

УДК 551.464.38 (261.5)

## Гидрохимическая структура вод в районах промысла антарктического криля *Euphausia superba Dana*\*

Н. В. Аржанова, К. В. Артамонова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО», г. Москва)  
e-mail: biochem@vniro.ru

Рассмотрен характер гидрохимических условий в районах скоплений важнейшего объекта промысла в Антарктике — криля *Euphausia superba Dana*, запас которого в водах Южного океана исчисляется сотнями миллионов тонн и который является основой пищевого рациона многочисленных консументов — птиц, рыб, тюленей, усатых китов и т.д. Установлены гидрохимические параметры, позволяющие дифференцировать модификации основных водных масс Антарктики (вод, связанных с системой Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и вод высокоширотной модификации, связанных с водами приматериковых морей) и выделить зону их взаимодействия — Вторичную фронтальную зону (ВФЗ), к которой в основном и приурочены плотные скопления *Euphausia superba Dana*.

**Ключевые слова:** гидрохимия, скопления криля, фронтальная зона, кислород, кремний, вихревые образования, модификация водных масс.

### ВВЕДЕНИЕ

Одна из важнейших задач гидрохимии при рыбохозяйственных исследованиях — выявление таких гидрохимических показателей, которые могут быть использованы в качестве ориентиров при поиске районов повышенной концентрации промысловых объектов. Для этого может быть использовано большинство «традиционных» гидрохимических параметров, определяемых в период экспедиционных исследований. Они не связаны непосредственно с живыми организмами, но анализ особенностей их пространственного распределения позволяет выявить районы, где существуют наиболее благоприятные условия для формиро-

вания промысловых скоплений. Их использование способствует локализации районов поиска скоплений, что особенно актуально в период промысловых работ. В зависимости от района в качестве наиболее показательной может служить любая гидрохимическая характеристика, выявление которой связано с изучением химических свойств вод, их гидрохимической структуры, закономерностей пространственного распределения анализируемых параметров.

Основная цель настоящей работы — установить особенности гидрохимических условий в местах скоплений важнейшего объекта промысла в Антарктике — антарктического криля *Euphausia superba Dana*, запас которого

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-31148.

в водах Южного океана исчисляется сотнями миллионов тонн и который является основой пищевого рациона многочисленных консументов — птиц, рыб, тюленей, усатых китов и т.д.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящая работа посвящена результатам многолетних исследований в Антарктике, где в 60-х гг. прошлого столетия после более чем 20-летнего перерыва, был начат очередной этап работ. Ведущая роль в этих исследованиях принадлежала учёным ВНИРО. На научно-промысловом судне «Академик Книпович» в течение 30 лет практически ежегодно проводились экспедиционные работы преимущественно в море Скотия и прилегающих областях. Они включали широкий комплекс исследований — океанологических, гидрохимических, гидробиологических, ихтиологических, что позволило установить определённые связи между условиями внешней среды и биопродуктивностью вод. В работе использованы гидрохимические данные, полученные в результате этих исследований, охвативших период 1965–1990 гг. Кроме того, привлечены данные НИС «Профессор Визе» и НИС «Профессор Зубов» (для тихоокеанского сектора Антарктики), а также материалы массива данных 2005 г. WORLD OCEAN ATLAS (море Скотия, море Уэдделла).

Использованные материалы содержат данные по температуре, солёности, концентрации растворённого кислорода, содержанию

биогенных элементов — минерального азота, фосфора, кремния. В процессе работы использовались общепринятые аналитические методики [Руководство по химическому анализу..., 2003]. Графическая обработка материалов выполнялась на компьютере с использованием программ Excel, Surfer, Grapher.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Антарктический криль *Euphausia superba Dana* является пассивным планктонным организмом, не способным к самостоятельному активному перемещению на значительные расстояния. Таким образом, очевидно, что характер распределения криля и образование его скоплений должно быть тесно связано с динамикой вод, с наличием в поле течений достаточно устойчивых завихрений и круговоротов. Оптимальные условия для их возникновения существуют в зонах фронтальных разделов вследствие гидродинамического воздействия различных водных масс на фоне сложного рельефа дна.

По горизонтали в Антарктике выделяются две модификации антарктических вод — воды, связанные с системой Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), и воды высокоширотной модификации, связанные с водами приматериковых морей. По вертикали в пределах 1200 м водные массы делятся на Антарктическую поверхностную (АПВ) в слое от 0 до 150–300 м и располагающейся под ней Циркумполярную глубинную (ЦГВ) (рис. 1). В зоне взаимодействия вод различных

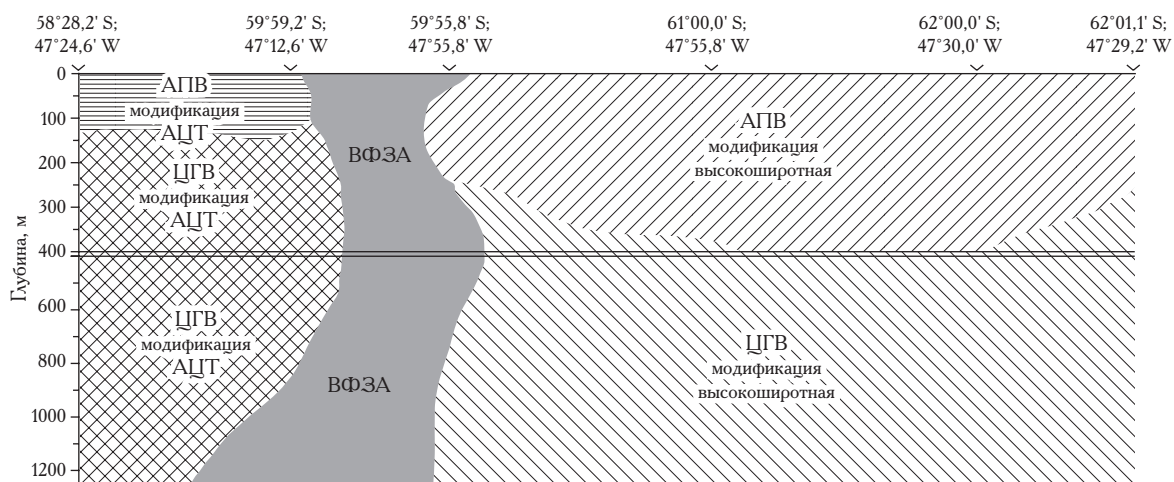
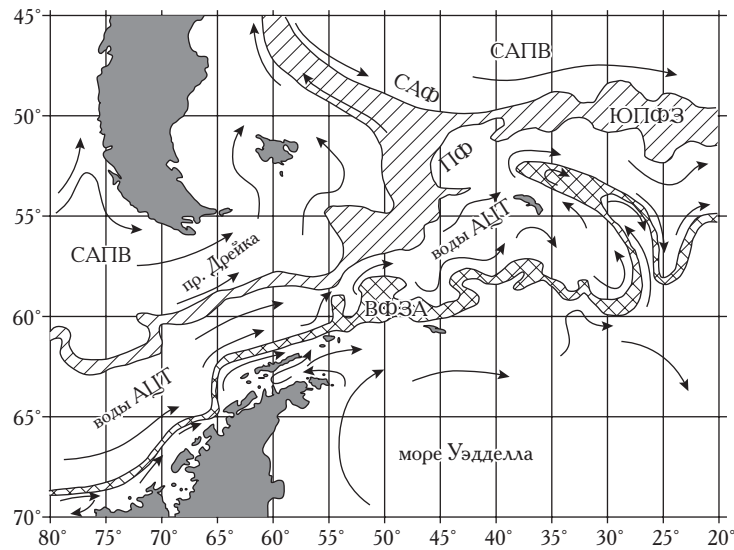


Рис. 1. Вертикальная структура водных масс в Антарктике



**Рис. 2.** Пространственная структура вод в районе моря Скотия.

Обозначения: САПВ — Субантарктическая поверхностная водная масса; САФ — Субантарктический фронт; ЮПФЗ — Южная Полярная фронтальная зона; ПФ — Полярный фронт; АЦТ — Антарктическое циркумполярное течение; ВФЗА — Вторичная фронтальная зона Антарктики. Стрелками показана схема поверхностных течений [Масленников, 2003]

