

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.

Концентрация кислорода на поверхности изменяется в широких пределах — от 5,25 до 8,25 мл/л (рис. I), увеличиваясь от субтропических вод к антарктическим параллельно с уменьшением температуры. Характерной чертой распределения кислорода является наличие двух четко выраженных высокоградиентных зон. Одна из них, простирающаяся вдоль 40° ю.ш., соответствует СТФЗ. Другая, расположенная южнее, приурочена к ЮПФЗ. Концентрация кислорода в этих фронтальных зонах резко увеличивается с севера на юг — от 5,50–5,75 до 6,50–6,76 мл/л и от 6,75–7,00 до 7,50–7,75 мл/л соответственно, что обусловлено значительным перепадом температуры. Пределы изменения содержания кислорода подвержены временным колебаниям — сезонным и межгодовым и зависят как от температуры воды, так и от интенсивности фотосинтеза.

В антарктических водах южнее ЮПФЗ концентрация кислорода максимальна. Модификации антарктической водной массы по содержанию кислорода практически не различаются, и ВФЗ не прослеживается.

Подобные закономерности наблюдаются и в распределении нитратного азота. Наиболее бедны им субтропические воды, где концентрация нитратов не превышает 2,5 мкг-ат/л и составляет на большей части акватории менее 1 мкг-ат/л. Она резко возрастает в СТФЗ до 15 мкг-ат/л, очень мало меняется в пределах субантарктических вод и вновь увеличивается в ЮПФЗ с 17,5 до 20–22,5 мкг-ат/л. В антарктической водной массе содержание нитратов велико — более 29 мкг-ат/л (в отдельных районах до 30 мкг-ат/л и более). Распределение их в Антарктической области неоднородно, четкой закономерности не прослеживается. Может наблюдаться локальное понижение концентрации нитратного азота, иногда довольно значительное, связанное с потреблением его фитопланктоном. Однако оно редко снижается до величин менее 15 мкг-ат/л.

Содержание фосфора в поверхностном слое варьирует от 0,05 до 2,25 мкг-ат/л. В субтропических водах оно минимально — менее 0,50 мкг-ат/л. В области СТФЗ концентрация фосфора резко увеличивается по направлению к югу — до 1,0–1,25 мкг-ат/л. На большей части акватории, включающей субантарктические и антарктические воды, содержание фосфора превышает 1,5 мкг-ат/л. Распределение фосфора здесь мозаично и обусловлено главным образом интенсивностью продукционных процессов, сглаживающих разницу между субантарктической и антарктической водными массами, и ЮПФЗ летом прак-

