

УДК 551.46(264.3)

О ВОДНЫХ МАССАХ МОРЯ СКОТИЯ**В. В. Масленников**

Выделение водных масс является одной из важнейших задач океанографических исследований. Оно необходимо для понимания распределения гидрологических и гидрохимических характеристик изучаемого района, оценки продуктивности вод, выявления теплового и солевого обмена, глубинного переноса воды и других целей.

Недостаток времени не позволил провести гидрологические исследования всей толщи водной массы; станции выполнялись до глубины 1000 м. Однако полученные данные позволяют охарактеризовать верхние слои моря, связанные с формированием биологической продукции.

Району моря Скотия, очень интересному с гидрологической и промысловой точек зрения, посвящены лишь немногие работы советских и зарубежных океанологов. Недостаточное количество фактического материала не дает возможность ответить на многие вопросы, связанные с распределением водных масс, системой течений, с некоторыми физическими явлениями, в частности с наличием фронта Антарктической конвергенции.

С промысловой точки зрения этот район еще только начинают изучать.

Структура водной толщи моря Скотия и севера моря Уэдделла по имеющимся литературным данным (Ботников В. Н., 1964; Макаров Ю. В., 1956; Таубер Г. М., 1956; Deacon G. E., 1933; Mosby H., 1927—28; Sverdrup H. U., Johnson M. W., Fleming R. H., 1934) представляется в следующем виде. Прежде всего — это антарктическая поверхностная водная масса. Она охватывает слой до глубины 100—250 м и характеризуется низкими температурами и низкой соленостью. Климатические условия района ее формирования объясняют как низкие температуры, так и опресненность этой воды. Летом в связи с увеличением солнечной радиации температура возрастает, а соленость уменьшается благодаря таянию льдов. Так образуется верхний слой летнего прогрета, температура которого на несколько градусов выше точки замерзания, а соленость опускается ниже 34,0‰, особенно в южной части распространения этой водной массы. Понижение солености способствует возникновению устойчивой стратификации, что в свою очередь вызывает еще больший прогрев слоя. Ниже этой теплой воды находится холодная вода, имеющая примерно те же характеристики, что и вся поверхностная масса зимой.

Таким образом, летом происходит разделение антарктической поверхностной водной массы на два слоя: небольшого по толщине слоя летнего прогрева и остаточного холодного слоя с характеристиками, близкими к зимним. Эта водная масса образуется в море Уэдделла и распространяется на север и северо-восток до зоны антарктической конвергенции.

Как известно, в море Скотия с запада через пролив Дрейка поступают воды моря Беллинсгаузена, характеризующиеся более низкой температурой и меньшей соленостью, чемдвигающиеся с юга воды моря Уэдделла. По пути в море Скотия воды моря Беллинсгаузена прогреваются и становятся теплее, чем воды моря Уэдделла.

Таким образом, в поверхностном слое моря Скотия можно выделить два типа вод: воды моря Уэдделла (несколько более соленые) и воды моря Беллинсгаузена (с меньшей соленостью). Граница между ними проходит к северо-востоку от Земли Грейама, в направлении к о. Южная Георгия.

Зона схождения антарктической и субантарктической водных масс располагается на широтах $49-58^{\circ}$ ю. ш. в зависимости от долготы и сезона (по Дикону). Образовавшаяся в результате конвергенции антарктическая промежуточная водная масса распространяется на север и частично на юг, смешиваясь с глубинной водной массой субтропического района. Предполагают, что именно эта вода и образует в морях Скотия и Уэдделла глубинную теплую водную массу, характеризующуюся наличием максимума температуры (до 2°C) и весьма незначительными изменениями солености ниже глубины температурного максимума.

Н. Mosby (1934) указывает: «Происхождение верхнего слоя стратосферы (так он называет этот слой температурного максимума) нужно связывать с Атлантикой, Тихим и Индийским океанами, откуда эти воды поступают и смешиваются с Циркумполярным течением (течение западных ветров). Обновление этого слоя в пределах Циркумполярного течения приводит к такому же явлению и в районах, расположенных южнее, причем этот процесс усиливается атлантическим, антарктическим и гипотетическими циклонами на других долготах».

Наконец, ниже этой водной массы располагается слой холодной воды (с отрицательными температурами) высокой солености (до $34,7\text{‰}$ — антарктическая придонная водная масса. Она образуется следующим образом. Зимой у материкового склона Антарктиды поверхностные массы подо льдом имеют температуру до -1°C и соленость около $34,60\text{‰}$ (в результате льдообразования). Эта вода, спускаясь вниз, перемешивается с нижележащим, более теплым, глубинным слоем и образует придонную воду с температурами выше поверхностных (порядка $-0,5-0,9^{\circ}\text{C}$) и высокой соленостью ($34,7\text{‰}$).