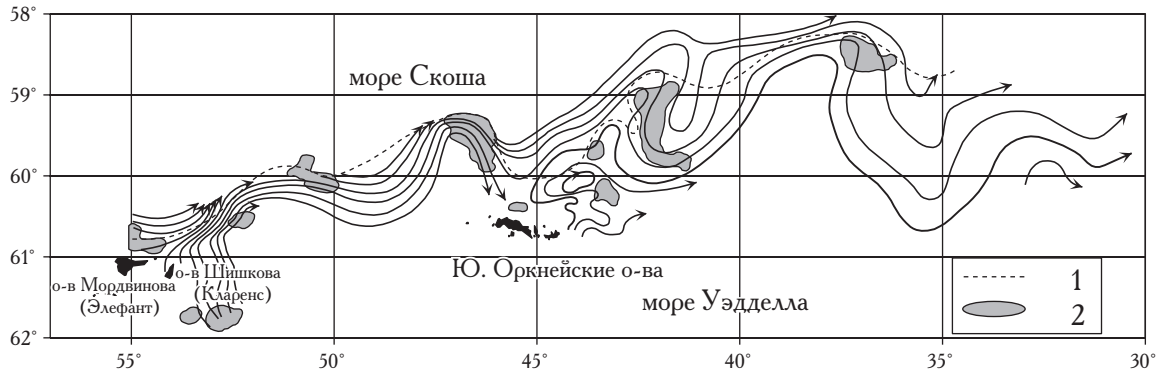
модификаций формируется фронтальная зона, так называемая «Вторичная фронтальная зона Антарктики» (ВФЗА) [Богданов и др., 1969; Масленников, Попков, 1988; Масленников, 1995], заполненная смешанными водами, включающими определённые доли вод обеих модификаций. В море Скотия это воды Антарктического циркумполярного течения, занимающие его северную часть, и высокоширотные воды моря Уэдделла, располагающиеся в его южной части; в Тихоокеанском секторе — это воды АЦТ и воды моря Беллинсгаузена. Антарктические воды высокоширотной модификации располагаются между ВФЗА и материком (Антарктидой), а воды АЦТ — к северу от ВФЗА до Южного полярного фронта (ЮПФЗ) (рис. 2).

Биотоп антарктического криля *Euphausia superba Dana*, основа его ареала — область высокоширотной модификации антарктических вод [Макаров, 1972; Воронина, 1975; Масленников, 1980, 1995; Маг, 1962], северная граница его распространения соответствует положению Вторичной фронтальной зоны. В отдельных случаях криль может эпизодически встречаться и за пределами ВФЗА, однако его скопления здесь, как правило, случайны и весьма неустойчивы.

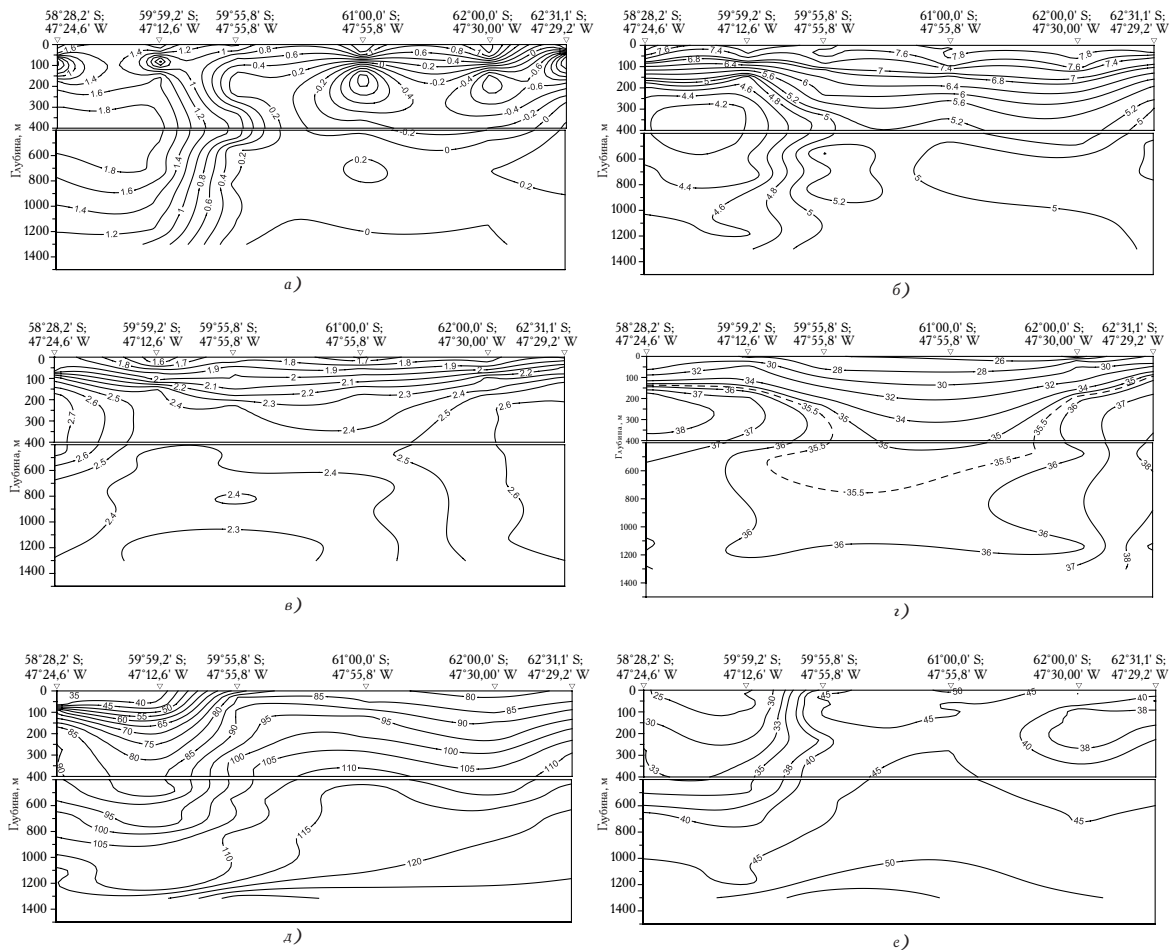
Дрейф криля из основного его биотопа осуществляется на север с западными ветвями приматериковых циклонов [Масленников, 1995]. В данном случае *Euphausia superba Dana* в область Вторичной фронтальной зоны приносится с потоком вод моря Уэдделла.

Здесь криль задерживается в разного рода возмущениях в поле течений в виде мезомасштабных вихревых образований, круговоротов, меандров, которым принадлежит важнейшая роль в формировании его скоплений. Как показали многолетние экспедиционные исследования ВНИРО, плотные скопления антарктического криля *Euphausia superba Dana* приурочены к мезомасштабным меандрам ВФЗА [Масленников, 1976; Макаров и др., 1980; Богданов и др., 1986] (рис. 3). По большей части они тяготеют к южной периферии зоны смешения и совпадают с меандрами и завихрениями циклонической направленности.

Таким образом, вторичная фронтальная зона является основной областью формирования плотных промысловых скоплений криля. Поэтому наша задача заключается в выявлении гидрохимических параметров, которые наиболее чётко характеризуют различные типы вод и могут быть использованы для оперативного и чёткого определения положения



**Рис. 3.** Геострофические течения на поверхности в южной части моря Скотия, положение ВФЗА и распределение обловленных скопления криля [Макаров и др., 1980].  
Обозначения: 1 — ВФЗА; 2 — скопления криля



**Рис. 4.** Распределение температуры и биогенных элементов в море Скотия на разрезе, секущем разные модификации антарктических вод;  
а — температура  $T$  °С; б — кислород, мл/л; в — фосфор,  $\mu\text{M}$ ; г — азот нитратный,  $\mu\text{M}$ ; д — кремний,  $\mu\text{M}$ ;  
е — величина  $\text{Si/P}$

