

С.А.Зозуля, А.Т.Мандыч, В.В.Масленников,
В.Е.Полонский, А.В.Суслов (ВНИРО)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ ЮПФЗ СЕВЕРНЕЕ ОСТРОВА ЮЖНАЯ ГЕОРГИЯ

Введение

С 1979 г. научно-поисковые суда управления "Севрыбпромразведка" (СРПР) начали систематическое изучение особенностей образования и распределения скоплений электроны Карлсберга в водах Южной Полярной фронтальной зоны (ЮПФЗ) к северу от о. Южная Георгия. В 1987 г. к этим работам подключился ВНИРО, выполнив в течение почти двух лет четыре экспедиции в этот район на РТМС "Возрождение" (12-й - 15-й рейсы). В результате с октября 1987 г. по июнь 1989 г. было проведено шесть комплексных фоновых съемок ЮПФЗ на полигоне, ограниченном координатами 47-53° ю.ш., 25-40° з. д. Кроме того, на отдельных участках полигона проводились некоторые дополнительные исследования (в частности, микросъемки). Формирование и распределение скоплений электроны Карлсберга в водах ЮПФЗ во многом определяется океанологическими условиями, их изменчивостью. Выполненные в различные сезоны по единой схеме и методике съемки представляют хорошую возможность для сравнительного анализа полученных данных в плане межгодовой, сезонной и даже короткопериодной изменчивости океанологических условий на полигоне. Пожалуй, этот фрагмент ЮПФЗ может считаться теперь наиболее изученным из всего циркумполярного кольца фронтальной зоны. Следует, однако, иметь в виду (тому получено множество подтверждений), что по амплитуде пространственных колебаний положения северной и южной границ ЮПФЗ в связи с развитием меандров разного знака межгодовая изменчивость может существенно уступать не только сезонным изменениям, но и изменениям меньшего периода, вплоть до синоптического. Об этом свидетельствуют как данные непосредственных наблюдений, так и изображения акватории полигона в ИК-диапазоне со спутников серии NOAA [см. статью В.В.Масленникова и Е.В.Хомутова (1990)]. Тем не менее, можно проследить некоторые важные моменты, рассмотрению которых и посвящена предлагаемая работа.

Съемки на полигоне были выполнены в следующие сроки: 13.10 - 02.11.87 и 14 - 29.12.87 (12-й рейс), 27.03 - 29.04.88 и 31.05 - 28.06.88 (13-й рейс), 28.09 - 16.10.88 (14-й рейс) и 30.05 - 30.06.89 (15-й рейс). На всех фоновых съемках работы строились по стандартной схеме: с интервалом $1,5^{\circ}$ по долготе располагались секущие ЮПФЗ меридиональные разрезы, в большинстве случаев с выходом в "чистые" субантарктические воды на севере полигона и в "чистые" антарктические - на юге. Расстояния между станциями на разрезах составляли, как правило, 30 миль. Измерения гидрофизических параметров на станциях осуществлялись до горизонта 1000 м с помощью зондирующего комплекса Neil Brown Mark IIIB. Выделение границ ЮПФЗ проводилось по методике В.В. Масленникова (Антипов и др., 1987).

Обсуждение результатов

Полученные материалы позволяют проследить межгодовую изменчивость океанологических условий на полигоне на примере октябрьских съемок 1987 и 1988 гг. (весна) и июньских съемок 1988 и 1989 гг. (начало зимы). Сезонная изменчивость может быть продемонстрирована последовательным сопоставлением данных первых четырех съемок, практически охвативших все сезоны года (весна, начало лета, осень и начало зимы). Для корректной оценки межгодовой и сезонной изменчивости по материалам каких-либо двух конкретных съемок значения температуры и солености будут рассматриваться в пределах только той акватории, которая была перекрыта наблюдениями на обеих сравниваемых съемках.

Термический режим

Одной из важнейших характеристик термического режима той или иной акватории представляется распределение температуры поверхностного слоя (ТПС). В данном случае велико и прикладное значение распределения ТПС, которая служит важнейшим поисковым ори-

ентиром при обнаружении скоплений электроны Карлсберга (Масленников и др., 1991).

Прежде чем перейти к обсуждению изменчивости поля ТПС, следует выделить его основные, крупномасштабные особенности, обнаруживающиеся на всех съемках (рис. 1). Обусловлено это тем, что поле поверхностной температуры отражает не только сезонное тепловое состояние поверхностных вод, но и их динамические особенности, связанные с фронтальными процессами. Отсюда большая неравномерность в ее распределении. Прежде всего, выделяются два квазисезональных (в генеральном простирании) пояса вод с повышенным горизонтальным градиентом ТПС, соответствующие северной и южной границам ЮПФЗ и оконтуривающие меандры и изолированные очаги как антарктических, так и субантарктических вод в пределах фронтальной зоны. Степень выраженности термических фронтов существенно меняется от съемки к съемке и даже от разреза к разрезу; особенно это касается южной границы ЮПФЗ. Горизонтальные градиенты ТПС на северной границе ЮПФЗ значительно выше, чем на южной.

Как известно, границам ЮПФЗ соответствуют основные струи Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) (Callahan, 1971; Емелгу, 1977; Nowlin et al., 1977), пространственная структура которых во многом определяется сложным рельефом дна на полигоне (Зарихин, 1990). В связи с этим на акватории полигона формируются квазистационарные формы циркуляции и, соответственно, взаимопроникающие теплые и холодные меандры (затоки). Их протяженность, конфигурация, выраженность в поле гидрофизических параметров могут существенно (и быстро) меняться, однако сохраняются они, по-видимому, постоянно.

Наиболее устойчива ситуация в северо-западной части полигона. На разрезе по 40° з.д., около 49° ю.ш., как правило, наблюдается слияние двух высокоградиентных поясов, соответствующих границам ЮПФЗ, в единый "жгут", так что на широте $48^{\circ}30'$ ю.ш. располагаются воды субантарктической вертикальной структуры, а на широте $49^{\circ}30'$ ю.ш. — антарктической. Так было на пяти из шести проведенных на РТМС "Возрождение" съемках, аналогичная картина была зафиксирована на разрезе по 40° з.д., дважды выполненном в 25-м рейсе НПС "Академик Книпович" в январе и в апреле 1990 г. Слияние границ ЮПФЗ в единый "жгут" вблизи 49° ю.ш. на меридиане 40° з.д. было отмечено и в экспедиции НИС "Вальтер Хервиг" в

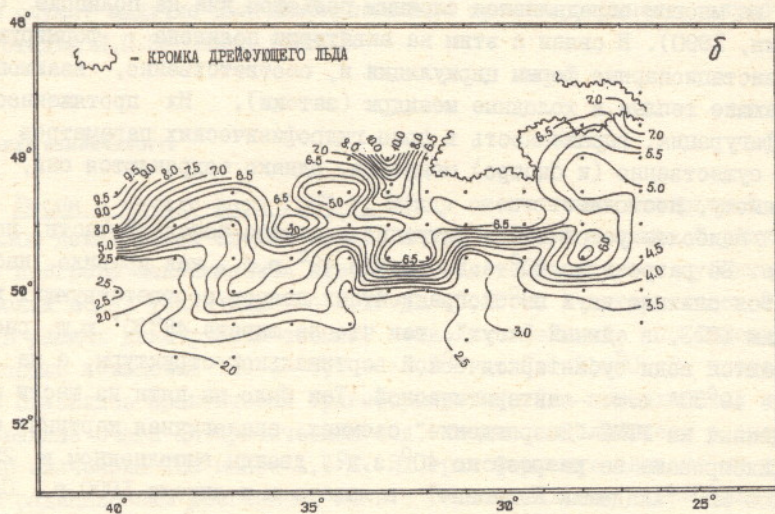
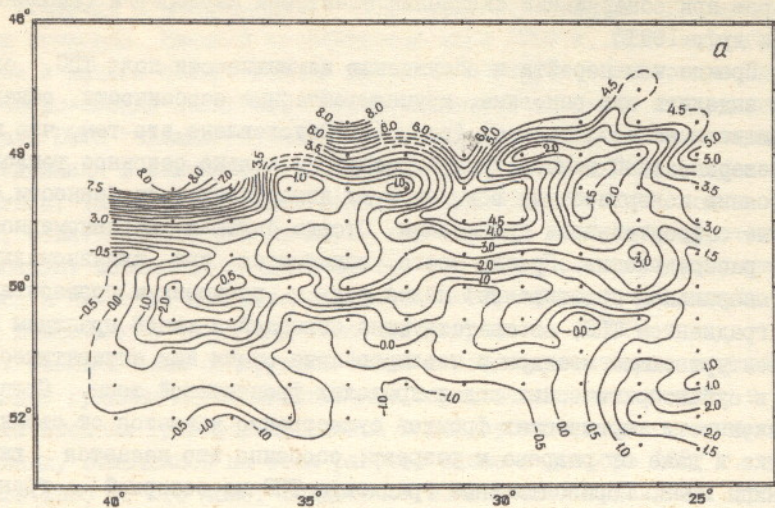


Рис. I

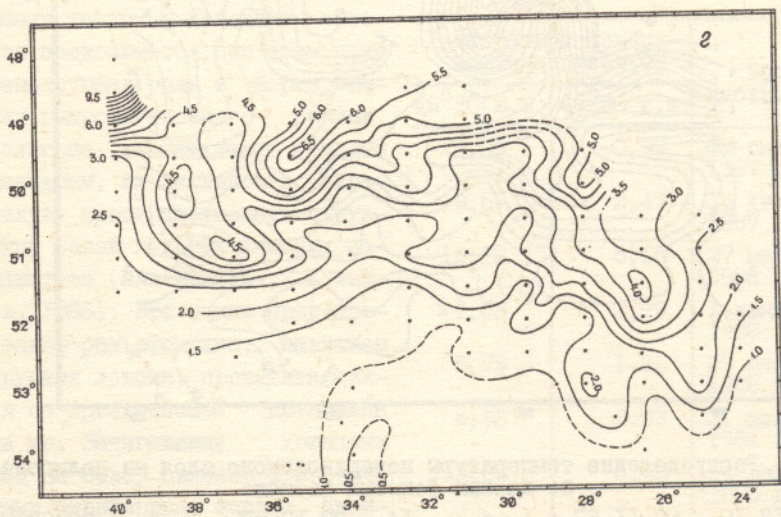
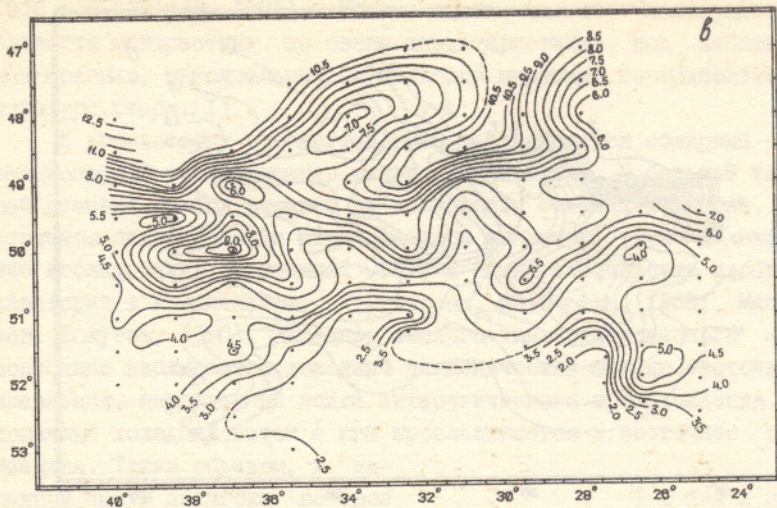


