

Том XLVIII	Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)	1963
Том L	Известия Тихоокеанского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО)	

О ВОДНЫХ МАССАХ И ТЕЧЕНИЯХ БЕРИНГОВА МОРЯ

В. Н. Натаров

ТИНРО

Берингово море относится к типичным окраинным морям и является крупнейшим из наших дальневосточных морей. Его площадь несколько меньше площади Японского и Охотского морей вместе взятых. Закономерности формирования гидрологического режима этого моря недостаточно изучены. Гидрологический режим западной части моря исследовался экспедициями судна «Витязь», северная часть моря — судами Главсевморпути, а центральная, южная и восточная части моря изучены очень незначительно, хотя в 1955, 1956 г. Институтом океанологии АН СССР совместно с различными организациями дальневосточной рыбной промышленности были организованы экспедиции в центральную часть Берингова моря.

Развивающийся рыбный промысел и проводившиеся рыбопоисковые работы требовали более детальных сведений о гидрологических условиях различных районов моря. Особенно это относилось к восточной части моря с ее обширными мелководьями, где предполагались значительные промысловые скопления рыб. В связи с рыбопромысловым освоением целинных районов в восточной части Берингова моря с 1958 г. началось широкое комплексное изучение гидрологического режима Берингова моря. Была специально организована Берингоморская научно-промысловая экспедиция ТИНРО — ВНИРО, исследовавшая практически почти всю акваторию моря.

Наибольшее внимание уделялось районам моря, имеющим промысловое значение, в первую очередь его восточной части. Одновременно в 1958 и 1959 г. проводились исследования по программе Международного геофизического года и года Международного геофизического сотрудничества. В Беринговом море эти работы в своей гидрологической части были возложены на ТИНРО.

Размах работ Берингоморской экспедиции ТИНРО — ВНИРО значительно превысил предполагаемый объем работ по программе МГГ — МГС.

Результаты целого ряда рейсов, выполненных на судах Дальневосточной перспективной промысловой разведки ТИНРО («Жемчуг», «Алазея», «Первенец», «Огонь» и др.), позволили установить законо-

мерности гидрологического режима моря, особенно в его малоизученной восточной части, в течение почти всего года.

Кроме того, были выполнены зимние океанографические работы по всей акватории моря, свободной от сплошного льда, проходившие в труднейших гидрометеорологических условиях на малотоннажных научно-исследовательских судах типа «логгер». Такие исследования по всей акватории в один сезон проводились впервые. В результате этих исследований наши знания о гидрологическом режиме моря в целом и особенно его восточной части, где сейчас наш промысловый флот ведет добычу рыбы, возросли.

Однако ряд районов моря изучен еще очень слабо. В первую очередь это относится к приалеутскому району и проливам, имеющим большое значение для китобойного промысла. Количество исследований, выполненных в проливах Алеутской гряды, недостаточно для решения таких важнейших вопросов формирования гидрологического режима, как водообмен и его изменчивость.

Настоящая работа написана в основном по материалам исследований Берингоморской научно-промысловой экспедиции и касается лишь некоторых основных черт гидрологического режима Берингова моря, полученных как часть результатов обработки этих материалов в лаборатории промысловой океанографии ТИНРО.

Одним из наименее изученных вопросов гидрологии Берингова моря является вопрос о течениях. Даже в системе поверхностной циркуляции, не говоря о глубинной, еще много неясного.

Наиболее известны схемы течений Берингова моря, составленные Шульцем, Ратмановым, Леоновым и в последнее время Добровольским и Арсеньевым. Хотя большинство этих схем было составлено по косвенным признакам, они, видимо, довольно правильно отражают общий средний перенос вод моря. Наиболее полной сводной картой средних течений является схема, предложенная Добровольским и Арсеньевым; в ней авторы использовали большое количество новых экспедиционных данных, обработанных при помощи динамического метода. При этом данные различных экспедиций, как указывают авторы, взаимно дополняют друг друга. При больших расхождениях отдавалось предпочтение наиболее полным летним картам, составленным по данным исследований «Витязя» (1950 г.) и «Нерпы» (1956 г.).