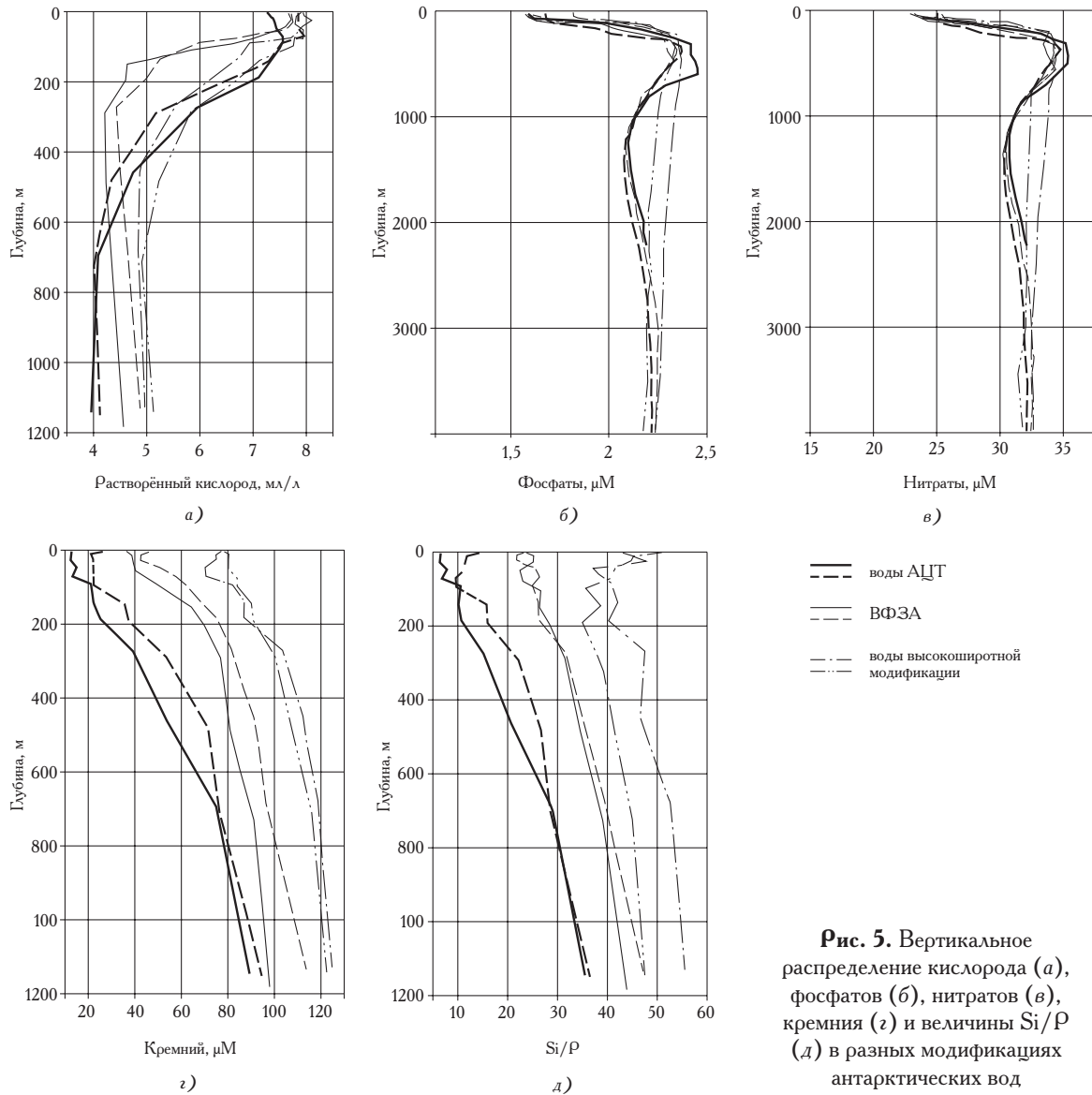
ВФЗА, её конфигурации, для обнаружения в её пределах разного рода вихрей и меандров.

Характерной чертой вертикальной гидрохимической структуры повсеместно в Антарктике является постепенное изменение содержания кислорода и биогенных элементов в пределах Антарктической поверхностной воды от поверхности к её нижней границе и наличие экстремумов в Циркумполярной глубинной водной массе (рис. 4).

Наибольшее содержание кислорода наблюдается в Антарктической поверхностной водной массе. Оно достаточно резко уменьшается от поверхности к нижней границе

АПВ. В Циркумполярной глубинной водной массе пределы изменения величин менее существенны. И в водах АЦТ, и в водах высокоширотной модификации в ЦГВ отмечено существование минимума кислорода. Зачастую слой глубинного минимума кислорода соответствует, как в данном случае, сформированному здесь слою глубинного максимума температуры.

Распределение нитратов и фосфатов подчинено тем же закономерностям, что и распределение кислорода. Характерно наименьшее содержание их в поверхностном слое, заметное увеличение в пределах АПВ и наличие глубин-



**Рис. 5.** Вертикальное распределение кислорода (а), фосфатов (б), нитратов (в), кремния (г) и величины Si/P (д) в разных модификациях антарктических вод

ных максимумов в ЦГВ, совпадающих по своему положению со слоем кислородного минимума [Батрак, 2008].

Содержание кремния постепенно растёт с увеличением глубины, особенно значительно в пределах АПВ. В отличие от кислорода, нитратов и фосфатов, какие-либо экстремумы содержания кремния в ЦГВ отсутствуют. В поверхностном слое на стыке вод АЦТ и высокоширотной модификации существует большой горизонтальный градиент (на разрезе — между  $47^{\circ}12,6' W$  и  $47^{\circ}55,8' W$ ). Аналогично кремнию изменяется и величина отношения кремния и фосфора  $Si/P$ .

Очень чётко отличия гидрохимических особенностей в различных модификациях антарктических вод выявляются при анализе их вертикального распределения в толще воды (рис. 5).

Следует констатировать, что содержание азота и фосфора, как и характер их вертикального распределения, в слое от поверхности до 600–700 м аналогичны для разных модификаций антарктических вод.

Концентрация кислорода в верхнем 100–150-метровом слое также одного порядка в водах АЦТ и высокоширотной модификации. В слое примерно от 150 до 300–400 м резко выделяются более низкой концентрацией кислорода воды ВФЗА, в то время как в водах АЦТ и высокоширотной модификации содержание кислорода находится на одном уровне. И лишь глубже 600 м прослеживается разница в содержании кислорода в водах АЦТ и высокоширотной модификации, а воды фронтальной зоны в этом слое занимают промежуточное положение. Отмечается также различие концентрации кислорода в слое его минимума и глубине его залегания в водах разной модификации. Обращает на себя внимание резкий подъём к поверхности слоя глубинного минимума кислорода в водах ВФЗА.

Содержание кремния и величина отношения кремния и фосфора  $Si/P$  существенно отличаются в водах разной модификации во всей толще воды от поверхности до больших глубин, особенно явно в верхнем ~100-метровом слое воды.

Проведённый анализ позволил установить, что для дифференциации существующих мо-

дификаций антарктических вод и обнаружения зоны фронтального раздела наиболее надёжными показателями являются главным образом концентрация кислорода, содержание кремния и величина отношения  $Si/P$ .

**Кислород.** Содержание кислорода в антарктических водах весьма высоко, оно изменяется в среднем от ~8 мл/л в верхнем слое до ~4 мл/л — в глубине. Вся толща воды хорошо аэрирована. Самая малая концентрация кислорода характеризует слой его глубинного минимума в пределах ЦГВ. Разная степень трансформации Циркумполярных глубинных вод, поступающих на север моря Скотия и в его южную часть, обусловила и различную концентрацию кислорода в слое его глубинного промежуточного минимума в разных модификациях антарктических вод. Как известно, основным источником ЦГВ служит Северо-Атлантическая глубинная вода, обладающая собственными свойствами (более высокой температурой воды, а также наличием глубинных гидрохимических экстремумов — относительно низкой концентрацией кислорода и повышенным содержанием нитратов и фосфатов). Формируясь в низких широтах северного полушария, она распространяется на юг, трансформируясь по мере пересечения различных широт. При достижении высоких широт воды ЦГВ, всё больше охлаждаясь и насыщаясь кислородом, подвергаются ещё большей трансформации, которая продолжается и в море Уэдделла. Относительно изолированное в силу его географического положения, конфигурации берегов, рельефа дна, море Уэдделла имеет самостоятельную циркуляционную систему циклонического характера. Вследствие этого здесь формируются «чистые» воды высокоширотной модификации, холодные и богатые кислородом, заполняющие всё море и распространяющиеся в круговороте Уэдделла далеко на север. В таком, наиболее сильно трансформированном виде ЦГВ поступают в южную часть моря Скотия. Северная часть моря заполняется Циркумполярными глубинными водами из тихоокеанского сектора, поступающими через пролив Дрейка. Связанные с системой АЦТ и продвигаясь в пределах одной широтной зоны, ЦГВ не подвергаются заметной

трансформации. В результате в слое глубинного минимума кислорода его концентрация наименьшая на севере, в водах АЦТ и значительно более высокая — в южной части моря, в водах высокоширотной модификации. Причём разница довольно существенна, зачастую более 1 мл/л. Вследствие этого в зоне взаимодействия разных модификаций вод в море Скотия возникает значительный горизонтальный градиент в распределении концентрации кислорода в слое его глубинного минимума (рис. 6), что позволяет достоверно определить положение ВФЗА. Она чётко прослеживается в море Скотия до Южных Шетландских островов. В тихоокеанском секторе изменение концентрации кислорода невелико, прослеживается лишь тенденция к её росту в южном направлении, а в области ВФЗА увеличение горизонтального градиента содержания кислорода отсутствует [Gordon, 1967].