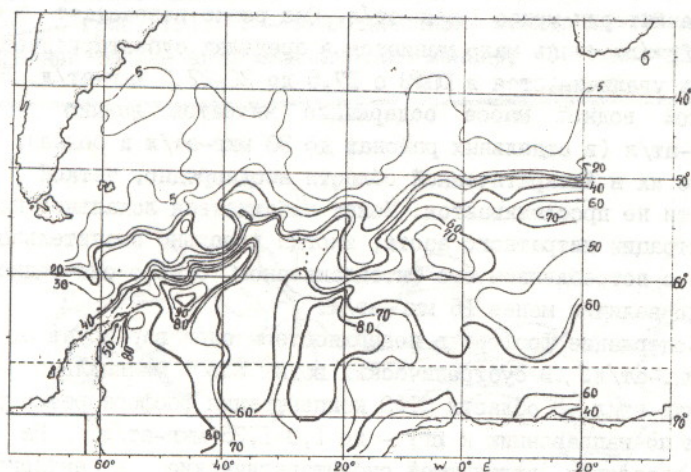
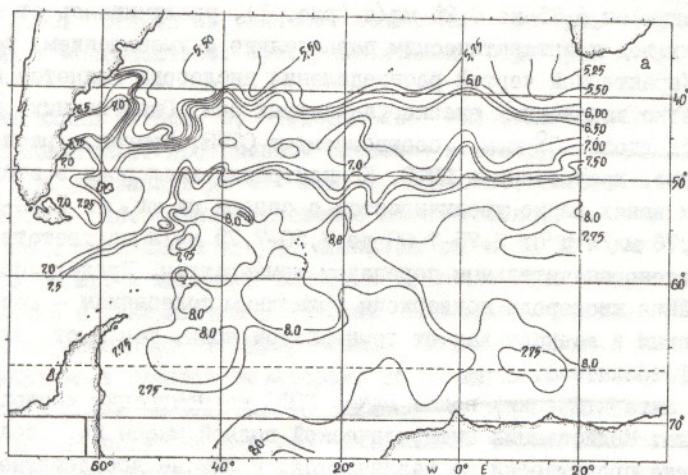
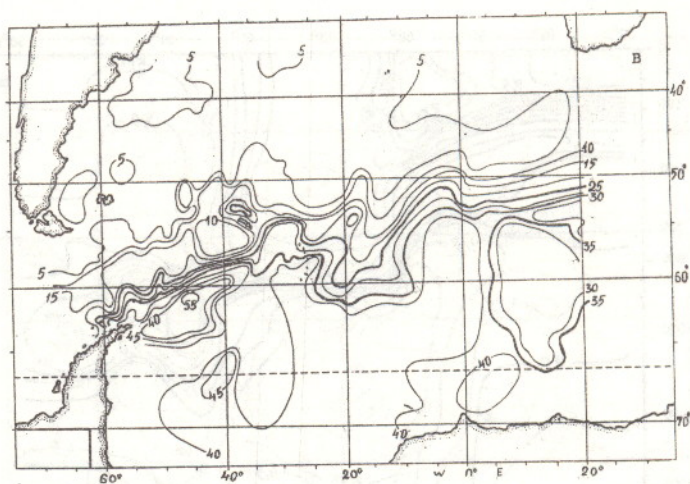


Рис. 1. Распределение на поверхности:

а - кислорода, мл/л; б - кремния, мг-ат/л; в - величины Si/P летом Южного полушария



тически не прослеживается. По-видимому, зимой при отсутствии активного фотосинтеза перепад концентраций фосфора в ЮФЗ должен быть выражен достаточно хорошо. В пределах антарктических вод содержание фосфора одного порядка и ВФЗ также не прослеживается.

Содержание кремния на поверхности изменяется в очень широких пределах — от величин, не превышающих 1 мкг-ат/л, до 80 — 100 мкг-ат/л (см. рис. 1,б). Субтропические и субантарктические воды мало различаются по содержанию кремния, хотя и прослеживается тенденция к увеличению его с севера на юг: в субтропических водах оно не превышает 5 мкг-ат/л, в субантарктических — составляет 2,5—10 мкг-ат/л. Более заметное увеличение кремния наблюдается на границе субантарктических вод с антарктическими. В области ЮФЗ концентрация кремния возрастает от 5—10 до 20—30 мкг-ат/л. Существенно различаются по содержанию кремния в поверхностном слое разновидности антарктической водной массы. В водах АЦТ концентрация кремния 20—40 мкг-ат/л, в водах высокоширотной модификации уэдделловоморского происхождения она максимальна и составляет на большей части даже в период вегетации фитопланктона 60 — 80 мкг-ат/л. Следует отметить, что высокое содержание кремния является отличительной чертой вод высокоширотной модификации. Разграничивающая эти воды ВФЗ характеризуется максимальным горизонтальным градиентом кремния. Особенно он обострен в море Скотия,