Рис. I

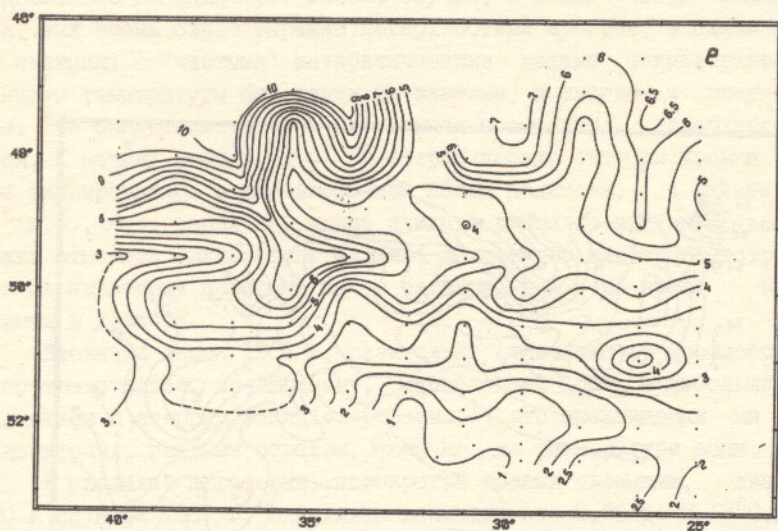
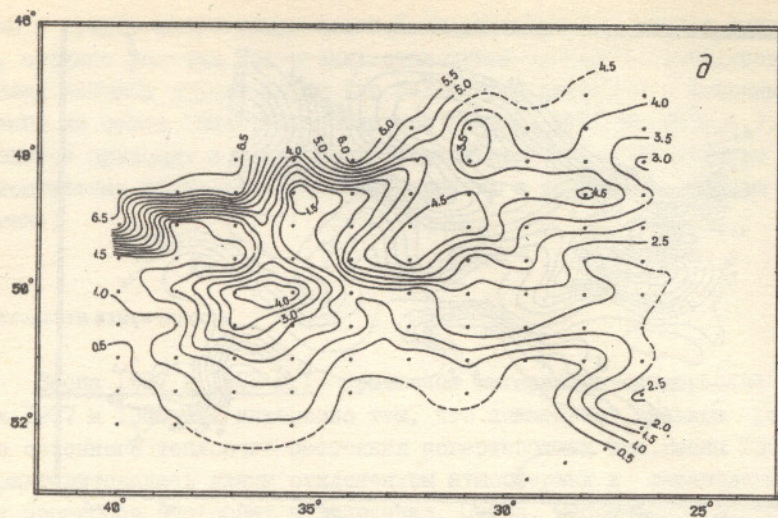


Рис. I. Распределение температуры поверхностного слоя на полигоне, по данным фоновых съемок:

а - 13.10 - 02.11.87 ; б - 14 - 29.12.87 ; в - 27.03 - 29.04.88 ; г - 31.05 - 28.06.88 ; д - 28.09 - 16.10.88 ; е - 30.05 - 30.06.89

1976 г. (Hulley, 1981). Именно здесь за счет непосредственной близости контрастных по своим характеристикам вод наблюдаются, как правило, максимальные на полигоне перепады поверхностной температуры (табл. I).

К юго-востоку от "жгута" ЮФЗ располагается обширный квазистационарный теплый меандр южного направления. В большей или меньшей степени он был выражен на всех шести съемках полигона. О постоянном существовании этого меандра свидетельствуют и многолетние исследования экспедиций СРПР, а также спутниковые изображения акватории в ИК-диапазоне (Peterson, Whitworth, 1989; Масленников, Хомутов, 1990). Западнее теплого квазистационарного меандра постоянно наблюдается холодный циклонический меандр восточного направления, заполненный водой антарктического происхождения. Аналогичный холодный заток с юга прослеживается и восточнее теплого меандра. Таким образом, в западной части полигона во все сезоны года наблюдается система затоков, состоящая из двух холодных и теплого между ними.

Далее к востоку процесс смены теплых и холодных затоков продолжается. При этом главенствующая роль в формировании гидрологического режима полигона принадлежит теплым меандрам, их активность определяет пространственную структуру полей гидрофизических параметров (Maslennikov, Zozul'ina, 1988). Это также предопределено рельефом дна, наличием крупных ложбин, протягивающихся от Аргентинской котловины на юг. Затягивание холодных вод на север связано с восточными перифериями теплых антициклонических меандров. На крайнем востоке полигона лож-

Т а б л и ц а I
Значения температуры
поверхностного слоя на разрезе по
40° з.д. на широтах 48°30'
и 49°30' ю.ш.

Температура поверхностного слоя, °С		Время наблюдений
48°30' ю.ш.	49°30' ю.ш.	
7,58	-0,68	14 октября 1987 г.
9,57	2,47	14 декабря 1987 г.
11,18	5,15	27 марта 1988 г.
9,88	2,79	1 июня 1988 г.
6,79	1,20	29 сентября 1988 г.
8,43	2,93	31 мая 1989 г.
12,60	5,40	14 января 1990 г.
8,41	4,84	8 апреля 1990 г.

бины и гребни квазимеридиональной направленности, сменяя друг друга, создают условия для резких отклонений потока и проникновения теплых затоков далеко на юг (до 54° ю.ш. и южнее) и холодных — далеко на север (вплоть до северной границы ЮПФЗ на 48° ю.ш.). Эти процессы приводят к расширению фронтальной зоны и уменьшению горизонтальных градиентов ТПС по сравнению с западной частью полигона.

Межгодовая изменчивость

Весна 1987 и 1988 гг. Сравнение материалов октябрьских съемок 1987 и 1988 гг. интересно тем, что показывает сильное различие сезонного теплового состояния поверхностных вод. Весна 1987 г. характеризовалась явным отклонением атмосферных и океанологических процессов в сторону похолодания. Сезон, несомненно, относился к аномально холодным (во всяком случае, в южной части полигона). Так, был очень слабо выражен поверхностный прогрев, в связи с чем на станциях с "чистыми" антарктическими водами подповерхностный минимум температуры был почти не заметен, а иногда и отсутствовал. Это свидетельствует о еще зимнем состоянии поверхностного слоя. К началу съемки, т.е. во второй декаде октября, кромка льда еще фиксировалась в юго-восточной части полигона, в районе $51 - 52^{\circ}$ ю.ш., что, вероятно, можно считать довольно редким явлением. Можно отметить также очень большое количество айсбергов, встреченных на акватории полигона как в октябре, так и во время второй съемки в декабре.

Весенний сезон 1988 г. разительно отличался от прошлогоднего и соответствовал, по-видимому, многолетней норме с небольшим отклонением в сторону теплого. Отразилось это практически на всех показателях, главным образом, конечно, на температуре воды.

В пределах акватории, перекрытой обеими съемками, диапазон ТПС в октябре 1987 г. охватывал величины от $-0,80$ до $8,18^{\circ}\text{C}$, в октябре 1988 г. — соответственно от $0,13$ до $6,79^{\circ}\text{C}$. Как видно, в октябре 1987 г. по сравнению с 1988 г. более теплые воды располагались в субантарктической части акватории и более холодные — в антарктической. Так, в октябре-ноябре 1987 г. в водах антарктической структуры были отмечены отрицательные значения ТПС. В сентяб-

ре-октябре 1988 г., т.е. в более ранний период весны, отрицательные значения поверхностной температуры не встречались вообще. Расширенный диапазон ТПС на полигоне весной 1987 г. свидетельствует об общем увеличении горизонтального градиента, обострении, если можно так выразиться, ЮПФЗ. Характерно, что это происходило за счет влияния как антарктических, так и субантарктических вод. Аномально холодное состояние поверхностного слоя воды в южной части полигона было обусловлено усилением влияния антарктических вод, в том числе высокоширотной модификации (вод моря Уэдделла). С другой стороны, на севере полигона повышенное тепловое состояние поверхностного слоя указывает на одновременно развивавшийся процесс усиления напряжения субантарктических вод.

Весной 1988 г. сильный подпор антарктических вод, характерный для 1987 г., отсутствовал, было заметно мощное развитие теплых меандров. Так, западный квазистационарный теплый меандр занимал обширную акваторию, его влияние сказывалось далеко на юге, вплоть до 52° ю.ш. Это также показатель определенной направленности природных процессов, ведущей к общему повышенному тепловому фону.

Начало зимы 1988 и 1989 гг. Сравнение результатов июньских съемок несколько затрудняется тем обстоятельством, что в 1988 г. основной акцент был сделан на исследование южной части полигона. Выход в "чистые" субантарктические воды был осуществлен лишь на трех меридиональных разрезах.

В рамках обеих съемок ТПС в июне 1988 г. изменялась от 1,06 до $9,95^{\circ}\text{C}$, а в июне 1989 г. — от 1,04 до $9,56^{\circ}\text{C}$, т.е. пределы изменения температуры практически одинаковы. Таким образом, упомянувшееся выше запаздывание сезонных процессов, отмеченное в конце 1987 г., к началу зимы 1988 г. уже не прослеживается. Представляется, что тепловое состояние поверхностных вод в июне как 1988, так и 1989 г. близко к среднемноголетней норме.

Минимальные температуры традиционно фиксируются в антарктических водах на юге центральной части полигона, где, как правило, в большей или меньшей степени выражен подток к южной границе ЮПФЗ трансформированных вод моря Уэдделла. Максимальные значения ТПС наблюдаются в субантарктической зоне на северо-западе полигона, возможно, за счет влияния вод Бразильского течения.

Различия в распределении ТПС наиболее заметны в западной части полигона. Главной особенностью июня 1989 г. было зафиксированное в начале съемки мощное развитие обширного теплого меандра на северо-западе полигона, сопровождавшееся глубоким внедрением в пределы ЮПФЗ "свежих" субантарктических вод. Как показывают наши исследования в совокупности с анализом спутниковых ИК-изображений полигона, такие интенсивные подвижки субантарктических вод с севера, охватывающие, как минимум, всю верхнюю 1000-метровую толщу, происходят иногда достаточно быстро и поэтому не могут рассматриваться в качестве показателей изменчивости сезонного масштаба.

В восточной части полигона, на разрезе по $26^{\circ}30'$ з.д., на обеих съемках были обнаружены очаги относительно теплых вод вблизи южной границы ЮПФЗ. Аналогичные образования, заполненные в различной степени трансформированной водой субантарктического происхождения, отмечались на этом разрезе также в декабре 1987 г. и в апреле 1988 г. Это может свидетельствовать об интенсивном кросс-фронтальном переносе тепла (и солей) в пределы антарктических вод в восточной части полигона посредством распространяющихся в южном направлении антициклонических вихрей, отделяющихся от северной границы ЮПФЗ. По-видимому, благоприятным для этого процесса условием служит наличие квазимеридионально ориентированного хребта [см. статью И.П.Зерихина (1990)].

Сезонная изменчивость

Весна — начало лета 1987 г. Между окончанием октябрьской и началом декабрьской съемки прошло почти полтора месяца. В результате прогрева максимальная поверхностная температура в субантарктических водах увеличилась с $8,18$ до $10,18^{\circ}\text{C}$. В антарктической зоне (в рамках декабрьской съемки, несколько меньшей по площади) произошло повышение ТПС с $-0,7$ — $+0,5^{\circ}\text{C}$ до $2,1-2,8^{\circ}\text{C}$. В пределах ЮПФЗ оказались практически трансформированы (на поверхности) изолированные очаги антарктических вод, хорошо выделявшиеся в октябре по значениям ТПС менее $1,5^{\circ}\text{C}$. Их трансформация связана не только с радиационным прогревом, но и с горизонтальным перемешиванием, со сменой большей части вод фронтальной зоны в связи с интенсивным развитием двух меандров южного направления. Пояса повышен-

ного горизонтального градиента ТПС в результате оказались более обострены, чем в октябре, более четко выявлялось положение южной границы ЮФЗ. Изменения, связанные с развитием двух крупных мейандров южного направления, сильно сказались во всей 1000-метровой толще вследствие почти полной замены вод фронтальной вертикальной структуры на воды, близкие к структуре субантарктической. Так, на горизонте 1000 м температура на большей части полигона повысилась на 0,1–0,5°C (рис. 2). Однако, как видно, не сдают своих позиций и антарктические воды.