Большинство наблюдений экспедиции выполнялось вблизи островов, ограничивающих море Скотия с юга и севера, т. е. у Южных Оркнейских островов и у о. Южная Георгия. Часть станций находится на трех разрезах, пересекающих море с севера на юг. Разрез АА пересекает море с севера на юг от широты Фолклендских островов, проходя несколько западнее Южных Оркнейских островов в море Уэдделла; разрез ББ проходит по юго-восточной периферии моря к Южным Сандвичевым островам, и, наконец, разрез ВВ — пересекает море с юга на север от о. Южная Георгия до Южных Оркнейских островов. Наиболее охваченной сеткой станций оказалась восточная часть моря. В районе Фолклендских островов выполнено две полных гидрологических станции (на банке Бердвуд).

Для удобства анализа выделим некоторые районы, отличающиеся друг от друга по характеристикам. Это прежде всего два района, где было произведено наибольшее количество гидрологических станций и тралений и отмечены наибольшие скопления криля: к северо-востоку от Южных Оркнейских островов и к северу от о. Южная Георгия, затем центральная часть моря и его восточная периферия с Южными Сандвичевыми островами.

РАЙОН К СЕВЕРО-ВОСТОКУ ОТ ЮЖНЫХ ОРКНЕЙСКИХ ОСТРОВОВ

В этом районе было выполнено максимальное количество станций (с № 88 по 144 включительно в период с 4 февраля 1965 г. по 19 февраля 1965 г. и 2 станции № 197 и 198, выполненные 14 марта 1965 г.). По последним двум станциям можно в какой-то мере судить о сезонном изменении гидрологических характеристик в этом районе.

При анализе кривых вертикального распределения температуры и солености выявились следующие закономерности.

Температура на поверхности на разных станциях меняется в пределах от 0,7 до 1°45, что связано, по-видимому, со сложной динамикой вод в этом районе.

Соленость поверхностной воды еще более изменяется от станции к станции в пределах от 33,89 до 34,20‰, что можно объяснить расположением некоторых станций вблизи крупных айсбергов и также сложной картиной течений (см. статью А. А. Елизарова, опубликованную в настоящем сборнике).

Слой гомотермии на большинстве станций распространяется лишь до глубины 25 м, на четырех станциях — до 50 м. Гомохалинный слой на двух станциях вообще отсутствует, на большинстве же он расположен в слое от 10—25 до 50—100 м.

На многих станциях наблюдается скачок температуры и температурный минимум. Скачок начинается на глубинах 50 м (иногда несколько выше, иногда глубже — до 75 м) и на глубинах от 75 до 175 м наблюдаются минимальные температуры (от —0°60 до —1°40). Соленость в этом слое также скачкообразно возрастает до величин 34,45‰ на глубинах 100—200 м (чаще всего на горизонте 150 м).

С глубиной температура начинает постепенно увеличиваться и на горизонтах 400—700 м наблюдается слабо выраженный максимум в пределах 0°4—1°0. Кривые солености почти точно повторяют ход температурных кривых на этих глубинах, т. е. величины ее также постепенно возрастают до 34,65—34,70‰.

Еще глубже температура очень медленно понижается (на 6 станциях). На четырех из этих же станций происходит также очень медленное понижение солености.

Таким образом, при рассмотрении кривых вертикального распределения температуры и солености можно произвести разделение водной толщи на массы, отличающиеся по своим характеристикам (рис. 1, а).

Прежде всего выделяется так называемая антарктическая поверхностная водная масса, четко разделяющаяся на два слоя: слой летнего прогрева и зимний холодный остаточный слой.

Слой летнего прогрева прослеживается до глубины около 50 м. Он характеризуется положительными температурами и относительно низкой соленостью, что объясняется увеличением солнечной радиации и таянием льдов.