В отличие от моря Уэдделла, море Беллинсгаузена не изолировано от влияния вод АЦТ, распространяющихся здесь далеко на юг, что сглаживает разницу между содержанием кислорода в разных модификациях антарктических вод.

Показательной характеристикой служит также глубина залегания слоя кислородно-

го минимума (рис. 7) [Аржанова, Солянкин, 1982]. Она изменяется в широких пределах — от 250 до 1000 м и более. Область ВФЗА характеризуется резким уменьшением глубины положения слоя кислородного минимума по сравнению и с водами АЦТ, и с водами высокоширотной модификации. Если в водах АЦТ и водах высокоширотной модификации слой минимума кислорода располагается глубже 600 м, то в области ВФЗА глубина его расположения, как правило, менее 400 м. Это обусловлено динамическими особенностями в зоне взаимодействия различных водных масс, в частности, подъёмом глубинных вод на южной границе основного потока АЦТ. На перифериях ВФЗА отмечаются большие горизонтальные градиенты концентрации кислорода и по направлению к водам АЦТ, и по направлению к водам высокоширотной модификации. Это позволяет проследить положение ВФЗА и в море Скотия, и в тихоокеанском секторе Антарктики.

Изменение глубины залегания слоя кислородного минимума определяет и основные закономерности пространственного распределения его концентрации на глубинах от ~150 до ~300 м. Чем ближе он располагается к поверхности, тем быстрее и резче уменьшается концентрация кислорода с глубиной. Поэто-

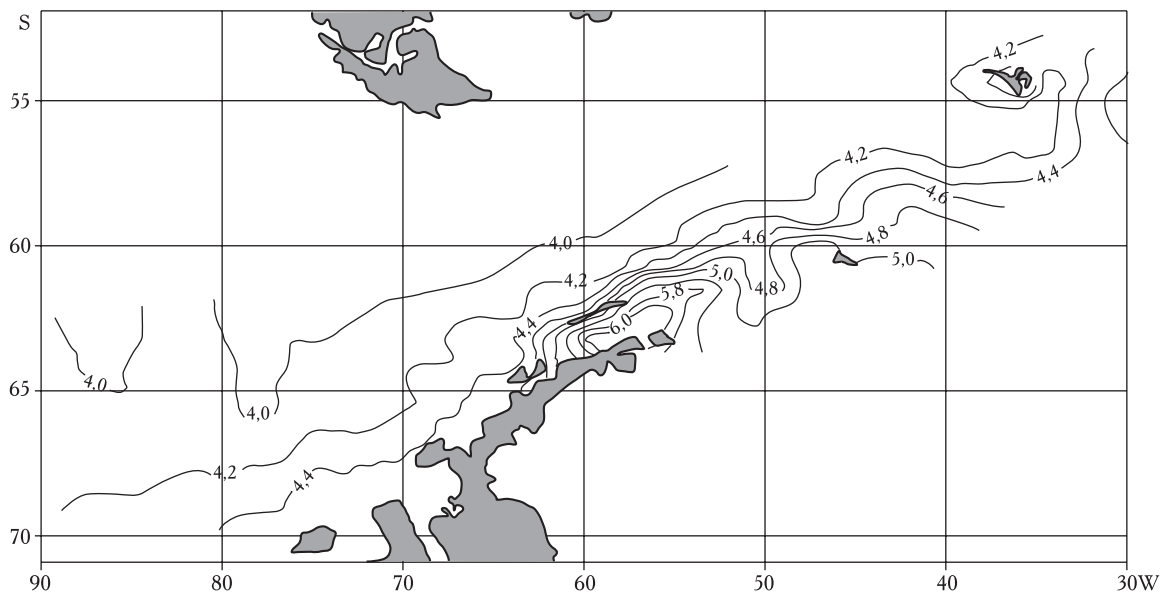


Рис. 6. Пространственное распределение кислорода (мл/л) в слое его глубинного промежуточного минимума

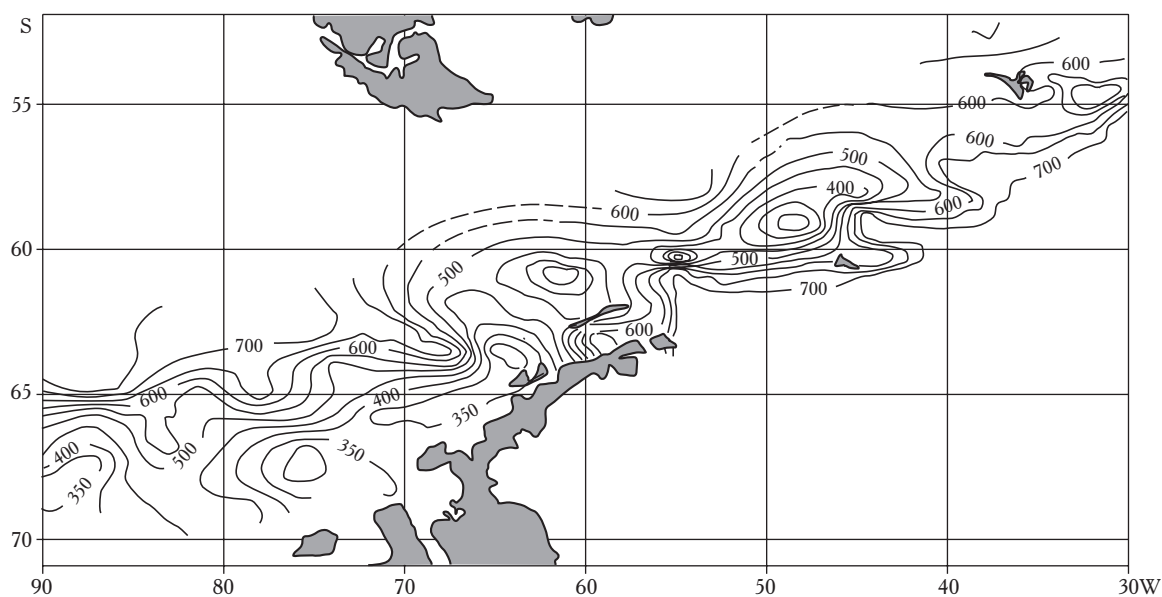


Рис. 7. Топография слоя кислородного минимума (м)

му на этих глубинах Вторичная фронтальная зона выделяется пониженной концентрацией кислорода по сравнению с обеими модификациями антарктических вод и наличием на всём её протяжении цепочки очагов, где содержание кислорода особенно мало (рис. 8). Подобные очаги приурочены, как правило, к местам, характеризующимся самым высоким положением слоя промежуточного минимума кислорода.

**Кремний.** Содержание кремния, особенно в поверхностном слое воды, может быть с успехом использовано для дифференциации различных модификаций антарктических вод. Характерная особенность пространственного распределения кремния — увеличение его концентрации с севера, северо-запада на юг, юго-восток (рис. 9).