Одним из недостатков этой схемы, неизбежным при составлении средних карт, является, то, что авторы использовали материалы для различных частей моря за различные годы и не за один сезон, что определялось недостатком материала.

Наблюдения, проведенные во время Берингоморской экспедиции на СРТ «Первенец» и особенно в 1958, 1959 (для летнего периода) и в 1961 г. (для зимнего периода), охватившие в один сезон почти всю акваторию моря, позволили построить карты течений, наблюдавшихся в этот период.

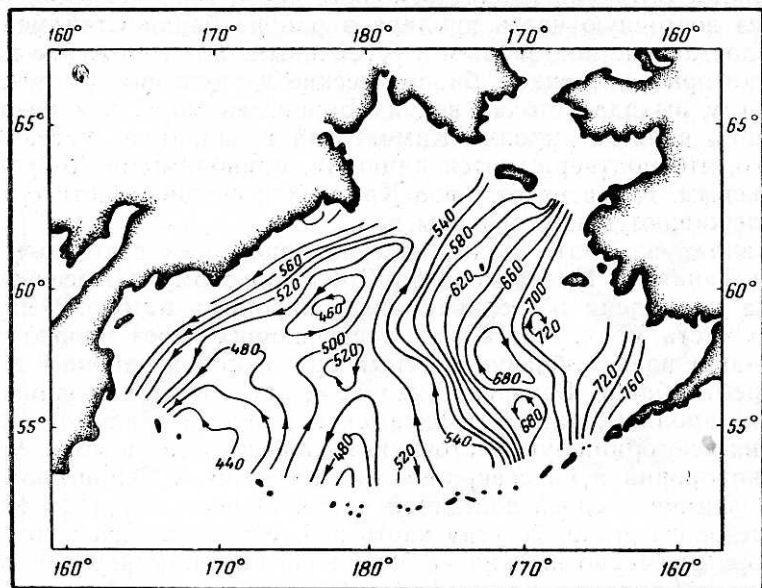
Вычисление элементов течений проводилось при помощи динамического метода. За нулевой горизонт была принята отсчетная поверхность 1000 м, что подтверждается расчетами, выполненными по методике, изложенной в работе Н. Н. Зубова и О. И. Мамаева.

Искажающее влияние внутренних приливных волн исключалось по способу, предложенному Дефантом.

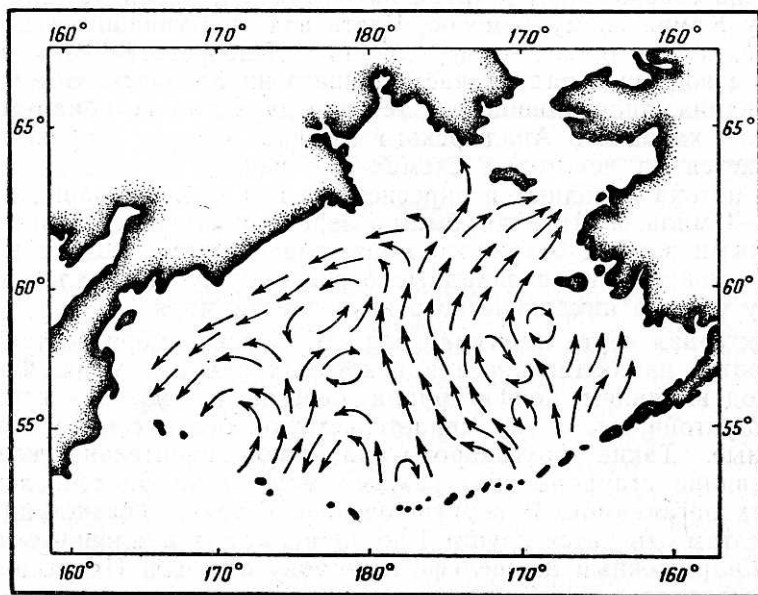
Построенные карты, безусловно, отражают недостатки данных самих наблюдений, к которым в первую очередь относится их асинхронность. Однако построение карты по данным наблюдений одного сезона одного конкретного года вполне приемлемо. Для уточнения картины летнего сезона 1959 г. использованы данные японской экспедиции на «Oshogotagi», проводившейся в основном в центре и на западе моря почти одновременно с экспедицией на экспедиционном судне СРТ Первенец».