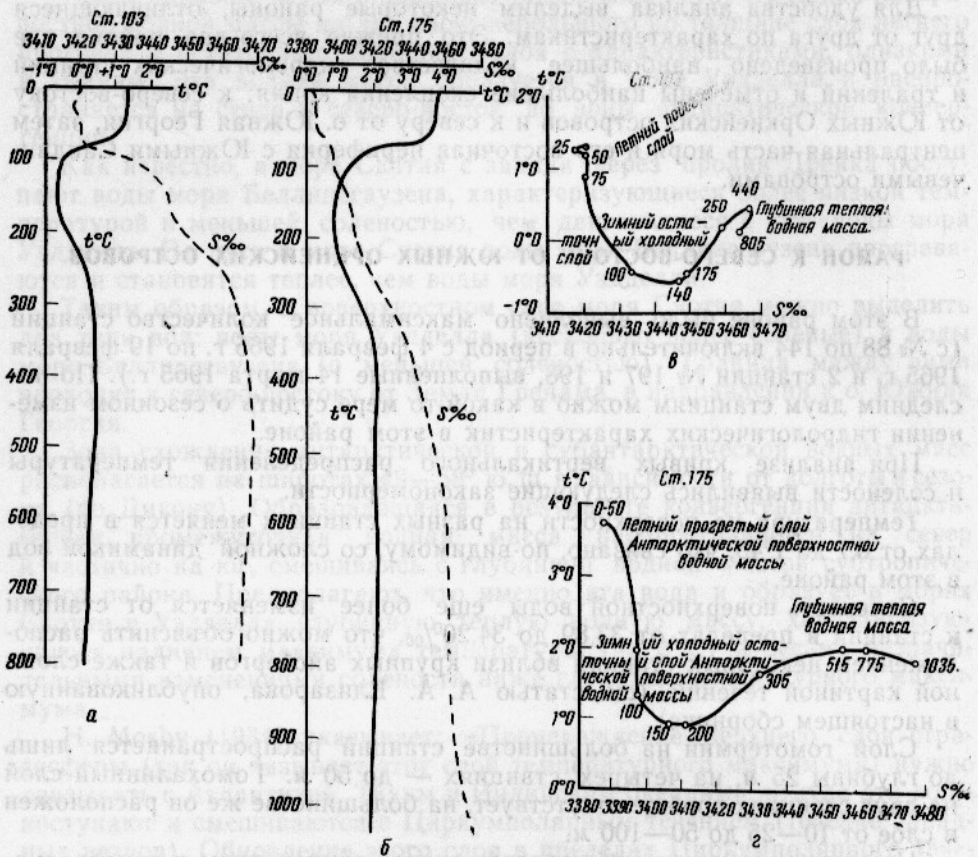


Рис. 1. Кривые вертикального распределения температуры ($t^{\circ}\text{C}$) и солёности ($S^{\text{‰}}$) и $t^{\circ}\text{C}$ S — кривые для ст. 103 и 175.

а — кривые вертикального распределения температуры ($t^{\circ}\text{C}$) и солёности ($S^{\text{‰}}$) на ст. 103; б — кривые вертикального распределения температуры и солёности на ст. 175; в — $t^{\circ}\text{C}$ S — кривая для ст. 103; г — $t^{\circ}\text{C}$ S — кривая для ст. 175

Зимний холодный остаточный слой располагается под слоем летнего прогрева до глубин 150—200 м. Характеризуется почти теми же температурами и солёностью, какие имела вся антарктическая поверхностная масса прошедшей зимой, т. е. отрицательными температурами (до -1.40°) и повышенной солёностью ($34.45^{\text{‰}}$).

Далее можно выделить и глубинную теплую водную массу. Температура здесь постепенно увеличивается с глубиной и достигает положительных значений с максимумом в пределах 0.40° — 1.0° . Солёность продолжает также расти, повторяя ход температуры и достигает значений 34.65 — $34.70^{\text{‰}}$.

Незначительные понижения температуры и солёности, наблюдаемые на некоторых станциях на глубине около 1000 м, по-видимому, связаны с перемешиванием этой водной массы с нижележащей придонной водой.

Более наглядными в отношении выделения водных масс являются TS — кривые, построенные для тех же станций. Характер этих кривых полностью подтверждает наличие трех различных типов вод (см. рис. 1, в).

РАЙОН К СЕВЕРУ ОТ о. ЮЖНАЯ ГЕОРГИЯ

В этом районе выполнено 5 полных гидрологических станций (№ 168—175). Из них лишь одна станция до глубины 1000 м. Остальные — до дна на шельфе (одна до 575 м, другая до 275 м и две до 200 м).

О. Южная Георгия расположен в районе, являющемся как бы переходным, и именно здесь (несколько севернее острова) проходит зона антарктической конвергенции.

Естественно, более северное положение станций проявилось прежде всего в повышении температуры воды ($3^{\circ}4$ — $4^{\circ}4$ — на поверхности). Слой гомотермии непостоянен и толщина его изменяется от 10 до 50 м. То же самое можно сказать о гомохалинном слое. Соленость на поверхности относительно мала (33,75—33,83‰), что связано, по-видимому, с более интенсивным таянием льдов, чем в районе Южных Оркнейских островов.

Таяние льдов и сложная динамика вод моря Скотия (особенно у островов) являются причинами больших различий в солености поверхностной массы в разных районах моря.

На карте поверхностного распределения солености (рис. 2) выделяются три области опреснения. У о. Южная Георгия и у Южных Оркнейских островов это связано, по-видимому, с таянием прибрежных и сползающих в море льдов, а в юго-восточной части моря — с таянием встречавшихся здесь крупных айсбергов. Из этих трех областей опреснения более высокая соленость все же у Южных Оркнейских островов, где сказывается влияние относительно соленых вод моря Уэдделла.