В водах АЦТ, занимающих северную часть моря Скотия, содержание кремния наимень-

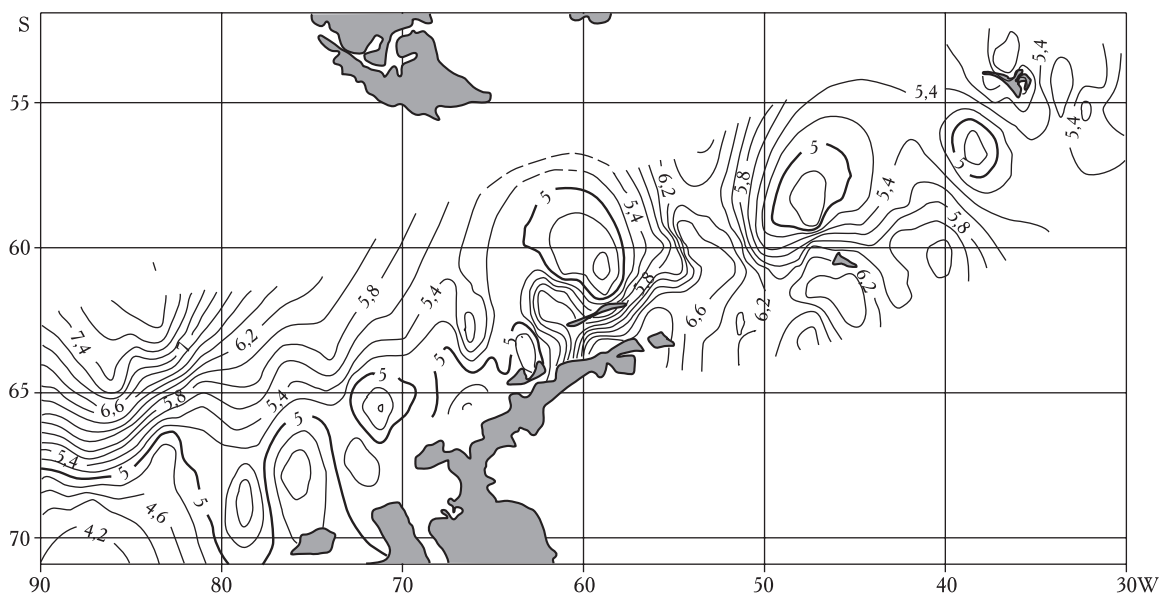


Рис. 8. Пространственное распределение кислорода (мл/л) на глубине 200 м



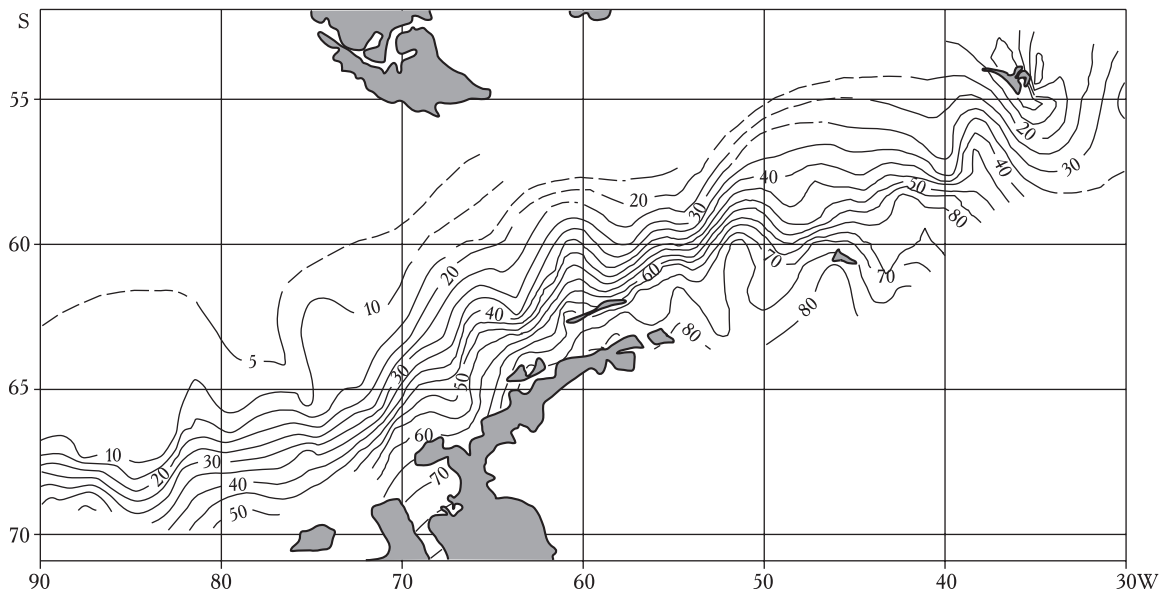


Рис. 9. Пространственное распределение кремния ( $\mu\text{M}$ ) на поверхности

шее — менее  $20 \mu\text{M}$ . Горизонтальный градиент в распределении кремния, относительно небольшой в пределах вод АЦТ, резко возрастает на границе с высокоширотными водами моря Уэдделла, которым присущи высокие концентрации кремния — повсеместно более  $70 \mu\text{M}$ . Большие запасы кремния в водах моря Уэдделла обусловлены влиянием материка — постоянного источника кремния, а также преобладанием в приматериковых районах циклонических форм циркуляции [Масленников, 1980], способствующих подъёму к поверхности богатых кремнием глубинных вод. Аналогичная закономерность прослеживается и в тихоокеанском секторе Антарктики.

Таким образом, зона повышенных горизонтальных градиентов в распределении содержания кремния служит критерием для обнаружения ВФЗА. Необходимо отметить, что при выявлении фронтального раздела следует ориентироваться не столько на абсолютные величины содержания кремния, сколько на их относительное изменение в пространстве, а именно на наличие повышенного горизонтального градиента. Что касается абсолютного содержания кремния, то, хотя и можно говорить о порядке величин, нужно, однако, иметь в виду, что они подвержены изменениям, связанным с жизнедеятельностью фитопланктона. В результате потребления кремния фитопланктоном его кон-

центрация в воде снижается тем значительней, чем интенсивней фотосинтез.

**Отношение кремния и фосфора (величина  $\text{Si/P}$ ).** Надёжным и очень чётким показателем различных модификаций вод служит величина отношения кремния и фосфора  $\text{Si/P}$  в поверхностных водах [Аржанова, 1982]. Основная закономерность распределения  $\text{Si/P}$  аналогична кремнию (рис. 10). Наблюдается рост величин с севера на юг от  $< 20$  в водах АЦТ до 40 и более в водах высокоширотной модификации. В отличие от кремния, область смешанных вод в ВФЗ характеризуется не только повышенным горизонтальным градиентом, но и определённым количественным критерием  $\text{Si/P}$ . Это обусловлено особенностями пространственного и временного изменения величины  $\text{Si/P}$ , что связано с жизнедеятельностью фитопланктона, для которого и кремний, и фосфор являются жизненно необходимыми биогенными элементами. Активное развитие фитопланктона сопровождается потреблением кремния и фосфора, в результате чего содержание их в воде убывает.

При этом  $\text{Si/P}$  может изменяться в любую сторону в зависимости от исходных величин и от соотношения кремния и фосфора, в котором они утилизируются фитопланктоном. Если величина  $\text{Si/P}$  в воде меньше, чем в клетках фитопланктона, в результате его жизнедея-