Карты по зал. Анадырь и Нортон-Саунд не составлялись, так как достаточно полных работ там не проводилось.

В результате обработки получены карты течений (рис. 1 А, Б) поверхностного слоя моря в летний период.



А



Б

Рис. 1. Данные экспедиции летом 1959 г:
А — динамическая карта поверхности моря относительно 1000 дб;
Б — схема циркуляции вод на поверхности.

В Беринговом море существует общий циклонический круговорот вод.

Наблюдения показали, что основная часть вод, поступающих из Тихого океана, проходит через многочисленные проливы восточной части Алеутской гряды (Амчитка, Танага, Амухта, Сигуам, Унимак и др.)

между о-вами Крысьими, Андреяновскими и Лисьими. В 1959 г., как и в 1958, наблюдался незначительный вток вод из океана через самую восточную часть пролива Ближний (между о. Медный и о. Атту). Видимо, нужно признать ошибочным существовавшее мнение о том, что через пролив Ближний входит основная часть тихоокеанских вод. Вток вод через восточную часть пролива в районе банки Стейлмейт можно считать достаточно постоянным и устойчивым. Это положение подтверждают некоторые косвенные биологические и грунтовые данные. Основным местом выхода (стока) вод из Берингова моря, как показали исследования, является пролив Камчатский и западная часть пролива Ближнего, что подтверждается данными, приводимыми Добровольским и Арсеньевым. К северу от о-вов Крысьих и средней части о-вов Лисьих прослеживаются круговороты вод.

Как видно на карте, воды, поступающие через восточные проливы (течения Танага и Поперечное по Добровольскому и Арсеньеву), примерно на параллели 55° сливаются и широким потоком пересекают среднюю часть моря. Часть вод, поступающих через пролив Амчитка, поворачивает влево, образуя местный круговорот в районе к юго-востоку от хребта банки Бауэrsa. Тихоокеанские воды, входящие через восточные проливы, распространяются к северу и к югу от о-вов Прибылова на всю обширную восточную шельфовую часть моря. Часть вод, плавно поворачивая на северо-восток, движется к Беринговому проливу, присоединяя к своей восточной части опресненные воды значительного берегового стока. Другая часть вод, соединившись в центральной части моря примерно на широте 58° с водами, поступившими через восточную часть пролива Ближнего, поворачивает в районе м. Наварин сначала на северо-запад и затем на юго-запад, давая начало мощному сточному Камчатскому течению. Часть вод, поступивших через пролив Ближний, поворачивает влево, сливаясь непосредственно к северу от пролива с водами западной части общего циклонического круговорота. Исследования, проводившиеся в течение двух лет, не обнаружили значительного холодного Анадырского течения, которое широкой полосой показывается на некоторых схемах как начало Камчатского течения. Ширина потока холодных и опресненных вод у м. Наварин не превышала 2—4 миль, и эти воды быстро перемещались с значительно более теплыми водами открытого моря, подходящими сюда с юга. Камчатское течение, огибая западные берега моря, замыкало западную половину общего циклонического круговорота моря.