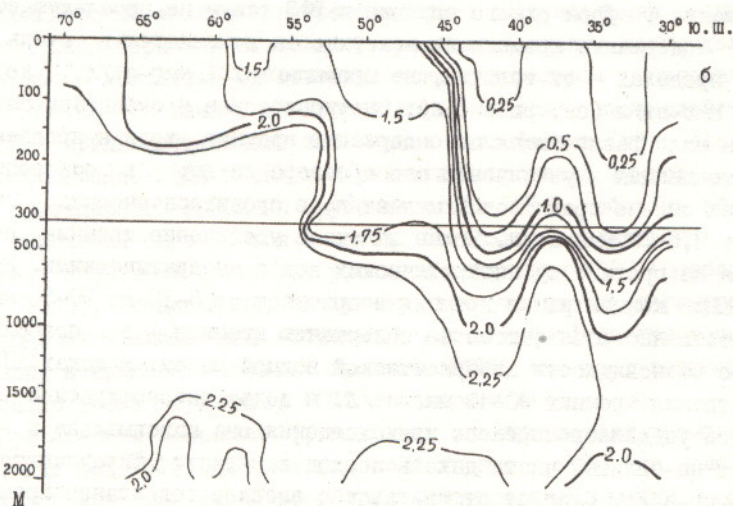
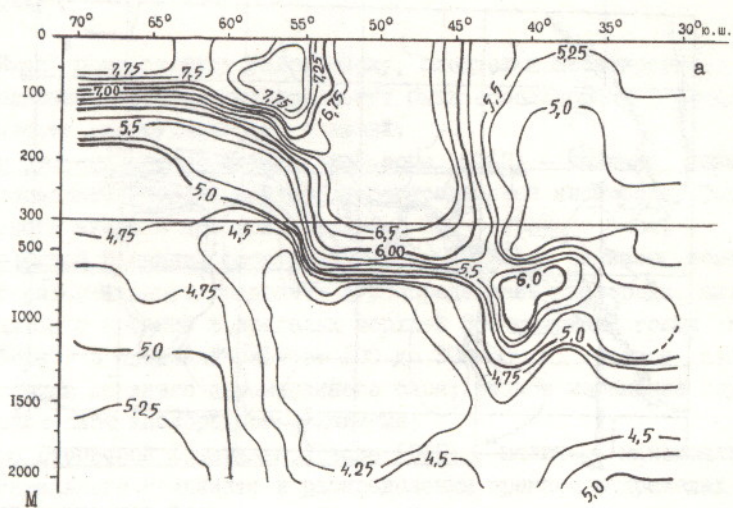


Рис. 2

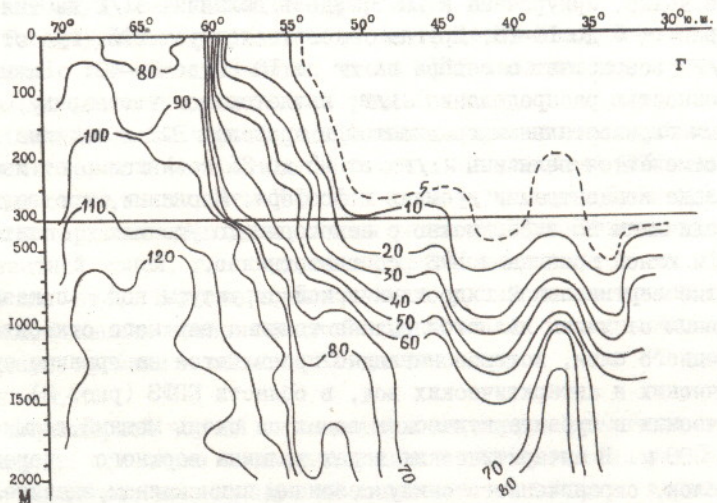
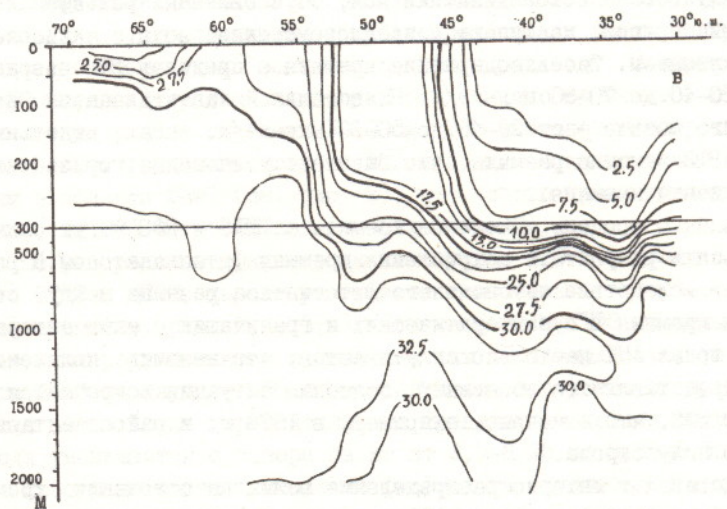


Рис. 2. Распределение на меридиональном разрезе 49°30' з.д. летом Южного полушария:

а - кислорода, мл/л; б - фосфора, мкг-ат/л; в - нитратного азота, мкг-ат/л; г - кремния, мкг-ат/л

куда в силу особенностей динамики вод, обусловленных рельефом дна, орографией берегов, поступают уэдделловоморские воды, наиболее богатые кремнием. Здесь содержание кремния в пределах ВФЗ возрастает от 20-40 до 70-90 мкг-ат/л. На остальной части диапазон изменения его меньше - от 20-40 до 50-60 мкг-ат/л. На отдельных участках ВФЗ заметно размыва, что вызывает уменьшение горизонтального градиента кремния.

Указанные пределы изменения кремния в ЮПФЗ и ВФЗ могут сильно меняться в результате потребления кремния фитопланктоном. В ряде случаев вследствие интенсивного фотосинтеза разница между содержанием кремния в субантарктических и граничащих с ними антарктических водах АЦТ настолько сглаживается, что выявить положение ЮПФЗ не представляется возможным. Подобная ситуация встречается и в области ВФЗ, что отмечено, например, в 1976 г. в районе Антарктического полуострова.

Представляет интерес распределение величины отношения кремния и фосфора (Si/P) в поверхностном слое. Подобно кремнию, она возрастает с севера на юг (см. рис. 1, в). Как и для кремния, отмечается наличие двух высокоградиентных зон. Одна из них, выраженная менее четко, приурочена к ЮПФЗ; здесь величина Si/P изменяется примерно от 5 до 10-15. Другая - соответствует ВФЗ, где отношение Si/P возрастает с севера на юг от 10-20 до 35-40. Важнейшей особенностью распределения Si/P является то, что наряду с повышенным горизонтальным градиентом в пределах ВФЗ в течение всего года отмечаются величины Si/P от 25 до 35 независимо от изменения в воде концентрации кремния и фосфора. Изолинии, соответствующие величинам 25 и 35, можно с некоторым допущением считать северной и южной границами ВФЗ соответственно.

Анализ вертикальной гидрохимической структуры вод показал, что основным отличием является разная толщина верхнего относительно гомогенного слоя, которое наглядно проявляется на границе субантарктических и антарктических вод, в области ЮПФЗ (рис. 2). В субтропических и субантарктических водах он очень мощный, толщиной не менее 200 м. В антарктических водах толщина верхнего перемешанного слоя, ограниченного снизу сезонным пикноклином, значительно меньше и составляет 50-75 м. По этому признаку по всем гидрохимическим показателям четко выявляется ЮПФЗ. Например, на $49^{\circ}30'$ з.д. она расположена в районе 55° в.ш. (см. рис. 2).

Вследствие отмеченного различия вертикальной структуры в то время как в субтропических и субантарктических водах гидрохимические характеристики остаются одного порядка от поверхности до 200–300 м, в антарктических водах они заметно отличаются от поверхностных уже на глубине 75–100 м. Это вызывает обострение горизонтальных градиентов глубже 100 м практически по всем показателям в области ЮФЗ (см. рис. 2), что хорошо прослеживается, например, на 200-метровой поверхности (рис. 3).

По распределению кислорода на глубине 200 м выделяются области СТФЗ и ЮФЗ, характеризующиеся повышенным горизонтальным градиентом (см. рис. 2,а, 3,а). Однако если в СТФЗ пределы изменения кислорода остаются такими же, как на поверхности, то в области ЮФЗ на глубине 200 м в отличие от поверхности происходит резкая смена знака горизонтального градиента – концентрация кислорода уменьшается с севера на юг от 6,5–6,25 до 5,75–5,00 мл/л.

Пространственное изменение фосфора на глубине 200 м характеризуется тем, что здесь наряду с СТФЗ достаточно четко прослеживается и область ЮФЗ, в пределах которой концентрация фосфора возрастает с 1,5–2,0 мкг-ат/л на северной границе до 2,0 – 2,25 мкг-ат/л – на южной (см. рис. 2,б, 3,б).

Распределение нитратного азота остается аналогичным поверхностному с той лишь разницей, что в ЮФЗ наблюдается обострение горизонтального градиента (см. рис. 2,в).