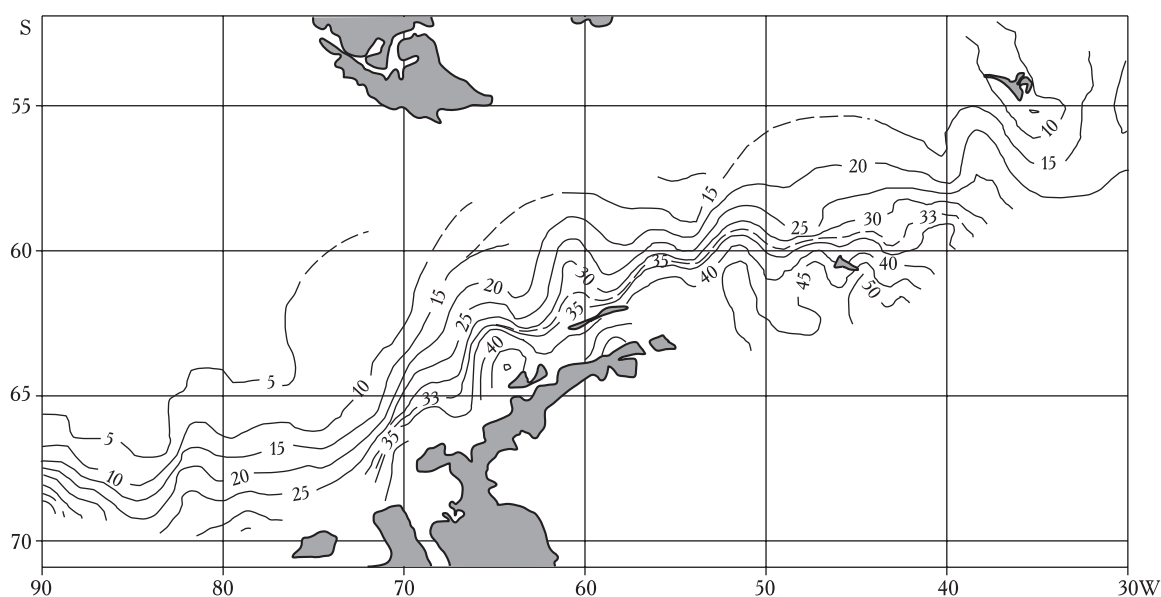


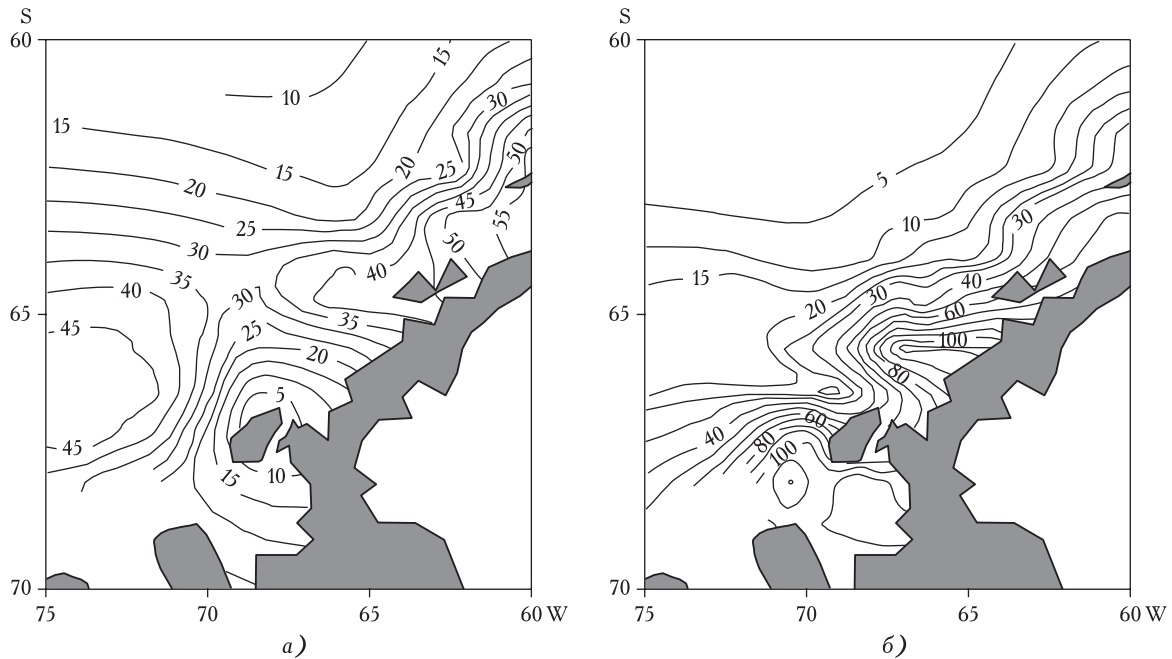
Рис. 10. Пространственное распределение величины  $Si/P$  на поверхности

тельности в воде создаётся относительный избыток фосфора, если больше — кремния, что влечёт за собой в первом случае уменьшение, а во втором — увеличение в воде первоначального соотношения  $Si/P$ . Если же  $Si/P$  в воде то же, что и в клетках фитопланктона, оно остаётся постоянным в воде, независимо от изменения концентрации кремния и фосфора.

Соотношение, в котором кремний и фосфор извлекаются фитопланктоном из воды, определяется его видовым составом. В Антарктической области доминирует диатомовый фитопланктон [Сёмина, 1974; Воронина, 1977; Микаэлян и др., 1993; Hart, 1934]. Его доля в фитоценозе составляет 80–95%. Для построения полноценных клеток диатомеи извлекают из воды кремний и фосфор в соотношении, равном в среднем  $\sim 33$  [Виноградов, 1935; Sverdrup et al., 1942]. Ориентируясь на эту величину, можно констатировать, что в модификации АЦТ соотношение кремния и фосфора в воде меньше, в водах высокоширотной модификации — значительно больше, а в области ВФЗ соответствует потребности в них фитопланктона. Это гарантирует существование в области ВФЗ в течение всего года постоянных величин  $Si/P$ . Следует учесть, что помимо диатомей, большая роль в фитоценозе принадлежит также динофлагеллятам и небольшая часть его представлена жгутиковыми

ми и кокколитофоридами [Воронина, 1977]. Кроме того, для фитопланктона характерна сезонная сукцессия его состава. Поэтому считаем целесообразным в качестве ориентира для обнаружения зоны смешения использовать не конкретную величину  $Si/P$ , а её пределы от  $\sim 20-25$  до  $\sim 30-35$ . В зависимости от интенсивности фотосинтеза крайние пределы  $Si/P$  в ВФЗ могут значительно варьировать, однако величины в диапазоне от 20 до 35 сохраняются в ВФЗ в течение всего года, являясь надёжным показателем её положения. Так, летом 1976 г. в результате активного развития фитопланктона у западного побережья Антарктического полуострова в районе архипелага Палмера и о. Аделейд концентрация кремния упала до очень малых величин, в результате была нарушена основная закономерность его распределения. Однако на характере распределения отношения  $Si/P$  это не сказалось — в пределах ВФЗ сохранились величины в диапазоне от 20 до 35 при резком возрастании их на южной периферии фронтальной зоны в результате активного фотосинтеза в водах высокоширотной модификации до 80 ед. и более (рис. 11). Это привело к обострению горизонтального градиента в пределах ВФЗ и ещё более чёткому её проявлению.

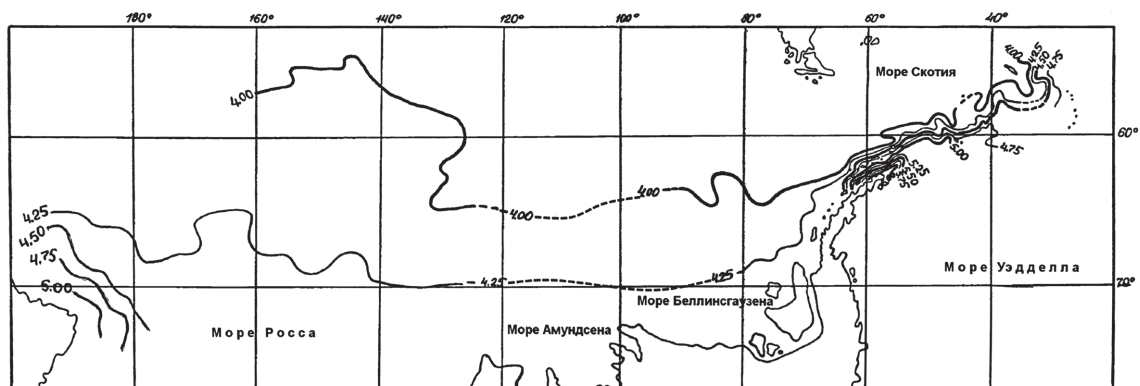
Положение фронтальной зоны, её характер, размер области смешанных вод существенно



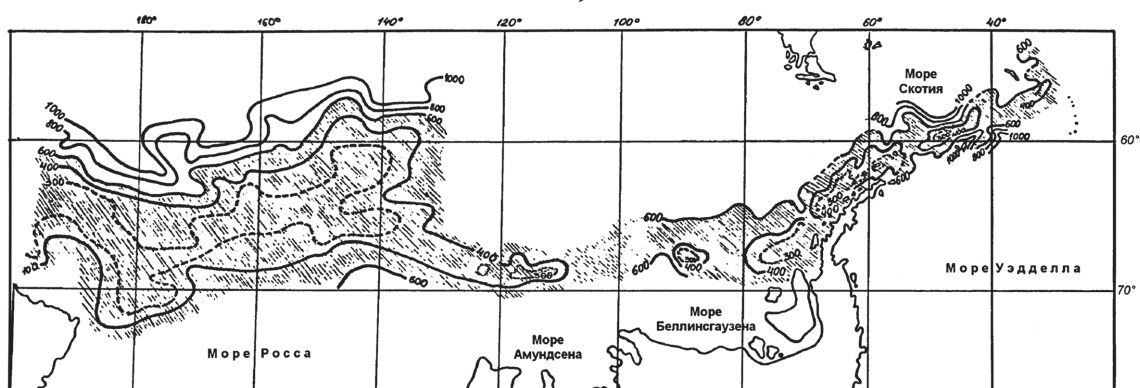
**Рис. 11.** Пространственное распределение кремния,  $\mu\text{M}$  (а) и величины  $\text{Si/P}$  (б) на поверхности в районе Антарктического полуострова летом 1976 г.