Характерная черта динамики вод Берингова моря — значительные круговороты, наблюдающиеся в некоторых районах моря. Формирующиеся под влиянием конфигурации берегов и дна, эти круговороты довольно устойчивы, о чем свидетельствуют бентические и геологические данные. Такие круговороты оказывают значительное влияние на формирование стационарного режима моря и на распределение промысловых организмов. В первую очередь к таким квазистационарным круговоротам относится крупный по площади антициклонический круговорот, обнаруженный на шельфе к востоку от о-вов Прибылова, который наблюдался в летнее время непрерывно в течение трех лет, хотя его интенсивность значительно колеблется.

Кроме него известны довольно устойчивые круговороты к юго-западу от о-ва Св. Лаврентия, в западной части Анадырского и Олюторского заливов и в районе излучины Корякского берега. Эти круговороты могут менять свое положение и свою интенсивность, а в некоторые годы и вообще не образовываться.

Кроме таких прибрежных круговоротов, в глубоководной части моря также формируются круговороты. Существование и устойчивость их поддерживается расположением основных потоков вод Берингова моря. Надо сказать, что данные различных авторов говорят о большой измен-

чивости не только их интенсивности, но и положения. Следовательно, в течениях Берингова моря наблюдаются не только значительные отклонения по сезонам в течение года, но и значительные отклонения от среднемноголетней схемы циркуляции вод, которые могут складываться под влиянием конкретной обстановки, формирующейся в данном году в общей динамике океана и общей циркуляции атмосферы. В связи с этим интересно обратить внимание на замеченную связь интенсивности холодного пятна на шельфе о-вов Прибылова с интенсивностью атмосферной циркуляции в индексах Н. А. Белинского (по данным ЦИПа ГУГМС). Так, в летний период 1958 г. холодное шельфовое

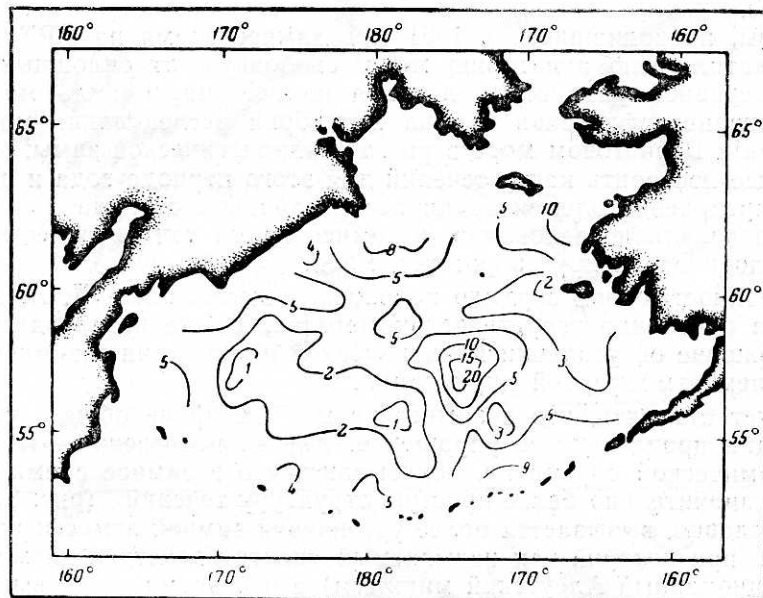


Рис. 2. Распределение скоростей течений (в см/сек) на поверхности летом 1959 г.

пятно к востоку от о-вов Прибылова занимало меньшую площадь и имело более высокие абсолютные значения температуры, чем в 1959 г. за тот же период. Связывая существование этого пятна с динамикой вод (круговоротом) и интенсивностью перемешивания, можно утверждать, что в годы с повышенной интенсивностью атмосферной циркуляции и ярко выраженной циклоничностью фрикционное перемешивание проникает глубже, что способствует раннему размыванию холодного пятна. В такие годы холодное пятно характеризуется относительно уменьшенными размерами и повышенной температурой. Это подтверждается данными наблюдений за придонной температурой на шельфе и подсчитанными суммами индексов атмосферной циркуляции за май—август 1958 и 1959 г. (1958 г. — плюс 1638, 1959 г. — минус 363)*.