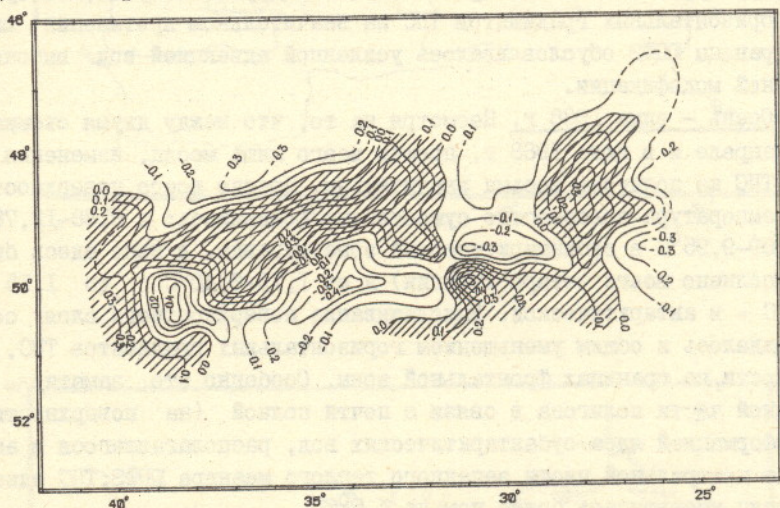


Рис. 2. Изменение температуры на горизонте 1000 м ($T_2 - T_1$) между съемками в октябре и декабре 1987 г.

Начало лета – осень 1988 г. Хотя по гидрологическому календарю апрель в районе ЮФЗ соответствует середине осени, в связи с запаздыванием развития сезонных процессов, имевшим место в конце 1987 – начале 1988 г., тепловое состояние поверхностного слоя вод в апреле 1988 г. отвечает скорее летним условиям. По сравнению с декабрем ТПС на акватории полигона возросла еще на 2–3°C. Поверхностная температура в субантарктической зоне повсеместно превышала 9°C, достигая максимума на северо-западе полигона. В антарктической зоне ТПС (опять же в рамках сокращенной декабрьской съемки) выросла с 2,1–2,8 до 4,2–6,4°C. Значительно лучше выра-

жен западный квазистационарный теплый меандр ЮПФЗ, очевидно, за счет недавнего поступления очередного объема "свежих" субантарктических вод с севера. Их остаточный изолированный очаг четко выделяется в центре меандра. Второй примечательной особенностью апрельской съемки представляется интенсивное развитие в срединной части полигона очень крупного меандра с севера, заполненного субантарктической водой с поверхностной температурой более 10°C . Именно эти два теплых меандра во многом определяли пространственную структуру поля ТПС в апреле 1988 г. С другой стороны, обострение горизонтальных градиентов ТПС на значительном протяжении южной границы ЮПФЗ обуславливалось усиленной адвекцией вод высокоширотной модификации.

Осень - зима 1988 г. Несмотря на то, что между двумя съемками в апреле и в июне 1988 г. прошел всего лишь месяц, изменения в поле ТПС на полигоне весьма значительны. Прежде всего, поверхностная температура повсеместно существенно понизилась: с $9,88-12,78$ до $5,89-9,95^{\circ}\text{C}$ в субантарктической зоне (правда, в июне здесь было выполнено всего четыре станции) и от $1,79-6,40^{\circ}\text{C}$ до $1,15-3,48^{\circ}\text{C}$ - в антарктической. Выхолаживание поверхностного слоя сопровождалось и общим уменьшением горизонтальных градиентов ТПС, в частности, на границах фронтальной зоны. Особенно это заметно в западной части полигона в связи с почти полной (на поверхности) трансформацией ядра субантарктических вод, располагавшегося в апреле в центральной части западного теплого меандра ЮПФЗ; ТПС здесь за месяц уменьшилась более чем на $4,5^{\circ}\text{C}$.

Короткопериодная изменчивость на отдельных участках полигона

После завершения октябрьской съемки 1987 г. на основании выявленного на ней положения высокоградиентных зон, сформировавшихся на стыке субантарктических вод с остаточными изолированными очагами антарктических вод, была выполнена серия пересекающих эти зоны галсов с постоянной записью ТПС. Таким образом можно проследить пространственные изменения этой зоны повышенного горизонтального градиента ТПС, совпадающего в основном с северной границей ЮПФЗ. Поскольку генеральное движение при этом осуществля-

лось в обратном направлении, то с продвижением на запад все более увеличивался срок, прошедший между основной съемкой и микросъемкой. Начало последней было в день окончания основной съемки (2 ноября), поэтому этот срок можно отсчитывать с 0,5 суток. Микросъемка была завершена 7 ноября на участке, где работы на основной съемке шли 18 октября, т.е. здесь перерыв между наблюдениями составил уже 20 суток. Следует отметить большую детальность картины распределения ТПС, полученной на микросъемке. Сопоставление представляется все же вполне правомерным, но без учета мелких деталей. Двигаясь с востока на запад, рассмотрим некоторые наиболее существенные изменения (рис. 3). Заметно небольшое смещение к западу массива антарктических вод (во всяком случае, его поверхностного выражения). Кроме того, он оказался разорванным градиентной перемычкой на два очага (рис. 4). Эти изменения произошли за 6-12 дней. Меандр южного направления в общем сохранил свои положение и конфигурацию (с незначительным сдвигом на запад). Далее к западу наблюдались уже существенные изменения. Вытянутый в широтном направлении массив антарктической воды оказался сжатым с востока и запада, что привело к изменению его положения на меридиональное. Соответствующее нарушение испытывает и северная граница ЮКФЗ (рассматриваемая градиентная зона). Промежуток времени между съемками составил здесь от 16 до 20 дней.

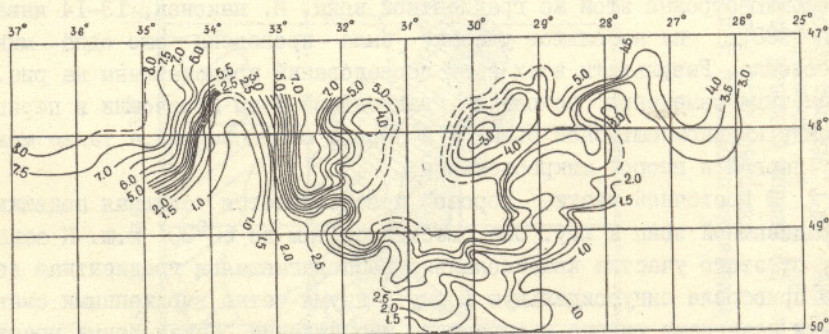


Рис. 3. Распределение температуры поверхностного слоя по данным микросъемки 2-7 ноября 1987 г.

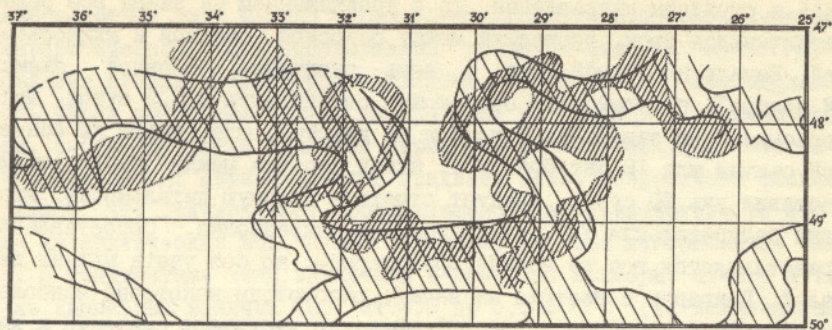


Рис. 4. Изменение структуры зоны повышенного горизонтального градиента поверхностной температуры на микросъемке 2-7 ноября 1987 г. относительно фоновой съемки 13 октября - 2 ноября 1987 г.

Подобный вариант микросъемки был проведен после завершения декабрьской съемки 1987 г. Микросъемка охватила участок высокоградиентной зоны, соответствующей южной границе ЮПФЗ, между 27 и 35° з.д. Во время фоновой съемки на данном участке работы проводились с 20 по 29 декабря 1987 г. Микросъемка (в обратном направлении, на запад) была выполнена с 29 по 31 декабря 1987 г. С 27 декабря 1987 г. по 5 января 1988 г. здесь же работала экспедиция СРПР на БМРТ "Михаил Вербицкий", передавая нам данные по положению стрижня этой же градиентной зоны. И, наконец, 13-14 января 1988 г. на небольшом участке была проведена еще одна микросъемка. Результаты всех этих исследований представлены на рис.5. Заметные изменения положения градиентной зоны произошли в период между крупномасштабной съемкой и первой микросъемкой, а также между первой и второй микросъемками.

В восточной части хорошо прослеживается сильная подвижка градиентной зоны к югу. Она сместилась там до 50°30' ю.ш. К западу от этого участка квазизонально располагавшаяся градиентная зона приобрела синусоидальную форму с двумя четко выраженными смежными меандрами южного и северного направлений. Такая форма градиентной зоны подтвердилась и данными, полученными с борта БМРТ "Михаил Вербицкий". Более того, по этим данным, экстремальные точки синусоидальной волны, описывающей зону, выдвинулись еще дальше на юг и на север. Все это свидетельствует об энергичном

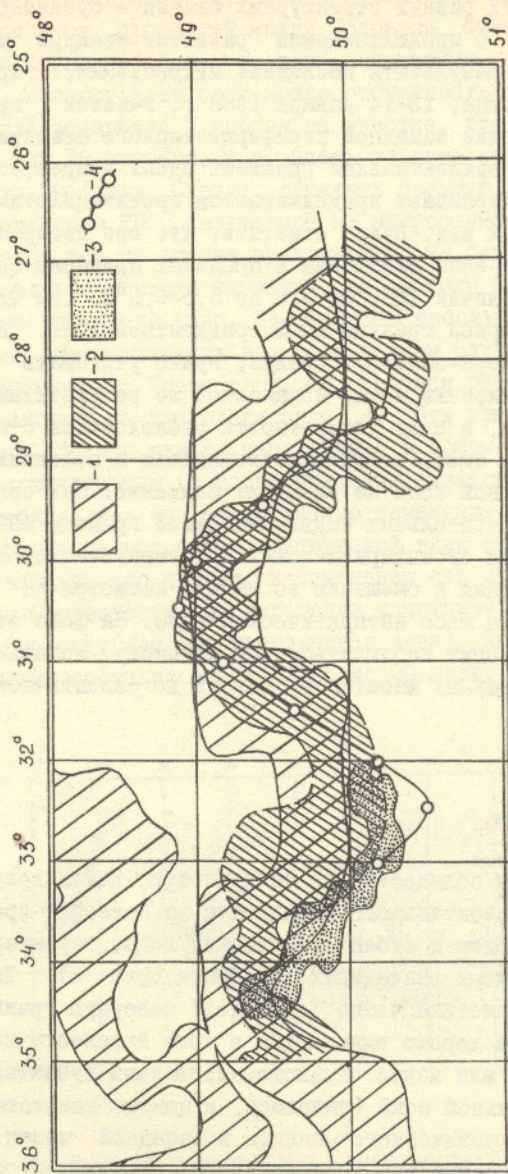


Рис. 5. Изменения структуры и положения зоны повышенного горизонтального градиента поверхностной температуры на южной периферии полигона:

1 - зона по данным фоновой съемки 14-29 декабря 1987 г.; 2 - по микросъемке 29-31 декабря 1987 г.; 3 - по микросъемке 13-14 января 1988 г.; 4 - стрележь зонд по данным БМРТ "Михаил Веровицкий" (27 декабря 1987 г. - 5 января 1988 г.)