отличаются в разных районах Антарктики (рис. 12). Положение ВФЗА определяется степенью распространения вод АЦТ в зависимости от особенностей динамики вод, рельефа дна, орографии берегов [Масленников, 2003]. При сильном отклонении вод АЦТ к югу фронтальная зона часто смещается непосредственно к материку. Напротив, когда струя АЦТ отклоняется к северу, воды высокоширотной модификации выносятся на север, и ВФЗА удаляется от материка на значительное расстояние. При определённых условиях ВФЗА может раздваиваться, при этом её внутренняя часть заполняется смешанными водами. Такая ситуация характеризует море Росса, где северная ветвь фронтальной зоны, следуя южному склону Южно-Тихоокеанского поднятия, сильно удаляется от материка, а смешанные воды занимают обширную акваторию, полностью заполняя круговорот моря Росса [Масленников, 2003]. В пределах смешанной области воды относительно однородны по своим гидрохимическим характеристикам. Высокоградиентные зоны прослеживаются на северной и южной её перифериях, на границе с «чистыми» водами АЦТ и «чистыми» водами высокоширотной модификации соответственно. Восточнее  $130^\circ$  з.д. в районе глубоководной котловины Беллинсгаузена влияние вод АЦТ распространяется далеко на юг. Это приводит к чрезвычайному сужению области смешения и возникновению узкой фронтальной зоны — ВФЗА. В связи с ограниченным распространением вод высокоширотной модификации на север в море Амундсена и Беллинсгаузена ВФЗА заметно приближена к материку. В районе Антарктического полуострова воды высокоширотной модификации тянутся узкой полосой вдоль границы шельфа. Противоположная ситуация складывается в море Скотия, где воды моря Уэдделла, являющиеся, в отличие от моря Росса, «чистыми» водами высокоширотной модификации, выносятся далеко на север, занимая значительную акваторию на юге моря Скотия. Здесь в зоне фронта происходит взаимодействие «чистых» вод АЦТ и «чистых» вод высокоширотной модификации.

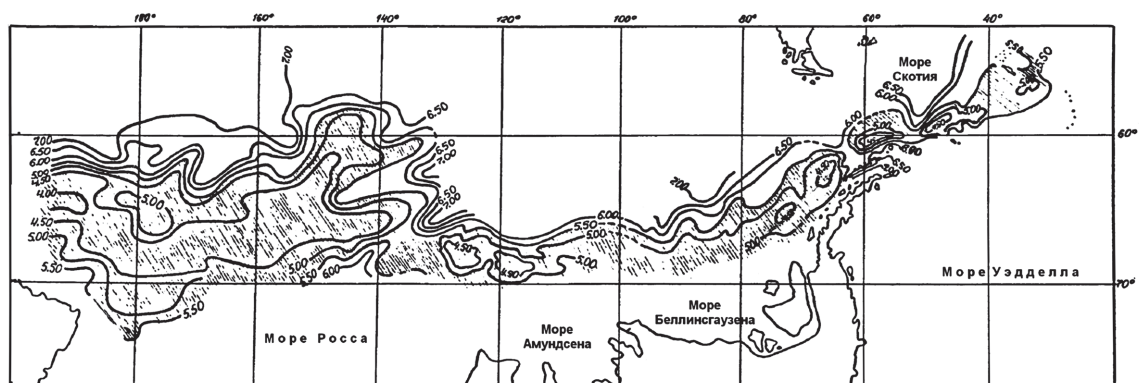
Вторичная фронтальная зона Антарктики (ВФЗА), относительно спокойная в море Амундсена и Беллинсгаузена, в море Скотия и в районе Антарктического полуострова становится достаточно сложной по своей структуре, приобретает чётко выраженный меандрирующий характер с большим количеством завихрений и круговоротов.



а)



б)



в)

Всё это свидетельствует о наличии благоприятных условий для образования промысловых скоплений криля (рис 13). Именно к этим областям приурочены основные места промысла криля, на них приходится большая часть всего вылова [Масленников, 2003].

В районе моря Росса при обширной области смещения обнаружение скоплений криля более вероятно в области южной высокоградиентной зоны

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительная оценка гидрохимических ориентиров для выявления ВФЗА показала, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. При этом следует принимать во внимание такие важнейшие обстоятельства, как наличие ярко выраженных особенностей пространственного распределения, возможность использования количественного критерия

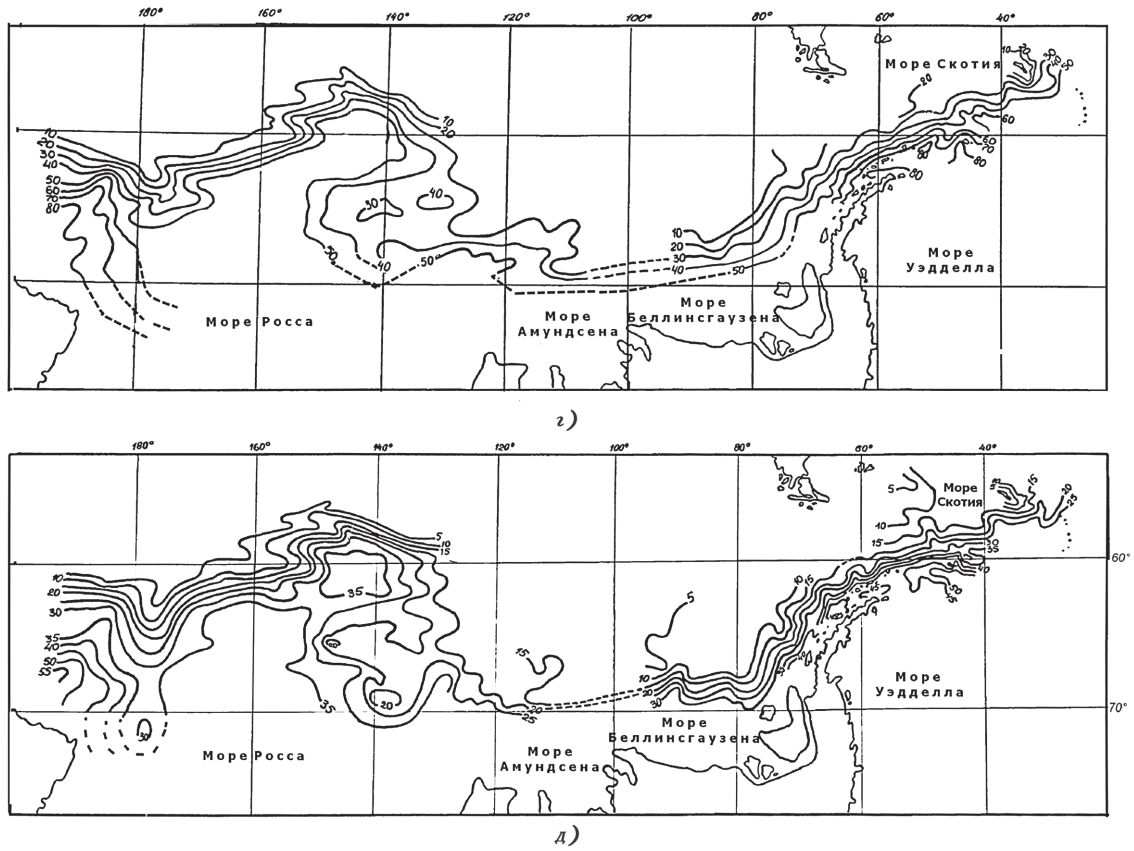


Рис. 12. Распределение кислорода (мл/л) в слое его минимума (а) и на глубине 200 м (б), топография слоя кислородного минимума (б), содержание на поверхности кремния ( $\mu\text{M}$ ) (в) и величины  $\text{Si/P}$  (г)

рия, кроме того, немаловажным фактором является доступность получения необходимых данных.