Приводимые скорости морских течений получены для поверхности по результатам динамической обработки (рис. 2). Наибольшие скорости наблюдаются в районе Алеутских о-вов, особенно в восточной их части, где они равны 7—9 см/сек.

Очень неравномерное распределение скоростей наблюдается вдоль материкового склона. В среднем они здесь значительно выше, чем в соседних частях моря, и достигают до 15—20 см/сек в средней части склона

* Плюс относится здесь к циклонической циркуляции, минус — к антициклональному типу циркуляции.

и 5—8 см/сек в северной его части. Такое неравномерное и сложное распределение скоростей в районе материкового склона (свала глубин) говорит о значительно развитой здесь динамике вод, обусловленной сложным рельефом, которым характеризуется этот район.

В центральной части скорости уменьшены (до 2 см/сек), также уменьшены скорости на шельфе, особенно в районе круговорота. По мере приближения к азиатскому берегу в струе западной периферии общего циклонического круговорота скорости течения опять возрастают до 5—6 см/сек. Также возрастают скорости на северо-востоке моря по мере приближения к проливу между о-вом Св. Лаврентия и берегами Аляски, что, видимо, объясняется уменьшением живого сечения в проливе.

Работы, проводившиеся в 1961 г. в зимнее время на СРТ «Первенец», охватили всю акваторию моря, свободную от сплошных льдов, причем основной упор опять делался на восточную часть моря. Это первая океанографическая съемка в истории исследования моря, выполненная в Беринговом море в разгар гидрологической зимы, позволила впервые построить карту течений для этого периода года и дала общее распределение элементов по всей свободной от льда части моря.

Как показали исследования, в зимнее время также существует общий циклонический круговорот вод моря.

Это полностью подтвердило положение, высказанное Д. А. Дрогайцевым на основании теоретических методов. Также подтвердилось его предположение об усилении циклонической циркуляции в зимнее время с усилением атмосферной циркуляции.

Следует отметить, что в зимнее время на фоне общего усиления циркуляции происходит ее упрощение. Карты, построенные на основании динамической обработки, показывают, что в зимнее время мы наблюдаем значительно более простую структуру течений (рис. 3, А, Б), что, безусловно, вызывается более устойчивой зимней атмосферной циркуляцией, при которой так называемый «центр действия атмосферы» (полустационарный Алеутский минимум) в это время четко выражен и имеет наибольшее развитие.

Зимой, как и в летнее время, основной вток тихоокеанских вод наблюдается через восточные проливы Алеутских о-вов.

Тихоокеанские воды, распространяясь через центральную часть моря, пересекают его в северо-западном направлении, постепенно поворачивая на юго-запад и замыкая таким образом общий круговорот вод моря.

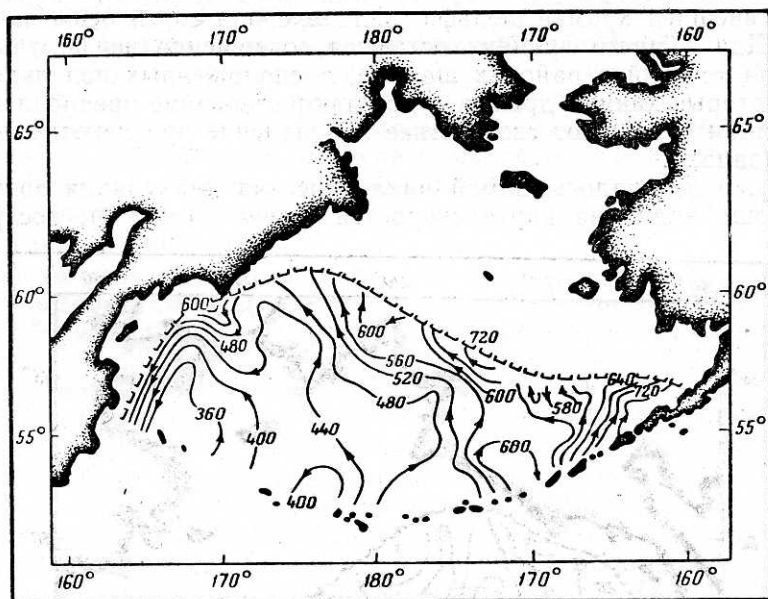
Сток вод происходит в основном через западную часть Камчатского пролива.