взаимодействии двух равных структурных единиц — субантарктической и антарктической. О продолжающемся развитии меандра южного направления говорят результаты последней микросъемки, проведенной здесь через полмесяца, 13–14 января 1988 г. Участок градиентной зоны, соответствующий западной периферии теплого меандра, сместился на юго-запад. Горизонтальный градиент здесь возрос, зона сильно сузилась, что подчеркивает продолжающееся противодействие со стороны антарктических вод. Нужно отметить, что все изображенные на рис. 5 градиентные зоны заключены в пределах примерно одного и того же диапазона величин ТПС, от 3,5 до 5,5–6,0°C (за исключением относящейся к северной границе ЮПФЗ градиентной зоны, изображенной на крайнем северо-западе). Правда, нужно учитывать возможное искусственное расширение зоны, показанной по результатам крупномасштабной съемки, в силу дискретности расположения станций.

Как бы там ни было, отмеченные изменения в положении и конфигурации градиентной зоны не вызывают сомнений. Они свидетельствуют о довольно значительных подвижках южной границы ЮПФЗ, вызванных взаимодействием субантарктических и антарктических вод. Прослеживается тенденция к смещению ее на юг, несмотря на противодействие со стороны масс антарктической воды. На фоне этой генеральной подвижки могут наблюдаться, по-видимому, локальные колебания меньших временных масштабов, вплоть до синоптического (2–3 суток).

Распределение солености

Распределение солености на поверхности демонстрирует пояс значительного горизонтального градиента на северной границе ЮПФЗ, связанный с переходом к субантарктической воде, характеризующейся относительно высокими значениями солености (рис. 6). Таким образом, эта характеристика четко "отбивает" северную границу ЮПФЗ. Естественно, также хорошо выделяются в поле солености изолированные очаги более или менее трансформированных субантарктических вод внутри фронтальной зоны (например, в центре квазистационарного теплого антициклонического меандра в западной части полигона). Разумеется, зоны повышенных горизонтальных градиентов солености, связанные с внедрениями субантарктических вод, совпадают с зонами

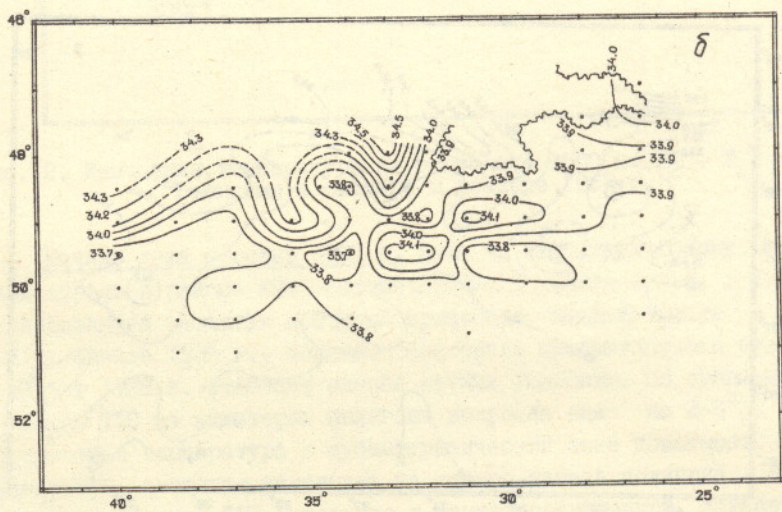
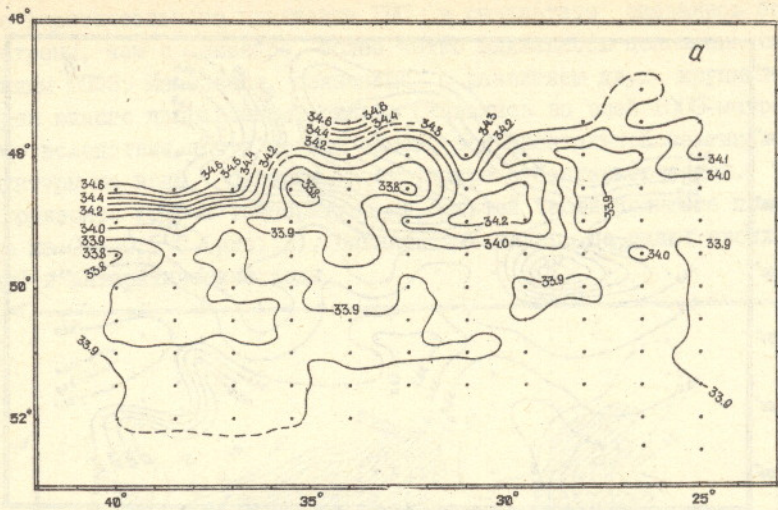


Рис. 6

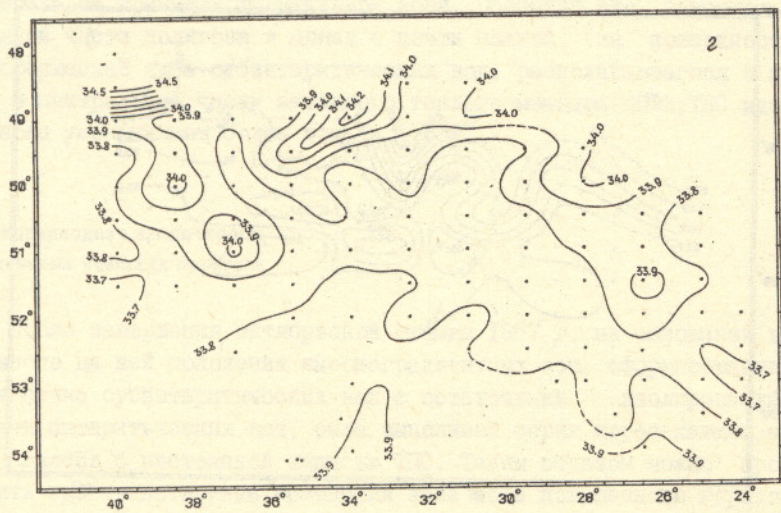
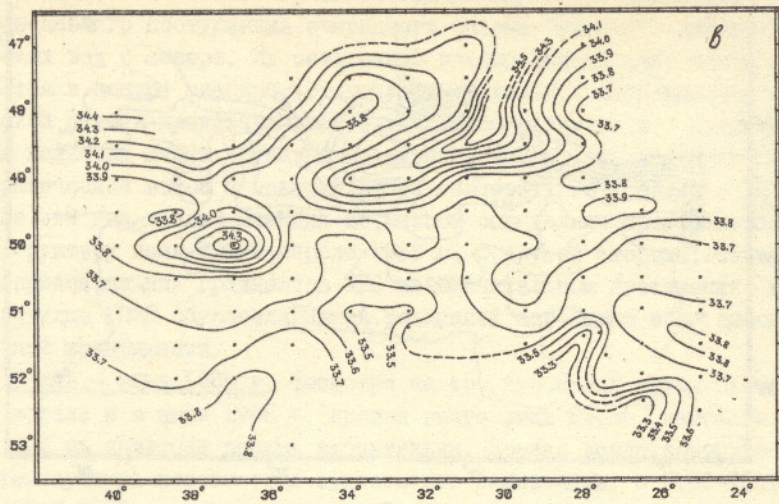


Рис. 6

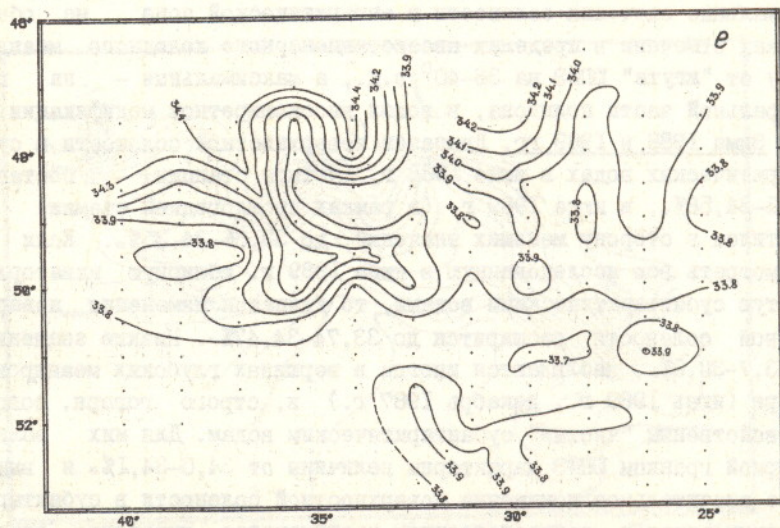
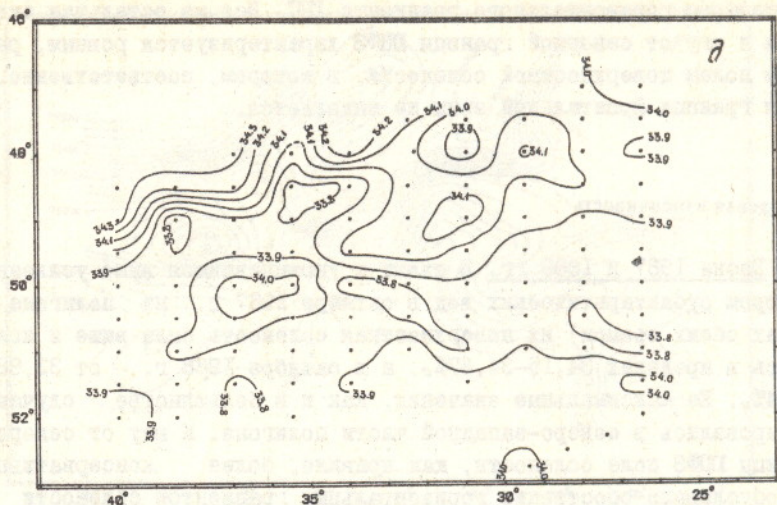


Рис. 6. Распределение солености поверхностного слоя на полигоне, по данным фоновых съемок. Обозначения на рис. I

повышенного горизонтального градиента ППС. Вся же остальная акватория к югу от северной границы ЮПФЗ характеризуется ровным, размытым полем поверхностной солености, в котором, соответственно, южная граница фронтальной зоны не выделяется.

Межгодовая изменчивость

Весна 1987 и 1988 гг. В связи с упоминавшимся выше усиленным подпором субантарктических вод в октябре 1987 г. на полигоне (в рамках обеих съемок) их поверхностная соленость была выше и колебалась в пределах 34,15–34,67‰, а в октябре 1988 г. – от 33,98 до 34,34‰. Ее максимальные значения, как и в большинстве случаев, фиксировались в северо-западной части полигона. К югу от северной границы ЮПФЗ поле солености, как правило, более консервативно, что обусловило обострение горизонтальных градиентов солености на северной границе фронтальной зоны в октябре 1987 г. В антарктических водах диапазон изменения солености практически одинаков: 33,79–34,00‰ в 1987 г. и 33,77–33,98‰ в 1988 г. Характерно, что минимальные значения солености в антарктической зоне на обеих съемках отмечены в пределах квазистационарного холодного меандра к югу от "жгута" ЮПФЗ на 38–40° з.д., а максимальные – на юге центральной части полигона, в водах высокоширотной модификации.

Зима 1988 и 1989 гг. Диапазон поверхностной солености в субантарктических водах в июне 1988 г. (четыре станции) составил 34,03–34,56‰, в июне 1989 г. (в рамках прошлогодней съемки) он сместился в сторону меньших значений, до 33,86–34,35‰. Если же рассмотреть всю исследованную в июне 1989 г. обширную акваторию, занятую субантарктическими водами, то диапазон изменения поверхностной солености расширится до 33,74–34,47‰. Низкие значения, до 33,7–33,8‰, наблюдаются иногда в вершинах глубоких меандров с севера (июнь 1989 г., декабрь 1987 г.) и, строго говоря, совсем не свойственны "чистым" субантарктическим водам. Для них вблизи северной границы ЮПФЗ характерны величины от 34,0–34,1‰ и выше. Такое значительное понижение поверхностной солености в субантарктических водах и, соответственно, расплывчатое выражение северной границы фронтальной зоны обусловлены наплывом достаточно тонкой поверхностной пленки вод ЮПФЗ. Этот эффект аналогичным

образом проявляется и в поле ТПС, особенно в восточной части полигона. Временной масштаб процессов, вызывающих натекание тонкого слоя относительно холодных и распресненных вод ЮПФЗ на прилегающие воды субантарктической структуры, оценить трудно, но, во всяком случае, связывать их с сезонными изменениями поверхностного слоя, конечно, нельзя.