Кроме того нужно отметить, что величины солености, нанесенные на карту, наблюдались нами с конца января до середины марта, т. е. в течение более полутора месяцев. И хотя это время соответствует

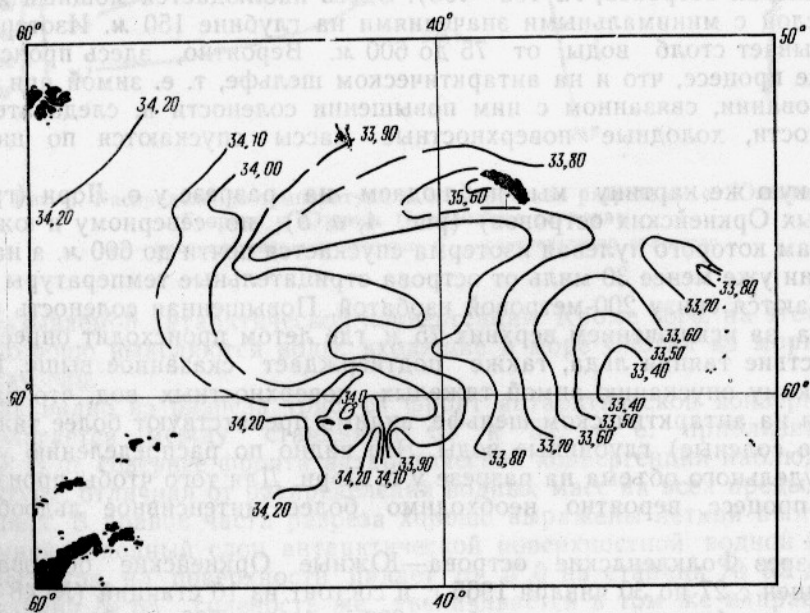


Рис. 2. Распределение солености на поверхности моря Скотия в январе—марте 1965 г.

одному сезону, все же какие-то изменения солености, вероятно, произошли, что также несколько усложнило картину ее распределения.

На всех станциях, так же как и в районе Южных Оркнейских островов, наблюдается температурный скачок и температурный минимум. Причем величины этого минимума на всех станциях почти одинаковы и выше, чем в ранее рассматриваемом районе ($0^{\circ},8-1^{\circ},0$). Располагается он на глубинах 125—175 м. Соленость после гомохалинного слоя повышается иногда скачкообразно, иногда более плавно и в слое минимума температуры достигает величины 34,05—34,10‰. Ниже происходит дальнейшее увеличение ее до 34,76‰ на глубине 1035 м (см. рис. 1, б). Температура также увеличивается с глубиной до 2° на горизонте 400—500 м.

Таким образом, мы имеем в этом районе те же водные массы (рис. 1, г) с несколько видоизмененными характеристиками и глубинами их простираания.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ МОРЯ

Разрез в. Южная Георгия—Южные Оркнейские острова был выполнен с 11 по 14 марта 1965 г. и состоит из 10 станций (№ 185—198). Он связывает два рассмотренных выше района.

Теплый поверхностный слой летнего прогрева, скачок температуры и температурный минимум, указывающие на наличие холодного зимнего слоя, дальнейшее повышение температуры с глубиной максимума в слое 500—600 м и снова понижение (глубинная теплая водная масса) — такова структура этой водной толщи (рис. 3, а, б).

Слой прогрева распространяется до глубины около 50 м. Температура с севера на юг постепенно падает с $4,3$ до $1^{\circ},5$, соленость же, напротив, увеличивается от 33,80 до 34,10‰. Минимум температуры располагается на горизонте 100 м, за исключением южных станций (у Южных Оркнейских островов, № 195—198). Здесь наблюдается мощный холодный слой с минимальными значениями на глубине 150 м. Изотерма 0° охватывает столб воды от 75 до 600 м. Вероятно, здесь происходит тот же процесс, что и на антарктическом шельфе, т. е. зимой при льдообразовании, связанном с ним повышении солености и, следовательно, плотности, холодные поверхностные массы спускаются по шельфу вниз.

Такую же картину мы наблюдаем на разрезе у о. Лори (группа Южных Оркнейских островов) (рис. 4, а, б), по северному и южному склонам которого нулевая изотерма спускается почти до 600 м, а на расстоянии уже менее 30 миль от острова отрицательные температуры ограничиваются снизу 200-метровой изобатой. Повышенная соленость вдоль склона, за исключением верхних 75 м, где летом происходит опреснение вследствие таяния льда, также подтверждает сказанное выше. Более глубокому опусканию зимой тяжелых поверхностных вод, что наблюдается на антарктическом шельфе, видимо препятствуют более тяжелые (более соленые) глубинные воды. Это видно по распределению условного удельного объема на разрезе у о. Лори. Для того чтобы произошел этот процесс, вероятно, необходимо более интенсивное льдообразование.

