском море в целом повторяет временной ход накопленных аномалий площади сибирского антициклона (рис.10). Однако смена мягких ледовых периодов более суровыми происходит на 2-3 года раньше смены слаборазвитого и сильно развитого по площади центра действия атмосферы.

Следует также отметить проводимые в последние годы исследования зависимости урожайности сельди от площади заприпайных полыней в северной части Охотского моря на основе спутниковых данных. Установлено, что ранние сроки появления полыней происходят при ослаблении зимнего муссона (положительные аномалии меридионального индекса), но устойчивое расширение зон чистой воды наблюдается при преобладании северных ветров (отрицательные аномалии меридионального индекса), отгоняющих лед от берега [20]. В свою очередь большая и устойчивая площадь чистой воды у берега создает благоприятные условия для нереста и выживаемости икры (рис. 11). Малая площадь полыней и наличие льда непосредственно у берега создает неблагоприятные условия для нереста и гибель икры при отливах и опускании льда на дно. Эти колебания площади заприпайных полыней играют существенную роль в межгодовых колебаниях численности охотоморской сельди.

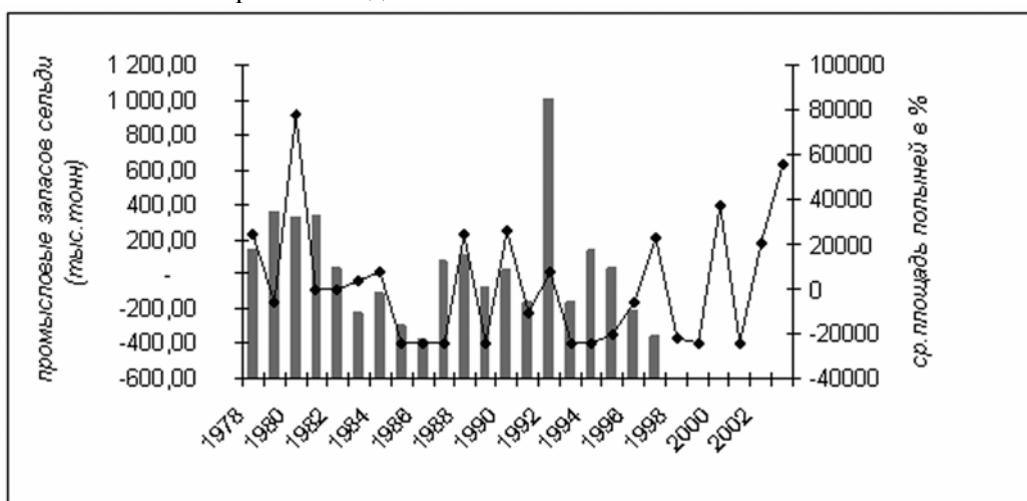


Рис. 11. Динамика межгодовой изменчивости аномалий промысловых запасов охотской сельди (■) в северной половине моря с 1983 года (сдвиг на 5 лет) на фоне аномалий средней площади прибрежных полыней (март-май) за период с1978 по 2003 года (—◆—).

## Литература

1. Булатов Н.В. Особенности формирования циклонических меандров и вихрей в зоне Субарктического фронта. // Исследование Земли из космоса, 1982. №3. С. 53-58.
2. Булатов Н.В. О структуре и динамике полос теплых вод севернее Субарктического фронта. // Изв. ТИНРО, 1980. Т. 104. С. 50-57.
3. Булатов Н.В. Рекомендации по использованию спутниковых ИК снимков в океанологических исследованиях. // Владивосток, ТИНРО, 1984. 44 с.
4. Булатов Н.В. Некоторые черты синоптической и межсезонной изменчивости в системе вод Курошио по данным метеорологических спутников Земли. // Тр. ДВНИГМИ, 1980. Вып. 80. С. 34-45.
5. Булатов Н.В. Спутниковые наблюдения взаимодействия вихрей с течениями. // Дистанционные исследования океана. Владивосток, ТИНРО. 1990. С. 32-44.
6. Куренная Л.А. О влиянии ветра на гидрологические фронты. // Дистанционные исследования океана. Владивосток, ТИНРО. 1990. С. 55-62.
7. Устинова Е.И., Булатов Н.В. Влияние динамических факторов на короткопериодную изменчивость температуры воды в северо-западной части Тихого океана. // Тез. докл. Международной конференции «Северная Пацифика: гидрометеорология, охрана окружающей среды, география». Владивосток. 1994. С. 19-20.
8. Bulatov N.V. The inter-annual variability and the possibility of the Kuroshio frontal zone typisation / Proceeding of POR-SEC-98. Qingdao, China. 1998. P. 213–217.
9. Булатов Н.В., Обухова Н.Г. Выделение регионов, благоприятных для концентраций пелагических рыб (сайры). // Тез. докл. семинара «Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана». Владивосток, ТИНРО-Центр. 2004. С. 44-45.
10. Булатов Н.В., Обухова Н.Г. Пример использования визуальной информации для изучения влияния теплых рингов Курошио на гидрологические условия. // Визуализация в исследованиях биоресурсов Мирового океана. Владивосток, ТИНРО-Центр. 2003. С. 33-53.
11. Булатов Н.В. Опыт выделения районов, благоприятных для концентрации пелагических рыб по спутниковым ИК-изображениям океана. // Тезисы докл. IX Конференции по промысловой океанологии. Калининград. 1993. С. 265-266.
12. Самко Е.В., Капиштер А.В., Слободской Е.В. Совместный анализ распределения промысла кальмара Бартрама и данных спутниковой альбитметрии. // IX Всероссийская конференция по проблемам рыбопромыслового прогнозирования. Мурманск. 2004. С. 273-274.
13. Старицын Д.К., Филатов В.Н., Фукс В.Р. Основы использования спутниковой альбитметрической информации для оценки условий формирования промысловых скоплений сайры. // Изв. ТИНРО, 2004. Т. 137. С. 398-408.
14. Булатов Н.В., Самко Е.В., Петрук В.М. Отображение океанических образований на спутниковых ИК изображениях при разновременных наблюдениях. // Тез. докл. семинара «Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана». Владивосток, ТИНРО-Центр. 2004. С. 46-47.
15. Петрук В.М., Булатов Н.В., Самко Е.В. Опыт совместного использования спутниковой альбитметрии и ИК изображений для анализа океанологической ситуации в СЗТО // Тез. докл. семинара «Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана». Владивосток, ТИНРО-Центр. 2004. С. 48-49.
16. Никитин А.А., Харченко А.М. Изменчивость термических фронтов в Японском море по данным ИСЗ. // Дистанционные исследования океана. Владивосток, ТИНРО. 1990. С. 45-54.
17. Дьяков Б.С., Никитин А.А. Сезонная и межгодовая изменчивость структуры вод в зоне субарктического (полярного) фронта Японского моря по данным судовой и спутниковой информации. // Изв. ТИНРО, 2001. Т. 128. С. 996-1019.
18. Никитин А.А., Харченко А.М. Типизация термических структур в Японском море и некоторые элементы их изменчивости. // Изв. ТИНРО, 2002. Т. 131. С. 22-40.
19. Муктепавел Л.С., Васильевская Л.Н. Связь между центрами действия атмосферы и ледовыми условиями в Охотском, Беринговом и Чукотском морях. // Труды арктического регионального центра. Владивосток, Дальнаука. 2004. Вып. 4. С. 11-17.
20. Муктепавел Л.С. Пространственно-временная изменчивость прибрежных полыней в северной половине Охотского моря. // Тез. докл. семинара «Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана». Владивосток, ТИНРО-Центр. 2004. С. 48-49.