В антарктических водах поле солености, как и в другие сезоны, размыто, ее значения колебались от 33,66 до 33,82‰ в июне 1988 г. и от 33,70 до 33,91‰ в июне 1989 г. При этом наибольшие величины поверхностной солености на обеих съемках, как и в весенний сезон, фиксировались на юге центральной части полигона в водах моря Уэдделла.

Сезонная изменчивость

Весна – начало лета 1987 г. В распределении поверхностной солености в декабре по сравнению с октябрем заметно некоторое распреснение, вызванное интенсивным таянием большого количества дрейфующего льда. Ранее уже упоминалось об аномальных ледовых условиях, в частности, о массе айсбергов на полигоне в конце 1987 г. Например, на микросъемке в начале ноября у самой северной границы ЮПФЗ, в изолированном очаге антарктических вод, было отмечено более 100 айсбергов в пределах 16-мильной шкалы РЛС. Особенно много айсбергов было встречено в северо-восточной части полигона в период фоновой съемки в декабре 1987 г. Именно из-за их скопления здесь не была "отбита" северная граница ЮПФЗ. Вероятно, причиной столь необычной ледовой обстановки в районе мог быть гигантский дрейфующий айсберг, неоднократно фиксировавшийся на спутниковых снимках северо-восточнее полигона. Его размеры составляли приблизительно 60x40 км. Такие айсберги непременно влекут за собой шлейф из огромного количества айсбергов меньшего размера, их осколков и льда, все более увеличивающийся по мере смещения гигантского айсберга в низкие широты, его таяния и разрушения.

В рамках декабрьской съемки соленость в субантарктических водах изменялась от 34,15 до 34,56‰ в октябре и от 33,76 (следствие напыла поверхностной пленки вод из ЮПФЗ) до 34,55‰ в декабре; в антарктических водах она уменьшилась от 33,88–33,97 до 33,69–33,85‰.

Начало лета - осень 1988 г. И в декабре 1987 г., и в апреле 1988 г. максимальные величины поверхностной солености зафиксированы в пределах интенсивно развивавшихся крупных антициклонических меандров вблизи 31-33° з.д., заполненных "свежими" субантарктическими водами (соответственно 34,55 и 34,50‰). По данным апрельской съемки, в поле солености (как и в поле ТПС) хорошо выражено ядро слаботрансформированных субантарктических вод в центральной части западного квазистационарного теплого меандра ЮПФЗ. На остальной акватории продолжался, правда в незначительной степени, процесс распреснения поверхностных вод. Например, в антарктической зоне (опять же в пределах акватории декабрьской съемки) соленость уменьшилась с 33,69-33,85‰ в декабре до 33,62-33,81‰ в апреле.

Минимальные значения поверхностной солености на апрельской съемке 1988 г. в отличие от всех других съемок, достаточно протяженных в южном направлении, наблюдались в южной части полигона, в водах моря Уэдделла. Как известно, уэдделловоморские воды отличаются повышенной соленостью зимой и весной и распресняются лишь летом. Однако столь значительное понижение их поверхностной солености, до 33,3‰ и менее на крайнем юго-востоке полигона, очевидно, было вызвано еще и местными процессами - интенсивным таянием множества айсбергов, скопившихся здесь в период съемки.

Осень - зима 1988 г. Диапазон поверхностной солености в прилегающих к ЮПФЗ с севера субантарктических водах изменился незначительно: 34,14-34,50‰ в апреле и 34,08-34,56‰ в июне. Зато к югу от северной границы ЮПФЗ за месяц, прошедший между двумя съемками, произошли серьезные изменения. Обращает на себя внимание общее уменьшение горизонтальных градиентов солености. В западной части полигона причиной тому послужила сильная трансформация (на поверхности) очага субантарктических вод внутри квазистационарного антициклонического меандра ЮПФЗ. К востоку от этого меандра, в южной части полигона, уже не контрастируют пониженными значениями поверхностной солености воды высокоширотной модификации. В связи с сезонными процессами (не было и айсбергов) их соленость всего за месяц возросла настолько, что практически не отличалась (а зачастую и превышала) от поверхностной солености антарктических вод системы АЦТ. Диапазон поверхностной солености в антарктической зоне изменился от 33,24-33,83‰ в апреле до 33,66-

33,86% в июне. При этом минимальные величины в апреле и максимальные — в июне отмечены именно в водах моря Уэдделла.

Циркуляция вод

Геострофические течения рассчитывались от поверхности 1000 дб. Для получения абсолютной скорости геострофического переноса (относительно дна) использовался коэффициент, вычисленный для южной части моря Скотия и равный 1,7 (Афанасьев, Масленников, 1983).

На всех съемках выделяются следующие общие особенности циркуляции вод (рис. 7). В северной части полигона располагается стрежневая зона течения, соответствующая северной границе ЮПФЗ. Скорости здесь составляют в среднем 24–25 см·с⁻¹ (с поправочным коэффициентом 41–42 см·с⁻¹). Увеличение скоростей до 28 (48) см·с⁻¹ и более наблюдается в период интенсивного развития крупных антициклонических меандров северной границы ЮПФЗ. Южной границе также соответствует струя АЦТ, не столь четко, правда, выраженная. Скорости геострофического переноса в ней не превышают 17–20 (29–34) см·с⁻¹. Максимальные скорости — до 35–41 см·с⁻¹ (59–70 см·с⁻¹ или 1,2–1,4 узла) — отмечаются в "жгутах" ЮПФЗ, где соседствуют непосредственно антарктические и субантарктические воды. Один из таких участков, как правило, располагается на 38–40° з.д. Повышение скорости в струе на южной границе ЮПФЗ до 26–30 (44–52) см·с⁻¹ регулярно отмечается к востоку от 34° з.д., в местах слияния со струей, соответствующей Вторичной фронтальной зоне (ВФЗ).

Приведенные цифры получены по материалам крупномасштабных фоновых съемок. Реальные скорости могут быть значительно выше. В качестве примера можно привести данные микросъемки, проведенной 25–28 ноября 1988 г. в районе "жгута" ЮПФЗ (48°50' — 49°50' ш.ш., 37–40° з.д.). В период работ в восточной части микрополигона наблюдалось интенсивное развитие меандра южного направления, заполненного чистой субантарктической водой. В результате узкая полоса "жгута" фронтальной зоны оконтуривала квазистационарный холодный меандр не только с севера, как обычно, но и с востока, приблизительно вдоль 38°30' з.д. На этом участке "жгута" ЮПФЗ в результате

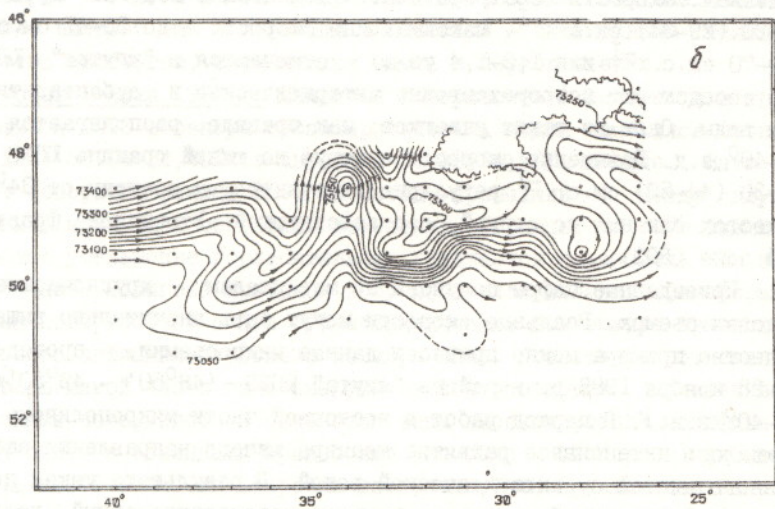
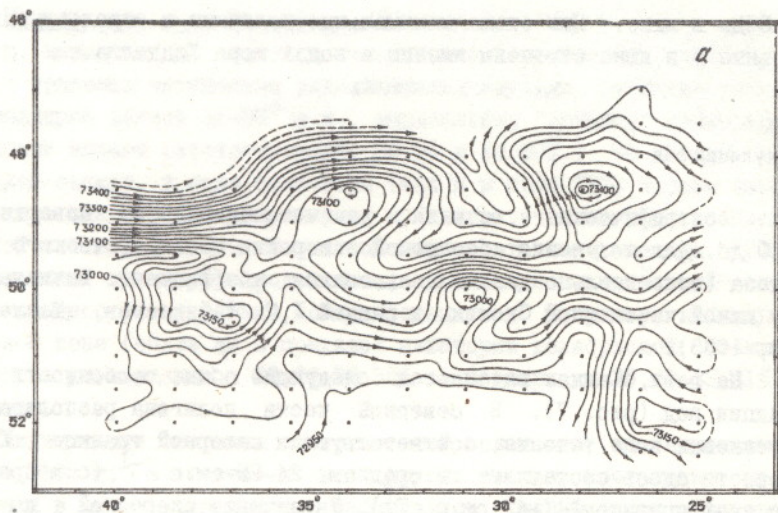


Рис. 7

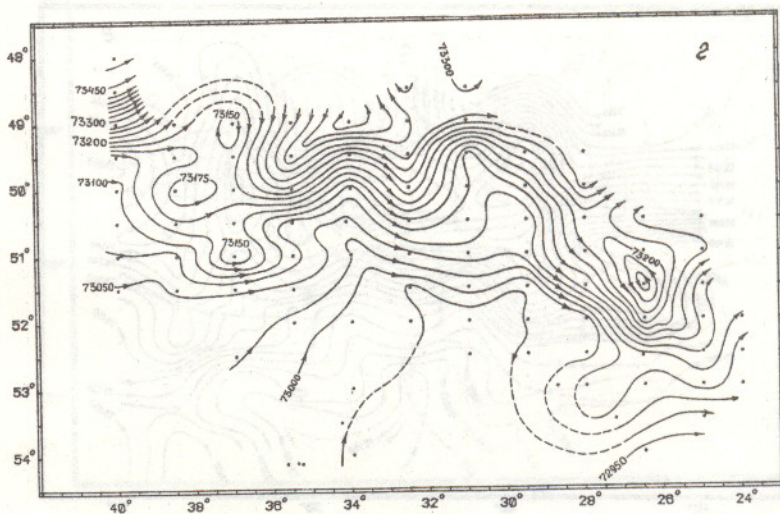
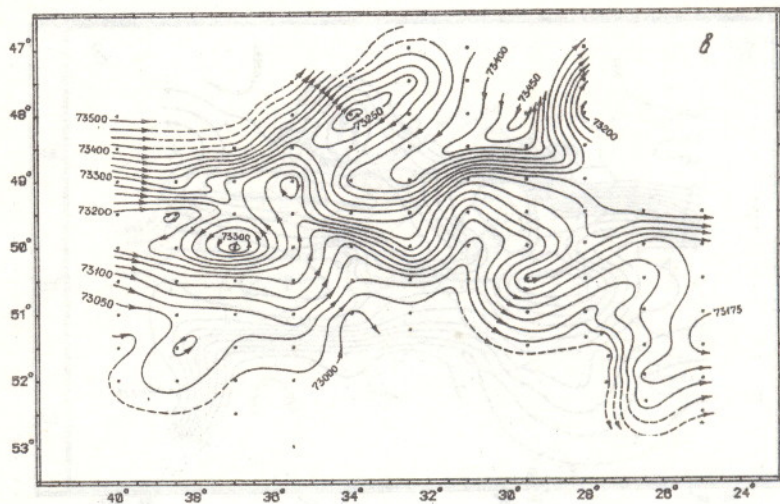