Отличительной чертой распределения кремния на глубине 200 м является то, что (в противоположность поверхности) ЮФЗ выражена гораздо более четко, чем ВФЗ (см. рис. 2,г, 3,в). Субантарктическая и антарктическая водные массы резко разграничиваются высокоградиентной зоной, где содержание кремния изменяется от 10–20 до 60–80 мкг-ат/л. В то же время разница в содержании кремния в разных модификациях антарктической водной массы сглаживается, концентрация кремния в области ВФЗ увеличивается от 70 до 80 – 90 мкг-ат/л.

Характерной чертой вертикальной структуры различных типов вод служит положение слоя кислородного минимума (см. рис. 2,а), которое варьирует на исследуемой акватории от 400 м в антарктических водах до 1600 м и более в субантарктических и субтропических водах (рис. 4). Область наиболее резкого увеличения глубины залегания кислородного минимума – от 600–800 до 1200–1400 м – приурочена к ЮФЗ и хорошо отражает ее положение.

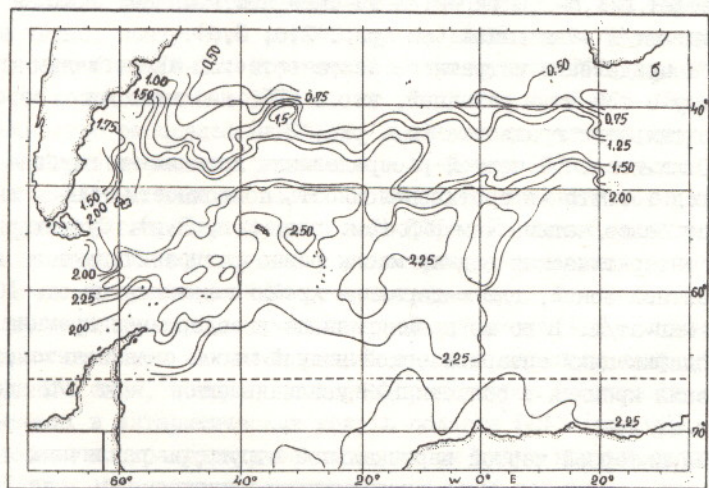
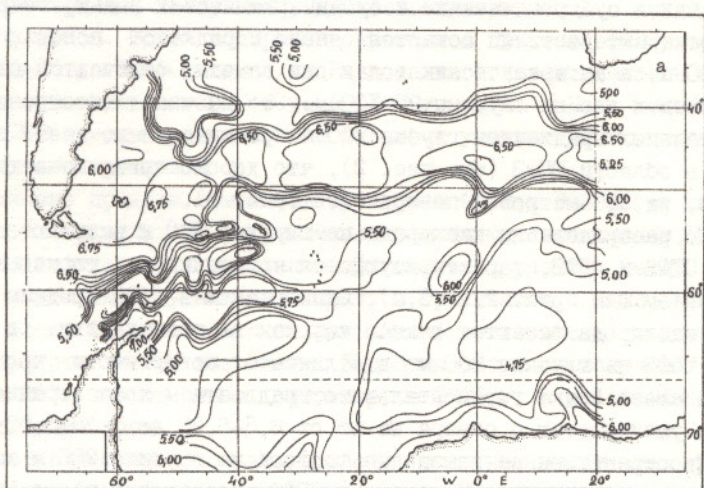


Рис. 3. Распределение на глубине 200 м:
 а - кислорода, мл/л; б - фосфора, мкг-ат/л; в - кремния, мкг-ат/л