Разрез Фолклендские острова—Южные Оркнейские острова был выполнен с 27 по 30 января 1965 г. и состоит из 10 станций (№ 48—58), из которых 4 находятся до глубины 300 м, 4 — до 500 м и 2 — до 1000 м. Разрез пересекает море Скоттия с севера на юг и дает картину схождения субантарктической и антарктической поверхностных водных масс,

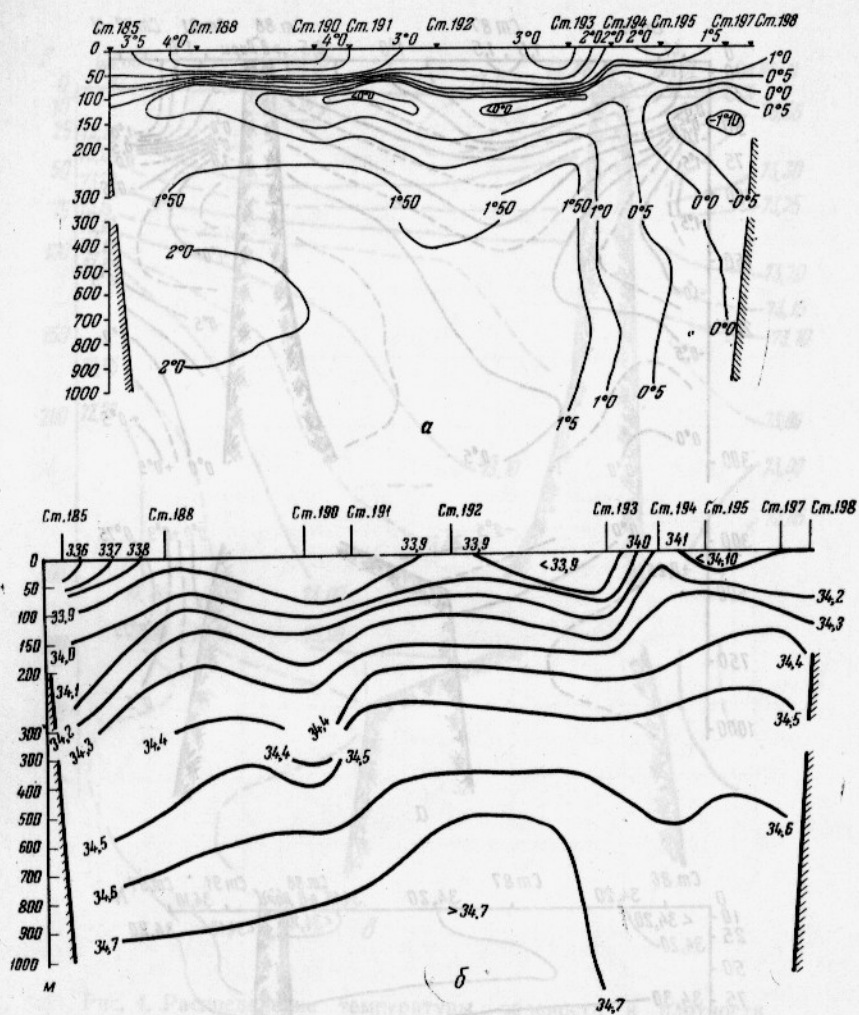
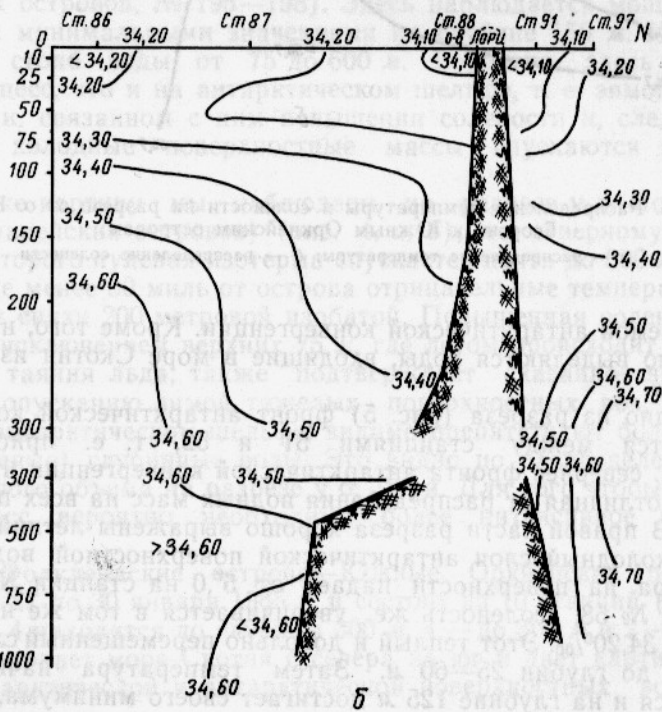
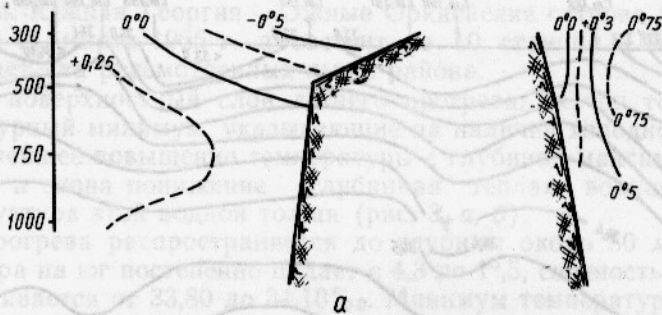
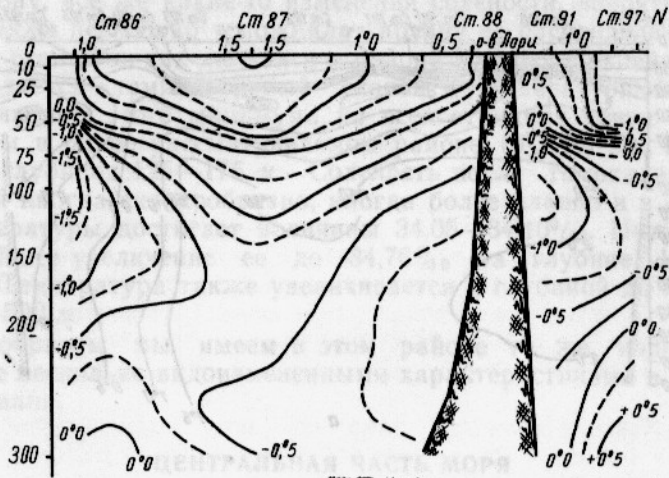