Рис. 7

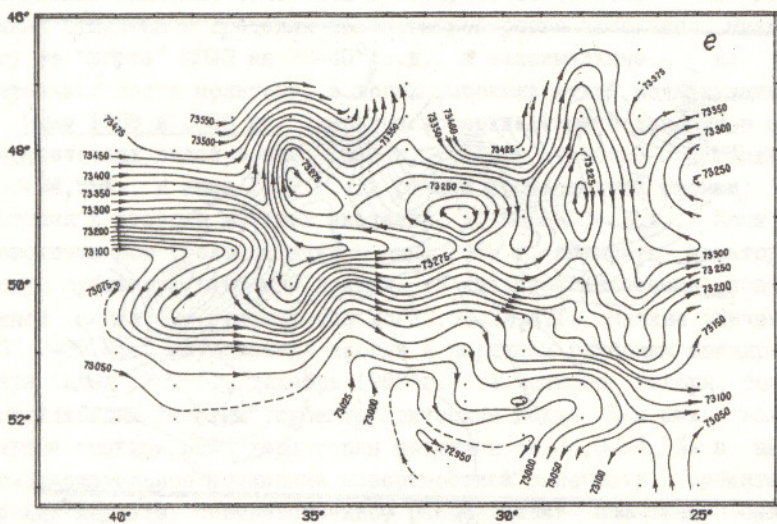
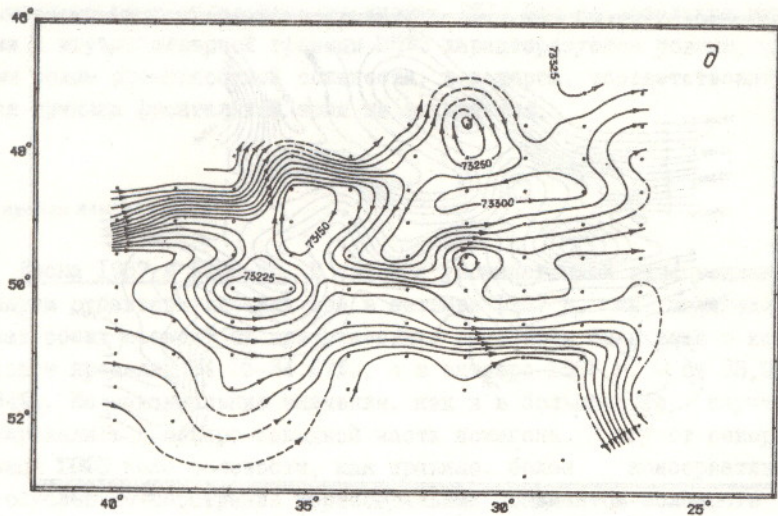


Рис. 7. Поверхностные геострофические течения на полигоне. Обозначения на рис. I

мощной адвекции субантарктических вод с севера скорости геострофического переноса составляли 50–55 см·с⁻¹ (83–90 см·с⁻¹ или 1,6–1,8 узла). Неоднократные расчеты сноса судна по данным спутниковой навигации показали, что в течение двух суток при отсутствии сильных ветров скорость потока достигала здесь как минимум 4 узла.

Циклонические круговороты соответствуют меандрам северного направления или включениям антарктических вод. Меандрам южного направления, заполненным субантарктической водой или близкой к ней по характеристикам, соответствуют антициклонические круговороты.

С глубиной сохраняются выраженные на поверхности циркуляционные формы – круговороты, меандры, стрежневые участки. Их конфигурация практически не меняется, скорость с глубиной постепенно падает.

Выше уже отмечалось, что меандрирующий характер струй АЦТ, соответствующих границам ЮПФЗ, во многом обусловлен особенностями донного рельефа. Наиболее яркий пример – это наличие в северо-западном углу полигона отрога Фолклендского плато, круто обрывающегося к Аргентинской котловине с перепадом глубин от 2000–2500 до 5000–5500 м на расстоянии от 30 до 120 миль (Зарихин, 1990). Именно эта особенность рельефа дна предопределяет крутой поворот стрежня потока, соответствующего южной границе ЮПФЗ, на юг восточнее 38° з.д. и ведет к формированию квазистационарного теплого меандра, время от времени пополняющегося свежими порциями субантарктической воды. В свою очередь, поток, следующий по периметру отрога Фолклендского плато, увлекает в пределы циклонического круговорота над ним холодные антарктические воды с юга. Вдоль восточной периферии квазистационарного теплого меандра также происходит затягивание антарктических вод в северном направлении. Формированию этого холодного меандра способствует наличие квазимеридионального хребта вблизи 35° з.д. Во время разных съемок степень выраженности, охват акватории этими меандрами существенно меняются, однако в целом система из двух холодных меандров и теплого между ними сохраняется постоянно. Далее на восток можно выделить следующие квазистационарные формы циркуляции:

южный подпор антарктических вод между 28 и 35° з.д. Его наличие во многом обусловлено приближением на этом участке к ЮПФЗ

вод высокоширотной модификации. Их давление сказывается даже в тех случаях, когда эти воды не подходят вплотную к южной границе ЮПФЗ. Отдельно здесь можно упомянуть локальный циклонический меандр струи на южной границе ЮПФЗ с осью вдоль 31° з.д., наблюдавшийся в четырех случаях из шести. Образуется он, очевидно, под влиянием меридионально ориентированной подводной возвышенности;

крупный антициклонический меандр субантарктических вод с севера с источником около $30-32^{\circ}$ з.д.;

струйный поток в "жгута" ЮПФЗ между предыдущими двумя элементами, на участке приблизительно $29-32^{\circ}$ з.д.;

антициклонический меандр струи на южной границе ЮПФЗ на $25-28^{\circ}$ з.д., по данным микросъемок, достигающий иногда $53-54^{\circ}$ ю.ш.;

смежный с предыдущим циклонический меандр антарктических вод к востоку от 25° з.д. К сожалению, ограничение полигона этим меридианом не позволяет с уверенностью говорить о характере его распространения. Однако на разрезе по 25° з.д. неоднократно фиксировалось квазимеридиональное смещение к северу южной границы ЮПФЗ вплоть до $49-50^{\circ}$ ю.ш.

Межгодовая изменчивость

Весна 1987 и 1988 гг. По сравнению с 1987 г. скорость потока в "жгута" ЮПФЗ на $38-40^{\circ}$ з.д. в 1988 г. увеличилась с $30-34$ ($51-58$) см.с⁻¹ до $35-41$ ($59-70$) см.с⁻¹. Это максимальное значение скорости геострофического переноса, отмеченное за все шесть фоновых съемок полигона.

В октябре 1988 г. циклонический меандр к югу от "жгута" ЮПФЗ был выражен лучше и распространялся на восток несколько дальше, нежели в октябре 1987 г. Более обширен был и западный теплый квазистационарный меандр ЮПФЗ. Четче был выражен в его центральной части антициклонический круговорот в связи с наличием очага слаботрансформированных субантарктических вод с резко отличными от окружающих вод характеристиками. Однако южная граница ЮПФЗ на южной периферии этого меандра в поле геострофических течений никак не была выражена, тогда как в октябре 1987 г. скорости здесь достигали $18-19$ ($31-32$) см.с⁻¹. На 34° з.д. на обеих съемках вновь происходило слияние струй на границах ЮПФЗ за счет глубокого вне-

дрения вплоть до северной границы фронтальной зоны антарктических вод в виде изолированного очага в 1987 г. и узкого протяженного меандра с юга в 1988 г. Скорости здесь были соизмеримы с таковыми в "жгуте" ЮПФЗ на западе полигона и достигали соответственно 32 (55) см.с⁻¹ и 34 (57) см.с⁻¹. Далее к востоку на обеих съемках выделялся крупный антициклонический меандр, заполненный субантарктической водой. Скорости на его южной периферии в октябре 1988 г. составляли 24-25 (41-42) см.с⁻¹. В октябре 1987 г. они здесь были меньше, 15-18 (26-31) см.с⁻¹, за исключением разреза по 31° з.д., где фронтальная зона сильно сужалась за счет взаимного сближения субантарктических вод в вершине антициклонического меандра и антарктических вод уэдделловоморского происхождения в вершине меандра циклонического. В результате скорость переноса возросла здесь до 34 (59) см.с⁻¹, величины, типичной для участков "жгута" ЮПФЗ. Южная граница фронтальной зоны весной 1987 и 1988 гг. в поле течений была выражена по-разному. В октябре 1987 г. скорости в соответствующей ей струе АЦТ составляли (вне "жгутов") 12-19 (20-32) см.с⁻¹ на всем протяжении полигона. В 1988 г. четко выраженная струя на южной границе фронтальной зоны сформировалась, лишь начиная с 34° з.д., зато к востоку от 32°30' з.д. скорости в ней поддерживались относительно высокими, в пределах 21-28 (35-48) см.с⁻¹. Очевидно, это было результатом усиленной адвекции с юга вод моря Уэдделла и слияния южной границы ЮПФЗ и ВФЗ на участке 32°30'-26°30' з.д.

Зима 1988 и 1989 гг. В июне 1989 г. на полигоне наблюдалась более сложная структура поля течений, чем в июне 1988 г. Выделялись три крупных антициклонических меандра с севера, заполненные субантарктической водой, между которыми в пределах ЮПФЗ располагались циклонические круговороты, заполненные в различной степени трансформированной антарктической водой или близкой к ней по характеристикам. Проникновение субантарктических вод в пределах антициклонических меандров далеко к югу, до 50° ю.ш. и южнее, привело к формированию "жгутов" ЮПФЗ практически на всем протяжении полигона. Как обычно, максимальные скорости переноса - 25-30 (43-51) см.с⁻¹ - наблюдались на 38-40° з.д. Почти такие же скорости - 25-28 (43-48) см.с⁻¹ - отмечены вблизи 35° з.д., где "свежие" субантарктические воды интенсивно развивавшегося антициклонического меандра с северо-запада приблизились вплотную к

южной границе ЮПФЗ. Два других антициклонических меандра, существовавшие, по-видимому, достаточно давно и слабо выраженные в полях гидрофизических параметров, не вызвали увеличения скорости вблизи южной границы ЮПФЗ. Скорость на этом фронте (за исключением "жгутов" на $38-40^{\circ}$ и $34^{\circ}-35^{\circ}30'$ з.д.) поддерживалась в диапазоне $17-20$ ($29-34$) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$. В южной части полигона прослеживалась адвекция с юга вод высокоширотной модификации; скорость в струе, соответствующей ВФЗ, достигала 22 (37) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$.

По данным съемки в июне 1988 г. можно выделить лишь один крупномасштабный антициклонический меандр с севера, распространившийся на $35^{\circ}30'$ з.д. до южной границы ЮПФЗ. Скорости здесь в результате слияния границ фронтальной зоны в единый поток возросли до 25 (43) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$. Такая же скорость - 26 (44) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$ - отмечена и в "жгуте" ЮПФЗ на 40° з.д. Максимальное же значение скорости - 27 (46) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$ - на разрезе по 31° з.д. также обусловлено слиянием струй на границах ЮПФЗ в результате глубокого внедрения на север антарктических вод в вершине циклонического меандра. На остальных участках скорость переноса в струе на южной границе ЮПФЗ колебалась в пределах $12-20$ ($20-33$) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$, увеличиваясь на востоке полигона до $18-24$ ($30-40$) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$ за счет слияния южной границы ЮПФЗ с ВФЗ. В струе, соответствующей ВФЗ, скорости были ниже, чем в июне 1989 г., и не превышали 12 (20) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$.