Через пролив Ближний поток вод был также уменьшен, это хорошо видно по очень разреженным динамическим горизонталям. При этом воды, проходящие через этот пролив, в отличие от лета не пересекают центральную часть моря, а непосредственно к северу от него поворачивают влево и соединяются с западной периферией общего циклонического круговорота, причем значительная их часть вытекает через восточную часть Камчатского пролива. Важно отметить, что в зимнее время не наблюдается значительного втока тихоокеанских вод в средней части шельфа. Общий поток огибает его, следуя вдоль внешней кромки шельфа, что, безусловно, вызвано тем, что ветры северных румбов часто повторяются. Однако необходимо отметить, что в данном году не было сильного заледенения и экспедиционное судно «Первенец» смогло подняться почти до 61° с. ш. в разгар зимы, что ранее считалось невозможным.

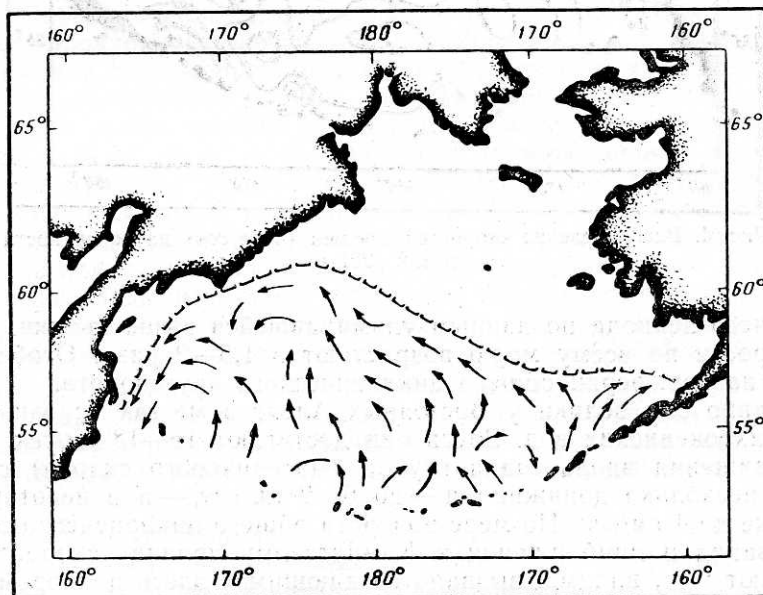
Следовательно, влияние потоков течений на образование льдов значительно, если исключить влияние мелководья, способствующего

охлаждению вод в его прибрежных частях, особенно в зоне обширного восточного шельфа.

К северу от Крысыих и Андриановских о-вов наблюдались местные круговороты, аналогичные летним.



А



Б

Рис. 3. Данные экспедиции зимой 1961 г:

А — динамическая карта поверхности моря относительно 1000 *дб*;

Б — схема циркуляции вод на поверхности.

Тихоокеанские воды распространяются на прибыловский шельф через самые восточные проливы Лисьих о-вов, такие как Умнак, Уни-мак и др.