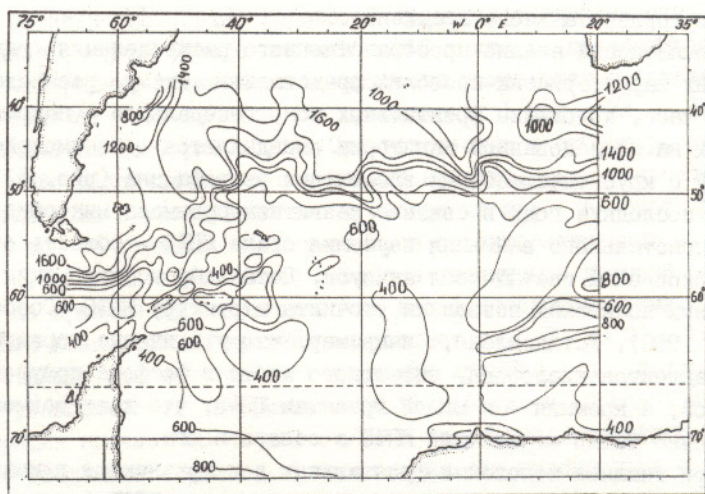
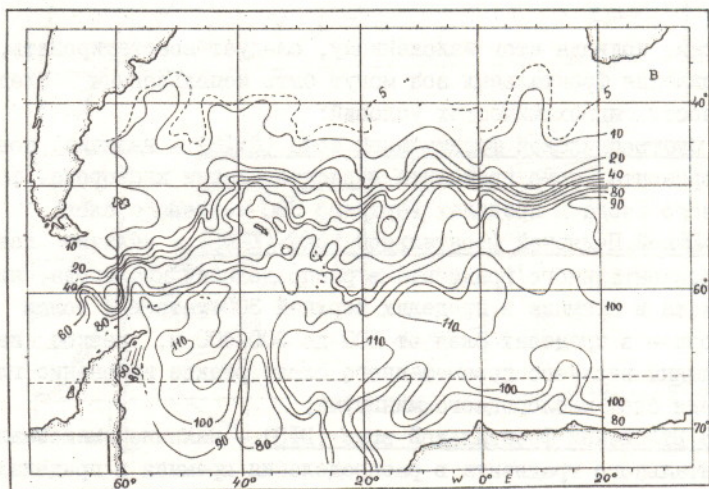


Рис. 4. Топография слоя кислородного минимума, м

Итак, подводя итог изложенному, следует констатировать, что для выявления фронтальных зон могут быть использованы следующие особенности гидрохимических условий:

в Субтропической фронтальной зоне (СТФЗ) – наличие повышенного горизонтального градиента в распределении кислорода, фосфора, нитратного азота в пределах верхнего 300-метрового слоя;

в Южной Полярной фронтальной зоне (ЮПФЗ) – наличие повышенного горизонтального градиента в распределении кислорода, нитратного азота и кремния в пределах верхней 300-метровой толщи воды, а фосфора – в пределах слоя от 100 до 300–400 м; резкое изменение толщины верхнего перемешанного слоя; резкое изменение глубины залегания слоя кислородного минимума;

во Вторичной фронтальной зоне (ВФЗ) – наличие максимального горизонтального градиента в распределении кремния в пределах верхнего 300-метрового слоя; Si/P от поверхности до сезонного пикноклина находятся постоянно в интервале от 25 до 35 на фоне повышенного горизонтального градиента.

Комплексный анализ пространственного распределения гидрохимических характеристик позволил представить схему распределения водных масс, положение фронтальных зон, генеральное направление которых на исследованной акватории определяется взаимодействием течений с крупномасштабными элементами рельефа дна (рис. 5).

В последние годы в связи с развитием промысла миктофид объектом пристального внимания изучения стала ЮПФЗ – область образования скоплений светящегося анчоуса. Детальные исследования на отдельных полигонах позволили уточнить структуру ЮПФЗ (Особенности..., 1990). Установлено, например, что увеличение горизонтальных градиентов кислорода, нитратного азота и фосфора приурочено к северной, а кремния – к южной границам ЮПФЗ, что дает возможность достаточно четко ограничить ЮПФЗ с севера и юга.

При анализе положения фронтальных зон привлекают внимание области, где воды ВФЗ наиболее близко подходят к ЮПФЗ (см. рис. 5). В этих случаях воды южной периферии АЦТ внедряются между фронтальными зонами узкой полосой, ширина которой меняется в зависимости от интенсивности адвекции вод высокоширотной модификации к северу. При усилении ее ВФЗ в поверхностном слое максимально

приближается к Полярному фронту, почти сливаясь с ним, что благоприятно сказывается на биопродуктивности района. Во-первых, обостряется динамическая ситуация, сопровождающаяся возникновением вихрей и круговоротов, способствующих образованию скоплений.