Таким образом, насколько можно судить, поле течений на полигоне в июне 1989 г. было более сложным, чем в июне 1988 г. Струя, соответствующая северной границе ЮПФЗ, испытывала значительно более выраженное меандрирование, хотя скорости в ней на обеих съемках были примерно одинаковы - около 24 (41) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$. Оживлению динамической ситуации в 1989 г. способствовали глубокое внедрение в пределы ЮПФЗ субантарктических вод с севера и более сильная адвекция вод моря Уэдделла с юга.

Сезонная изменчивость

Осень - начало зимы 1987 г. Скорость в струе потока на $38-40^{\circ}$ з.д. несколько упала, с 34 (58) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$ в октябре до 31 (52) $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$ в декабре. Изменилась обстановка в западной части полигона. Здесь в декабре было отмечено интенсивное взаимодей-

вие двух меандров: квазистационарного циклонического, заполненно-го антарктической водой, и антициклонического (источник около 35° з.д.), заполняющегося "свежей" субантарктической водой. Судя по величинам характеристик, свойственных каждому из них, эти меандры находились в развитии с усиливающимся взаимопроникновением.

В центральной части полигона динамическая ситуация оживилась вследствие продолжавшегося с октября развития меандра южного направления с источником около 32° з.д. и приближения к южной границе ЮПФЗ субантарктических вод. Максимальные значения скорости возросли здесь хотя и незначительно, с 34(59) до 37(63) см.с⁻¹, но они поддерживались высокими (29-36, или 50-61 см.с⁻¹ с поправочным коэффициентом) на всем протяжении полигона между 28 и 33° з.д.

Вне "жгутов" скорости переноса в декабре 1987 г. на северной границе ЮПФЗ, как обычно, составляли 21-24 (36-41) см.с⁻¹, на южной - 13-17 (22-29) см.с⁻¹.

Начало лета 1987 г. - осень 1988 г. В первую очередь следует отметить, что в апреле 1988 г. единственный раз из шести на западе полигона не зарегистрирован "жгут" ЮПФЗ - западный квазистационарный циклонический меандр оказался заполненным смешанными водами фронтальной зоны, а не антарктическими, как обычно. Поэтому скорости на $38-40^{\circ}$ з.д. были относительно низкими - не более 23 (39) см.с⁻¹ в струе, соответствующей северной границе ЮПФЗ. За прошедшее между съемками время новую порцию субантарктической воды получил западный квазистационарный теплый меандр фронтальной зоны. В его центральной части вновь, как и в октябре, и даже более отчетливо выражен антициклонический круговорот; скорости на его южной периферии достигали 31 (53) см.с⁻¹.

Высокие скорости геострофического переноса сохранились в центральной части полигона. По-видимому, новый импульс развития получил антициклонический меандр с источником "свежих" субантарктических вод вблизи 30° з.д., распространявшихся, как и в декабре 1987 г., вплоть до южной границы ЮПФЗ. В местах сужения фронтальной зоны ($29^{\circ}30'$ - 31° з.д.) скорости на его южной периферии достигали 28-32 (48-54) см.сек⁻¹. Почти такие же значения были характерны и для южной границы ЮПФЗ на участке $32^{\circ}30'$ - 34° з.д. - 26-30 (44-52) см.с⁻¹. Усиление переноса здесь было обусловлено, главным образом, усиленной адвекцией вод высокоширотной модифика-

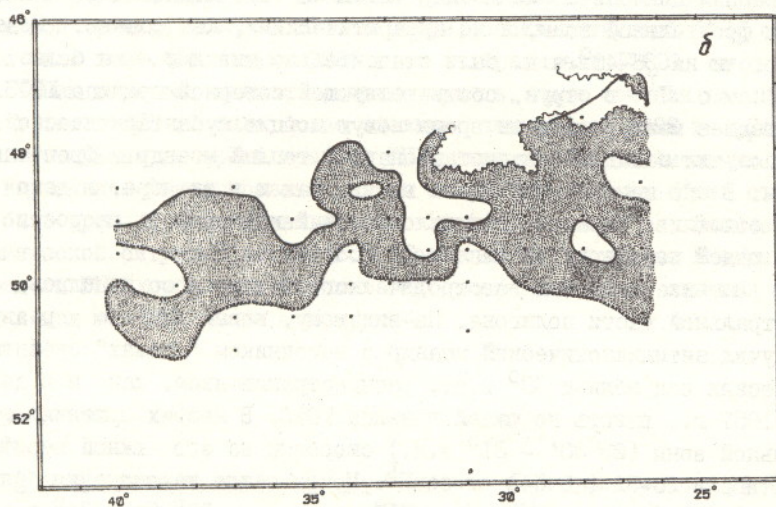
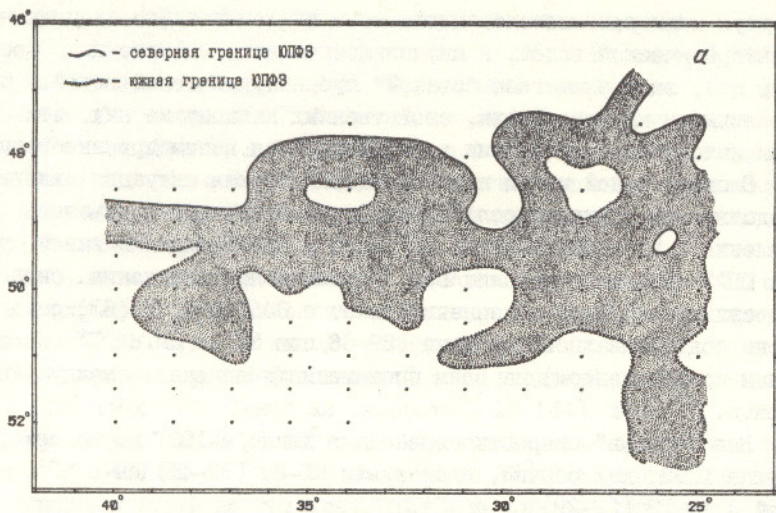


Рис. 8

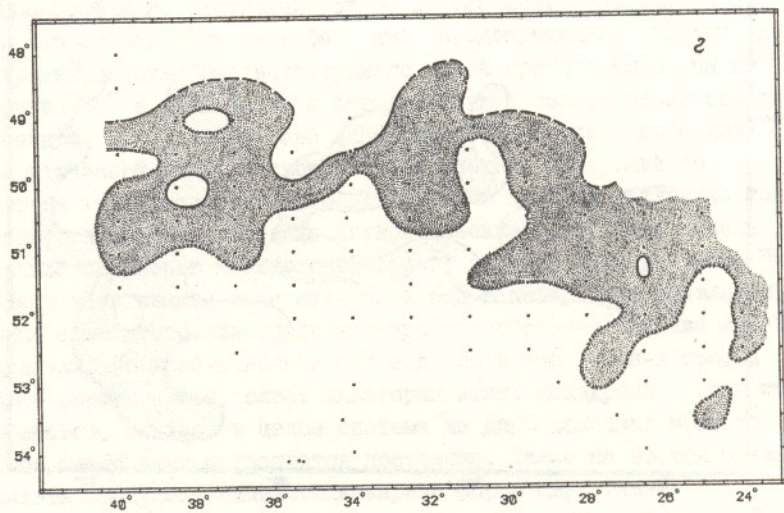
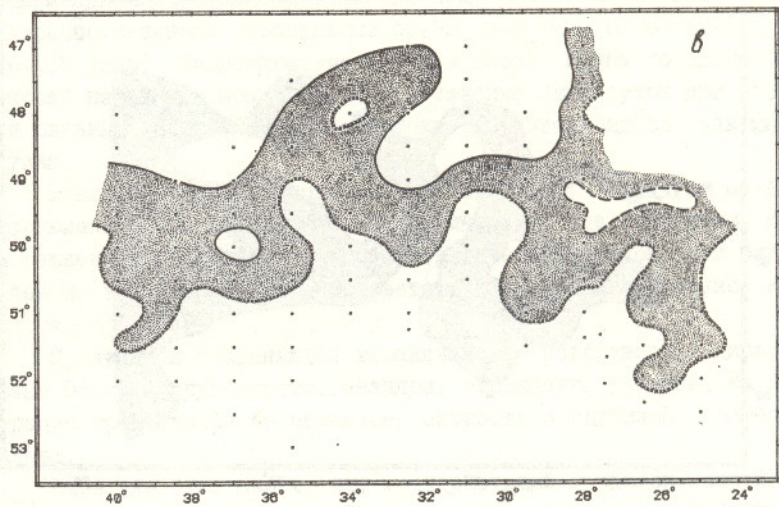


Рис. 8

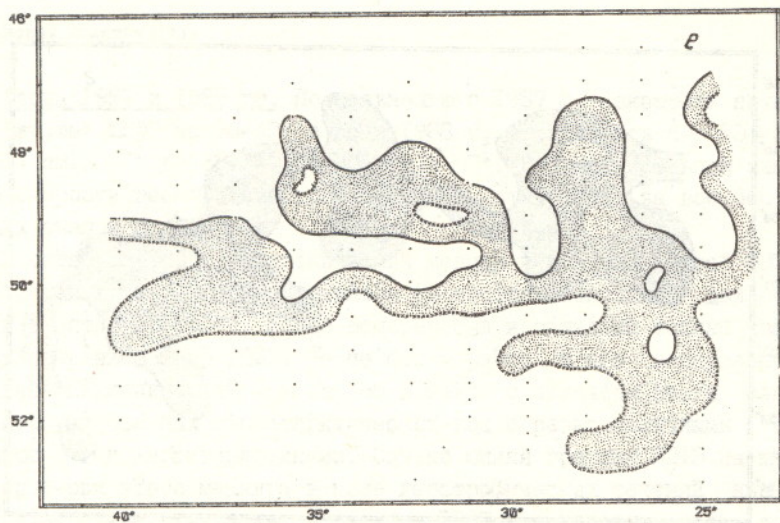
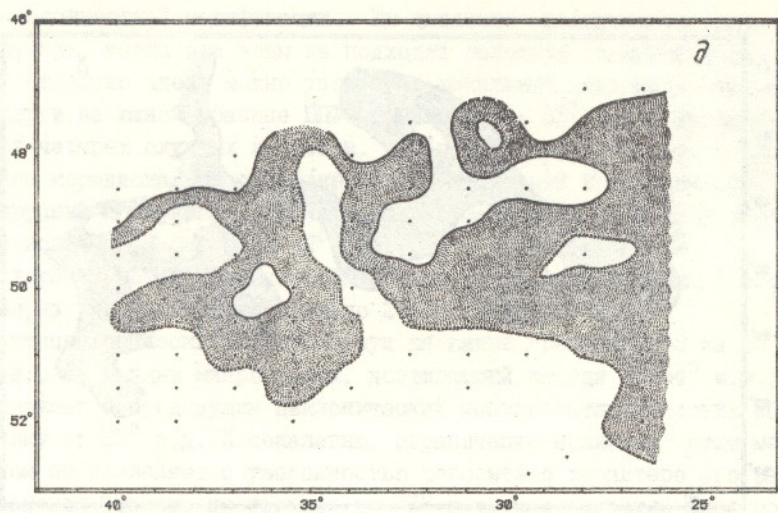


Рис.8. Положение и структура ЮЮЗ на полигоне. Обозначения на рис. I

ции. На остальных разрезах скорости в струе на южной границе ЮПФЗ колебались в пределах 10–19 (17–32) см.с⁻¹.

Осень – зима 1988 г. На 40° з.д. вновь сформировался "жгут" ЮПФЗ, но скорость возросла незначительно – с 23 (39) до 26 (44) см.с⁻¹. Ярко выраженный антициклонический круговорот в центральной части западного квазистационарного меандра разбился на два более мелких. Остаточный циклонический вихрь, заполненный трансформированными водами антарктического происхождения, около 49° ю.ш., 37° з.д. образовался, очевидно, в результате отделения вершинной части квазистационарного холодного меандра с юга, наблюдавшегося в апреле на 35–36° з.д. Вероятно, причиной отделения послужило отмеченное в июне развитие крупного антициклонического меандра с северо-востока, заполненного субантарктическими водами. В центральной части полигона скорости переноса упали и даже в "жгутах" ЮПФЗ не превышали 25–27 (43–46) см.с⁻¹.