Рис. 3. Распределение температуры и солености на разрезе от о. Южная Георгия к Южным Оркнейским островам:
 а — распределение температуры; б — распределение солености

так называемой антарктической конвергенции. Кроме того, на этом разрезе хорошо выделяются воды, входящие в море Скотия из моря Беллингаузена.

Как видно из разреза (рис. 5) фронт антарктической конвергенции располагается между станциями 51 и 52, т. е. приблизительно на 56° ю. ш. севернее фронта антарктической конвергенции наблюдается структура, отличная от распределения водных масс на всех предыдущих станциях. В правой части разреза хорошо выражены летний прогретый и зимний холодный слой антарктической поверхностной водной массы. Температура на поверхности падает от $5^{\circ},0$ на станции № 52 до $1^{\circ},0$ на станции № 58, соленость же увеличивается в том же направлении от $33,90$ до $34,20$ ‰. Этот теплый и довольно перемещенный слой распространяется до глубин 25—60 м. Затем температура начинает резко уменьшаться и на глубине 125 м достигает своего минимума, после чего



б

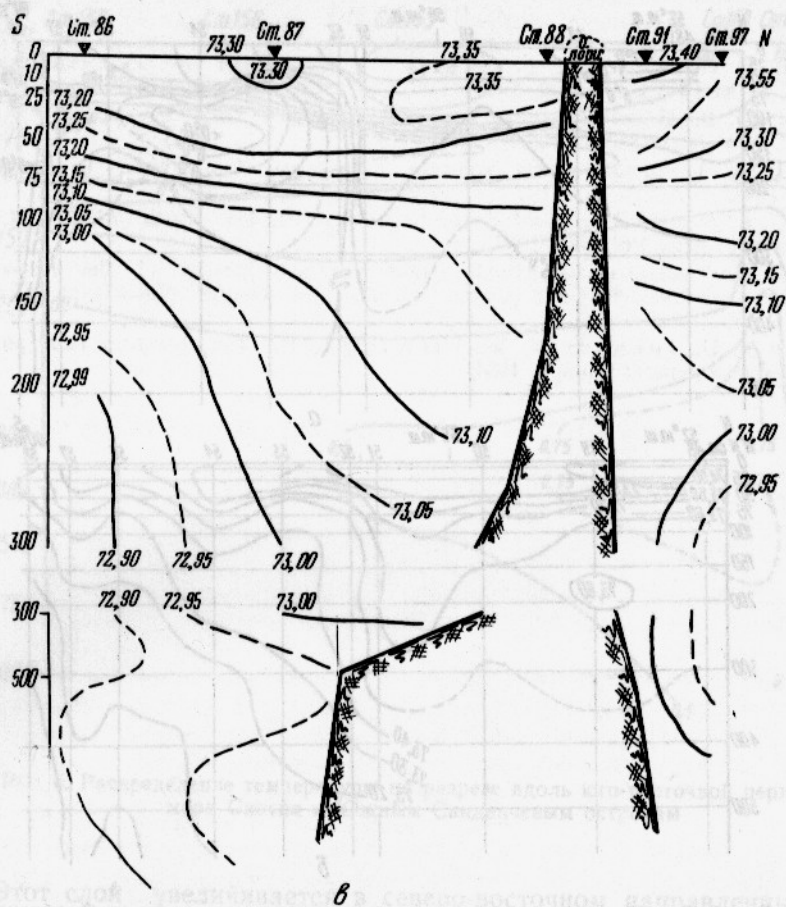


Рис. 4. Распределение температуры, солености и плотности на разрезе у о. Лори:

a — температура; *b* — соленость; *я* — плотность