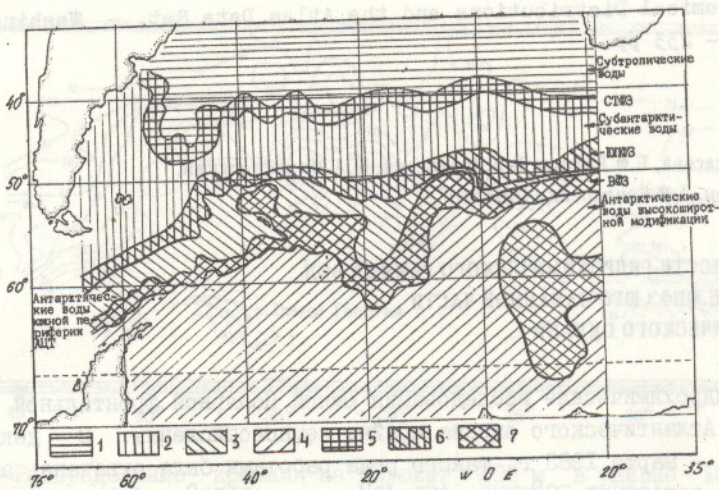


Рис. 5. Распределение водных масс, положение фронтальных зон: 1 - субтропические воды; 2 - субантарктические воды; 3 - воды южной периферии АЦТ; 4 - воды высокоширотной модификации уединенноморского происхождения; 5 - СТФЗ; 6 - ЮФЗ; 7 - ВФЗ

Во-вторых, поступление к южной границе ЮФЗ богатых биогенными элементами вод ВФЗ, а также эпизодически прорывающихся в такой ситуации вод высокоширотной модификации обеспечивают здесь более благоприятные условия для активного продуцирования фитопланктона и как следствие - для создания мощной кормовой базы миктофид. Это важнейший фактор, если учесть, что скопления анчоуса, обнаруживаемые в ЮФЗ, носят нагульный характер.

Список использованной литературы

Особенности гидрохимического режима вод в районе ЮФЗ юго-западной части Атлантического океана / Н.В. Мордасова, Е.В. Дафнер, В.Л. Зубаревич, Ю.А. Михайловский, П.Ю. Селин, А.И. Бон-

даренко // Биологические ресурсы: состояние, перспективы и проблемы их рационального использования. - Электрон Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Т. I: Сборник научных трудов. - М.: ВНИРО, 1990. - С. 90-109.

Gordon A. L., Molineelli E. F. Thermohaline and Chemical Distributions and the Atlas Data Set. - Washington, 1982. - 233 pp.

Н.В.Мордасова, Е.Ф.Дафнер, В.Л.Зубаревич, Ю.А.Михайловский,
П.Ю.Селин, А.И.Бондаренко (ВНИРО)

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОД В РАЙОНЕ ЮФЗ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Гидрохимические исследования Южной Полярной фронтальной зоны (ЮФЗ) Атлантического океана крайне немногочисленны. В декабре 1982 г. - марте 1983 г. такого рода работами была охвачена акватория к западу от 38° з.д. (38-48° з.д.; 48-54° ю.ш.), однако из гидрохимических параметров они включали только растворенный кислород, минеральный фосфор и кремний (Корт, 1986). Кроме того, несколько съемок отдельных участков ЮФЗ в летний сезон было выполнено экспедициями ПИНО (рис. I).

В 1987-1989 гг. в XII-XV рейсах РТМС "Возрождение" ВНИРО был выполнен целый ряд съемок, охвативших практически все сезоны, на акватории между 25-40° з.д., 47-52° ю.ш. с целью изучения абиотических факторов среды обитания живых организмов, химической основы первичного биопродуцирования, выявления положения ЮФЗ по гидрохимическим показателям и ее роли в формировании продуктивности вод. Широкий комплекс определений включал в себя как вышеупомянутые параметры, такие как кислород, фосфаты, кремний, так и различные формы азота: нитриты, нитраты, аммонийный азот, мочевины, а также органические формы азота и фосфора.

Кроме того, с помощью погружаемого флуориметра "Акватрака", входящего в состав зондирующего океанологического комплекса, фиксировали вертикальное распределение хлорофилла "а" до глубины 90