Большим достоинством таких характеристик, как концентрации кислорода в слое его промежуточного минимума, на глубине 200 м, а также глубина положения слоя минимума кислорода, является возможность применения количественных критериев, так как они достаточно стабильны. Однако, получение этих данных возможно лишь при проведении глубоководных исследований. Кроме того, действие такого критерия, как повышенный горизонтальный градиент в распределении кислорода в слое его промежуточного минимума, ограничено в пространстве, поскольку распространяется только на район моря Скотия.

Использование в качестве критерия для обнаружения ВФЗА содержания кремния в поверхностном слое позволяет достаточно

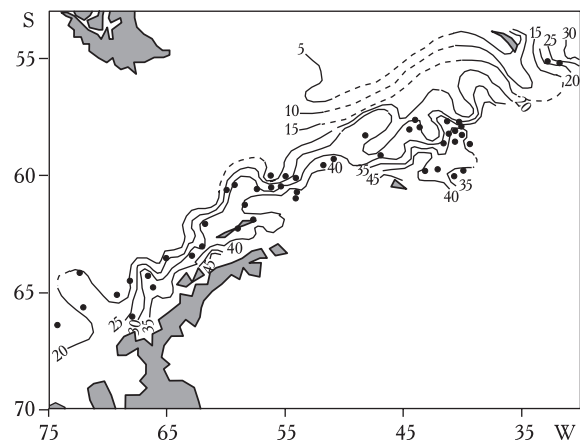


Рис. 13. Положение ВФЗА (по распределению величины  $\text{Si/P}$ ) и скопления криля в море Скотия и районе Антарктического полуострова (лето 1979 г.).  
■ — скопления криля

достоверно определить её положение. К сожалению, следует ориентироваться лишь на относительное изменение его в пространстве, конкретно — на увеличение горизонтального градиента в области ВФЗА, а не на абсолютные величины. На содержание кремния существенно влияет интенсивность фотосинтеза, что в отдельных случаях может привести к сглаживанию разницы его концентрации в водах обеих модификаций и отсутствию повышенного горизонтального градиента.

При использовании величины  $Si/P$  на поверхности действуют все необходимые для надёжного обнаружения ВФЗА факторы — постоянное наличие повышенного горизонтального градиента в области ВФЗА, постоянное наличие в пределах ВФЗА количественного критерия, отсутствует необходимость исследовать большую толщу воды, а отбор только поверхностных проб не вызывает затруднений. Таким образом, величины  $Si/P$  — наиболее оперативный, простой и надёжный показатель для выявления ВФЗА. Пространственное распределение величины  $Si/P$  достаточно детально отражает характер ВФЗА, её конфигурацию, наличие завихрений и меандров, к которым обычно приурочены промысловые скопления криля. Благодаря перечисленным преимуществам данная характеристика может быть применена на практике во время промысла криля для локализации районов поиска его скоплений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аржанова Н. В. 1982. Отношение содержания кремния и фосфора ( $Si/P$ ) как показатель зоны смешения вод в области Ю. Оркнейских островов и Антарктического полуострова // Антарктика. Вып. 21. М.: Наука. С. 95–100.
- Аржанова Н. В., Солянкин Е. В. 1982. Пространственная структура зоны взаимодействия вод моря Уэдделла и Антарктического циркумполярного течения в море Скотия // Материалы Всесоюзного съезда океанологов. Тезисы докладов. Вып. 3. Ч. 1. С. 86.
- Батрак (Артамонова) К. В. 2008. Гидрохимическая характеристика различных модификаций антарктических вод // Океанология. Т. 48. Вып. 3. С. 381–388.
- Богданов М. А., Макаров Р. Р., Масленников В. В., Солянкин Е. В., Багрянцев Н. В., Гурецкий В. В., Данилов А. И. 1986. Структура гидрофизических полей Атлантического сектора Южного океана и их влияние на планктонные сообщества. ОНТИ ВНИРО. 64 с.
- Богданов М. А., Орадовский С. Г., Солянкин Е. В., Хвацкий Н. В. 1969. О фронтальной зоне в море Скоша // Океанология. Т. XI. Вып. 6. С. 966–974.
- Виноградов А. П. 1935. Химический элементарный состав организмов моря // Тр. Биохим. лаб. АН СССР. Т. 6. С. 1–215.
- Воронина Н. М. 1977. Сообщества умеренных и холодных вод южного полушария // Биология океана. М.: Наука. Т. 2. С. 68–90.
- Воронина Н. М. 1975. К экологии и биогеографии планктона Южного океана // Труды ИОРАН. Т. 103. С. 60–87.
- Макаров Р. Р. 1972. Жизненный цикл и особенности распределения *Euphausia superba* Dana // Тр. ВНИРО. Т. 77. С. 85–92.
- Макаров Р. Р., Масленников В. В., Солянкин Е. В., Шевцов В. В. 1980. Особенности количественного распределения и условия образования скоплений *Euphausia superba* Dana на примере некоторых районов Атлантического и Тихоокеанского секторов Южного океана // Тр. ВНИРО. Биологические ресурсы антарктического криля. С. 114–144.
- Масленников В. В. 2003. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М.: Изд-во ВНИРО. 295 с.
- Масленников В. В. 1976. Особенности горизонтальной циркуляции и распределение макрозоопланктона в приантарктических водах Атлантики // Тр. ВНИРО. Т. 112. С. 50–56.
- Масленников В. В. 1980. Современные представления о крупномасштабной циркуляции вод Антарктики и пути массового дрейфа криля // Тр. ВНИРО. Биологические ресурсы антарктического криля. С. 8–27.
- Масленников В. В. 1995. Дифференциация вод Антарктики с учётом их воздействия на распределение некоторых видов планктона и рыб // Антарктика. М.: Наука. Вып. 33. С. 43–54.
- Масленников В. В., Попков В. В. 1988. Положение зоны взаимодействия антарктических вод разных модификаций как показатель северной границы массового дрейфа антарктического криля // Антарктика. Вып. 27. С. 134–142.
- Микаэля А. С., Георгиева Л. В., Сеничкина Л. Г. 1993. Структура фитопланктонных сообществ атлантического сектора Антарктики // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: Наука. С. 116–124.

- Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана.* 2003. М.: Изд-во ВНИРО. 202 с.
- Сёмина Г.И.* 1974. *Фитопланктон Тихого океана.* М.: Наука. 238 с.
- Gordon A.L.* 1967. Structure of Antarctic Waters between 20° W and 170° W // *Antarctic Map. Folio Series.* Amer. Geogr. Soc. New York. P. 1–10.
- Hart T.J.* 1934. On the Phytoplankton of the South-West Atlantic and the Bellingshausen Sea // *Discov. Rept.* V. 8. P. 183–193.
- Marr J.W.S.* 1962. The Natural History and Geography of the Antarctic Krill (*Euphausia superba Dana*) // *Discovery Rep.* Vol. 32. P. 129–135.
- Sverdrup H. U., Johnson M. W., Fleming R.H.* 1942. *The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology.* N.Y.: Prentice-Hall. № 4. P. 1087.

## Hydrochemical Structure of Water Masses in Areas of the Antarctic Krill (*Euphausia Superba Dana*) Fisheries

*N. V. Arzhanova, K. V. Artamonova*

Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSUE VNIRO, Moscow)

Antarctic krill (*Euphausia superba Dana*) is considered a most valuable fishing object in the Antarctic waters. According to some estimates, its stocks totals hundred million tons. Besides, krill makes the basic part of feeding ration for numerous consumers, including sea birds, seals, whales, etc. Hydrochemical conditions in areas of the Antarctic krill concentrations in the Southern Ocean are reviewed. We have identified hydrochemical parameters which allow us to differentiate main water masses in the Antarctic waters (i.e. waters associated Antarctic Circumpolar Current (ACC) vs. waters with the high-latitude modification associated with continental seas) and distinguish a zone of their interaction, the Secondary Frontal Zone (SFZ). This zone basically makes the areas of the krill dense concentrations.

**Key words:** hydrochemistry, krill concentrations, frontal zone, oxygen, silicon, maelstroms, aquatic mass modification.