снова увеличивается с глубиной. На станции № 54 при температуре $3^{\circ}48$ на поверхности в холодном слое она уменьшается до $-0^{\circ}40$. На других станциях температурный минимум не так глубок относительно поверхностной температуры.

Соленость в пределах этого слоя возрастает как с глубиной, так и в южном направлении. Так, если на станции № 53 на горизонтах 100 и 200 м она соответственно равна 34,00‰ и 34,15‰, то на станции № 58 она увеличивается до 34,30 и 34,43‰. Здесь, по всей вероятности, сказывается влияние более соленых вод моря Уэдделла, поступающих в море Скотия с юга.

Как было сказано, ниже этого холодного слоя температура снова начинает повышаться до своего максимума. Этот максимум не отражен на нашем разрезе, но по большой разряженности изотерм можно судить о наличии глубинного теплого слоя. Соленость также увеличивается до 34,5‰ и более (на юге).

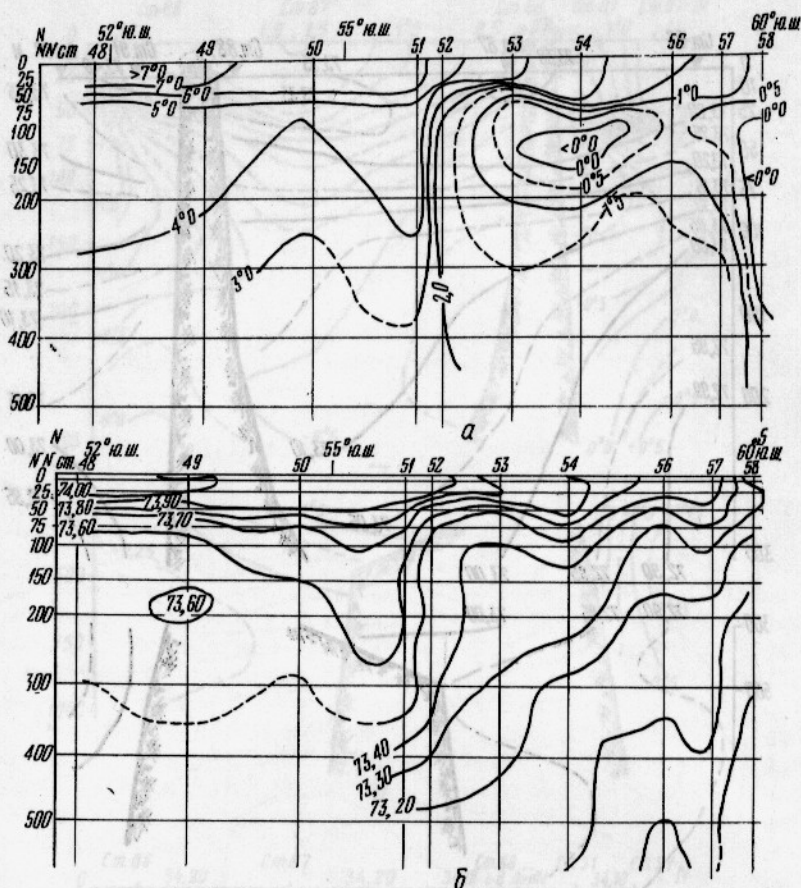


Рис. 5. Распределение температуры и плотности на разрезе от Фолклендских островов к Южным Оркнейским островам:

а — температура; б — плотность. (Соленость на этом разрезе см. в ст. Орадковского, Волковинского, Ткаченко, опубликованные в этом сборнике)

ВОСТОЧНАЯ ПЕРИФЕРИЯ МОРЯ

Этот разрез (рис. 6) был выполнен с 22 по 24 февраля 1965 г. и состоит из 6 станций (№ 156—162). 4 из них — до глубины 1000 м и 2 — до 500 м. Как на температурном, так и на соленостном разрезе довольно легко можно выделить те же три водные массы.