В заключение для сравнительной оценки скоростей геострофического переноса в пределах полигона приведем данные других исследователей по смежным районам. Так, в проливе Дрейка при использовании отсчетной поверхности 2500 м для обеих границ фронтальной зоны были получены значения 30–45 см.с⁻¹ (Nowlin, Clifford, 1982). На разрезе по Гринвичскому меридиану (расчеты проводились относительно наибольшей общей глубины между парами станций, около 4000 м) были зафиксированы скорости 26 и 23 см.с⁻¹ соответственно для северной и южной границ ЮПФЗ (Whitworth, Nowlin, 1987). В то же время анализ данных дрейфующих в поверхностном слое буев показал, что для обеих границ фронтальной зоны по всему Южному океану характерны средние значения скорости переноса около 40 см.с⁻¹ (Hofmann, 1985).

Положение и структура ЮПФЗ

Естественно, в положении и структуре ЮПФЗ находят свое отражение все особенности пространственного распределения гидрологических параметров, достаточно подробно рассмотренные в предыдущих разделах. Поэтому остановимся кратко лишь на основных моментах. Согласно климатическим данным, ЮПФЗ к северу от о. Южная Георгия характеризуется квазизональным простираением вблизи 50-й параллели-

ли. Однако, как было показано выше, зональность генерального переноса здесь отнюдь не означает зонального распределения характеристик в мезомасштабе. Пространственная структура вод очень сложна.

Как видно из рис. 8, генеральное положение северной границы ЮПФЗ испытывает постепенное смещение к северу, от приблизительно 49° ю.ш. на западе до 47° ю.ш. и, возможно, севернее на востоке полигона. Генеральное положение южной границы, напротив, имеет тенденцию к смещению к югу, от приблизительно $49^{\circ}30'$ ю.ш. на западе до 53° ю.ш., а иногда и южнее, на востоке. Речь в данном случае идет именно о генеральном положении, поскольку границы ЮПФЗ подвержены интенсивному меандрированию. Таким образом, фронтальная зона охватывает большую акваторию, то расширяясь по меридиану до 300 миль и более на востоке, то сжимаясь в "жгут" до 30 миль и менее на западе полигона и в его центральной части. Поскольку скопления электроны Карлсберга переносятся, как правило, вдоль южной границы ЮПФЗ, именно ее пространственные колебания представляют наибольший интерес. Исходя из рис. 9, можно схематично выделить основные, квазистационарные ее элементы, неоднократно упоминавшиеся ранее (рис. 10): 1 - циклонический меандр на $38-40^{\circ}$ в.д.; 2 - западный теплый антициклонический меандр; 3 - смежный с ним

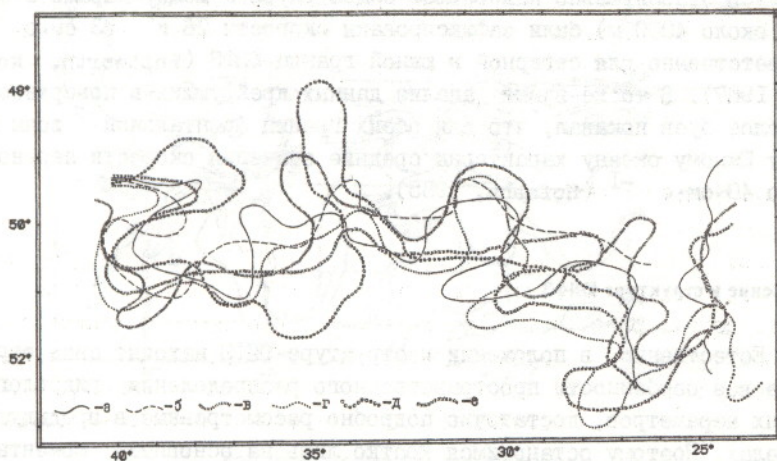


Рис. 9. Положение южной границы ЮПФЗ, по данным фоновых съемок. Обозначения на рис. 1

циклонический меандр (34-35° з.д.); 4 - южный подпор антарктических вод между 28 и 35° з.д.; 5 - циклонический меандр в пределах южного подпора (около 31° з.д.); 6 - антициклонический меандр (25-28° з.д.); 7 - смежный с предыдущим циклонический меандр к востоку от 25° з.д.

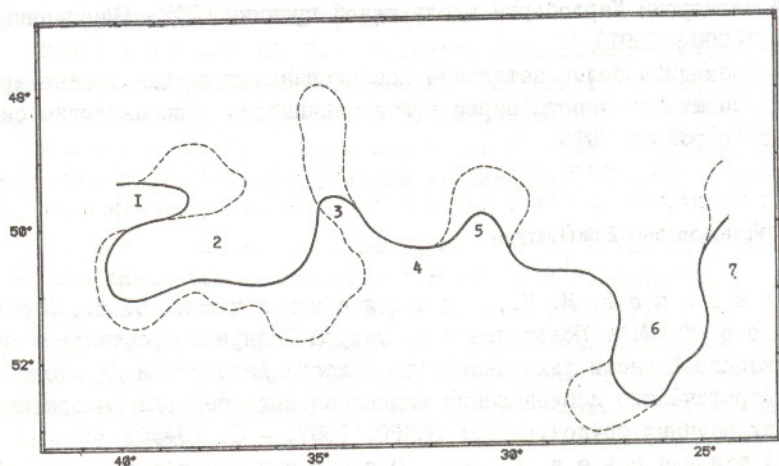


Рис. 10. Осредненная схема положения южной границы ЮФЗ на полигоне. Обозначения в тексте. Пунктиром показано максимальное наблюдавшееся развитие меандров

Заключение

Можно сформулировать некоторые аспекты проблемы изменчивости условий среды в районе ЮФЗ, требующие дальнейшего изучения:

относительно слабо исследована северо-восточная часть полигона, положение северной границы ЮФЗ было здесь выявлено лишь на трех съемках из шести;

целесообразны в будущем расширение полигона на восток и проведение комплексных работ на участке предполагаемого квазистационарного циклонического меандра южной границы ЮФЗ около 25° з.д. Есть все основания считать это динамическое образование благоприятным для аккумуляции скоплений электроны Карлсберга;

в специальной глубокой проработке нуждается вопрос взаимодействия ЮФЗ и ВФЗ. Это единственный во всем Южном океане район, где воды высокоширотной модификации вплотную подходят к ЮФЗ. Помимо чисто океанологического интереса, следует иметь в виду немалую роль высокоширотных вод в формировании и распределении скоплений электроны Карлсберга вдоль южной границы ЮФЗ (Масленников и др., 1990; 1991).

необходимы более детальные исследования пространственно-временных масштабов короткопериодной изменчивости океанологических условий в районе ЮФЗ.

Список использованной литературы

Антипов Н. Н., Масленников В. В., Пряников С. М. Положение и структура Полярной фронтальной зоны в западной части тихоокеанского сектора Антарктики // Биолого-океанографические исследования тихоокеанского сектора Антарктики: Сборник научных трудов. - М.: ВНИРО, 1987. - С. 19-32.

Афанасьев Б. В., Масленников В. В. Океанологические условия летом 1982 г. в южной части моря Скотия-северной части моря Уэдделла. - М.: ВНИРО, 1983. - 37 с.

Зарихин И. П. Краткая геоморфологическая характеристика района к северу от острова Южная Георгия // Биологические ресурсы: состояние, перспективы и проблемы их рационального использования. - Электрона Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Т. I: Сборник научных трудов. - М.: ВНИРО, 1990. - С. 13-23.

Масленников В. В., Хомутов Е. В. Использование спутниковой информации при исследовании структуры океанических фронтов в Юго-Западной Атлантике // Биологические ресурсы: состояние, перспективы и проблемы их рационального использования. - Электрона Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Т. I: Сборник научных трудов. - М.: ВНИРО, 1990. - С. 122-141.

Масленников В. В., Зозуля С. А., Полонский В. Е. Рекомендации по поиску скоплений электроны Карлсберга в пределах Южной Полярной фронтальной зоны (океанологическое обоснование). - М.: ВНИРО, 1990. - 31 с.

Масленников В. В., Зозуля С. А., Лонский В. Е. Роль океанологических факторов в распределении электроны Карлсберга // Биологические ресурсы: состояние, перспективы и проблемы их рационального использования. - Электроны Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Т. 2: Сборник научных трудов. - М.: ВНИРО, 1991.

Callahan J. E. Velocity structure and flux of the Antarctic Circumpolar Current south of Australia // J. Geophys. Res. - 1971. - Vol. 76, N 24. - P. 5859-5864.

Emery W. T. Antarctic Polar Frontal Zone from Australia to the Drake Passage // J. Phys. Oceanogr. - 1977. - Vol. 7, N 6. - P. 811-822.

Hoffmann E. E. The large - scale horizontal structure of the Antarctic Circumpolar Current from FGGE drifters // J. Geophys. Res. - 1985. - Vol. 90, N 4. - P. 7087-7097.

Hullely P. A. Results of the research cruises of FRV "Walther Herwig" to South America. L VIII. Family Myctophidae (Osteichthyes, Myctophiformes) // Arch. Fish. Wiss. - 1981. - Bd. 31, B. 1. - S. 1-300.

Maslennikov V. V., Zozulla S. A. Condiciones oceanologicas de la formacion y distribucion de las concentraciones de Myctophidae en la zona frontal polar sur // Resumenes de trabajos de investigation correspondientes al Quinto Simposio Cientifico de la Comision Tecnica Mixta del Frente Maritimo, 28 al 30 de noviembre, Mar del Plata. - Argentina, 1988. P. 23-24.

Nowlin W. D., Clifford M. The kinematic and thermohaline zonation of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage // J. Mar. Res. - 1982. - 40, Suppl. - P. 481-507.

Nowlin W. D., Whitworth T., Pillsbury R. D. Structure and transport of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage from short - term measurements // J. Phys. Oceanogr. - 1977. - Vol. 7. - P. 788-802.

Peterson R. G., Whitworth T. The Subantarctic and Polar Fronts in relation to deep water masses through the southwestern Atlantic // J. Geophys. Res. - 1989. - Vol. 94, N 8. - P. 10817-10838.

Н.В.Аржанова (ВНИРО)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В ЮЖНОЙ АТЛАНТИКЕ

Рассматриваемый район Атлантического океана простирается от 35° ю.ш. до берегов Антарктиды. На этой акватории по направлению с севера на юг располагаются субтропические, субантарктические и антарктические водные массы, разделенные Субтропической (СТФЗ) и Южной Полярной (ЮПФЗ) фронтальными зонами соответственно. Кроме этого, в пределах антарктической водной массы существует еще одна фронтальная зона, так называемая "вторичная" (ВФЗ), разграничивающая две разновидности антарктических вод - воды южной периферии Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и воды высокоширотной модификации уэдделловоморского происхождения.

Цель работы - рассмотреть основные закономерности пространственного распределения гидрохимических элементов на исследованной акватории и на этом фоне выделить характерные особенности условий во фронтальных зонах, которые в открытом океане, как правило, являются областями повышенной биопродуктивности и к которым приурочены скопления морских организмов, в том числе промысловых объектов.

В работе использованы результаты наблюдений о содержании в воде растворенного кислорода, фосфора, нитратного азота и кремния. Привлечены данные зарубежных исследователей, собранные и обобщенные в работе Гордона и Молинелли (Gordon, Molinelli, 1982), а также материалы отечественных экспедиций.

В целом характер распределения гидрохимических характеристик хорошо согласуется с динамикой вод и в большей степени обусловлен распределением водных масс. В поверхностном слое пространственное распределение всех анализируемых элементов подчинено общей закономерности - их концентрации увеличиваются с севера на юг.