Поверхностный теплый и опресненный слой летнего прогрева. Температура здесь увеличивается по направлению к островам с $0^{\circ},5$ и в середине разреза (станция № 159) превышает $1^{\circ},5$, далее снова падает до 1° у Южных Сандвичевых островов. Соленость также увеличивается в том же направлении с 33,40 до 33,70‰.

Холодная зимняя вода характеризуется температурным минимумом. На разрезе она выражена сначала сгущением изолиний, а затем слоем низких температур (до $-1^{\circ},5$ в юго-западной части разреза). Нулевая изотерма снизу проходит на глубине немногим более 200 м. Соленость в пределах этого слоя увеличивается до 34,4—34,5‰ на горизонте 200 м.

Глубинная теплая вода, в которой температура постепенно повышается, достигая максимума на глубине 300—500 м, затем снова понижается.

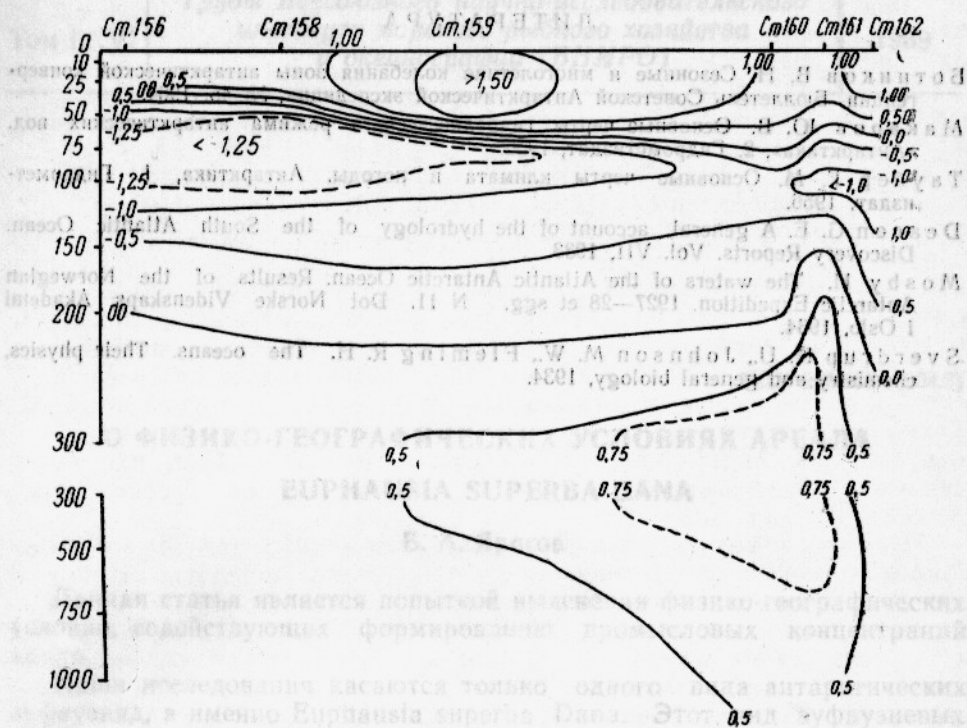


Рис. 6. Распределение температуры на разрезе вдоль юго-восточной периферии моря Скотия к Южным Сандвичевым островам

Этот слой увеличивается в северо-восточном направлении по толщине. В том же направлении растет и величина максимума температуры с $0^{\circ}4$ почти до 1° . Соленость в этом слое также увеличивается, достигая максимума на глубине около 750 м. Особенно велика соленость в северо-восточной части разреза ($34,7\text{‰}$).

ВЫВОДЫ

1. В море Скотия летом до глубины 1000 м наблюдается три слоя, значительно отличающиеся друг от друга по своим характеристикам: слой летнего прогрева (до 50 м) и зимний холодный остаточный слой (до 150—200 м), составляющие антарктическую поверхностную водную массу, и глубинная теплая водная масса (до 1000 м).

2. У Южных Оркнейских островов наблюдается мощный холодный слой, связанный, по-видимому, с опусканием по шельфу зимой холодных тяжелых вод, т. е. с процессом, аналогичным происходящему на антарктическом шельфе моря Уэдделла. Изотерма 0° опускается до глубины 600 м, в то время как уже в 30 милях от острова отрицательные температуры ограничиваются снизу 200-метровой изобатой (см. рис. 3, а, б; 4, а, б, в). У Южных Сандвичевых островов и у о. Южная Георгия подобный процесс не был обнаружен.