Здесь течение идет вдоль берегов п-ова Аляска в общем направлении на северо-восток, а часть его поворачивает вдоль свала глубин

(склона). Такое распространение течения влияет на образование здесь зимних скоплений камбал и крабов. Поворот течения, видимо, вызван влиянием рельефа дна при усиленном входе Аляскинского теплового течения, идущего вдоль внешней кромки Алеут и проходящего указанные проливы. Важную роль играет пологая, но четко выраженная ложбина на внешней кромке шельфа, направленная своей осью на северо-восток. Для зимнего времени остаются совершенно неизвестными направления течений в районах шельфа, расположенных под льдом. Однако некоторые данные дрейфа судов дают основание предполагать, что они в общем сохраняют свое летнее направление при некотором отклонении к западу.

Как уже отмечалось, зимой циклоническая циркуляция возрастает. Это хорошо видно на карте скоростей течений (рис. 4), построенной

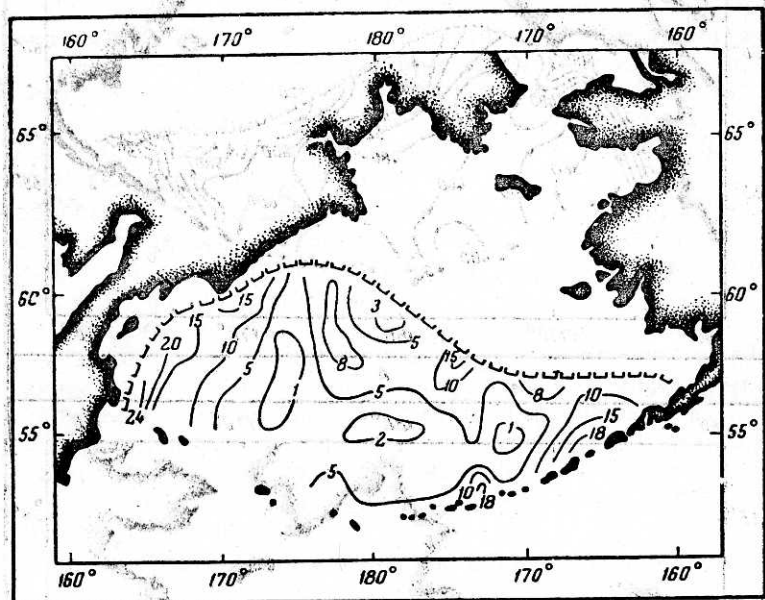


Рис. 4. Распределение скоростей течений (в *см/сек*) на поверхности зимой 1961 г.

для зимнего периода по данным упоминавшейся выше съемки. В среднем скорости по всему морю возрастают в 1,5—2 раза. Особенно это заметно по периферии общего циклонического круговорота.

Особенно они велики у Восточных Алеут в местах основных вторжений тихоокеанских вод. Здесь они достигают 16—18 *см/сек*. По мере продвижения вдоль свала глубин (материкового склона) скорости течения несколько понижаются — до 6—9 *см/сек*, — а в некоторых местах даже до 4 *см/сек*. По мере поворота общего циклонического потока на юго-запад и приближения к Камчатскому проливу скорости резко возрастают, что, видимо, вызвано создающимся здесь подпором. Вдоль материкового склона и в зимнее время заметна сложная пятнистая структура скоростей, обусловленных, как и летом, воздействием сложного рельефа на гидродинамические процессы, создающая здесь макротурбулентность. В центральной части моря скорости малы и горизонтальный их градиент значительно уменьшен.

В заключение надо сказать, что самым сложным вопросом динамики течений остается вопрос о существовании и закономерностях формирования мелких круговоротов, особенно в глубоководной зоне моря. Имеющиеся данные показывают, что их существование иногда бывает недолговечно, что говорит о развитии макротурбулентности и вихревой

структуре потоков. Не изучен также еще и вопрос о течениях непосредственно в проливах. До сих пор мы располагаем очень редкими разрезами в некоторых проливах, что не дает пока возможности детально решить этот вопрос по каждому проливу (хотя бы по самым основным) и приходится говорить о целых районах Алеутской гряды, играющих ту или иную роль в водообмене.

Переходя к водным массам Берингова моря, необходимо отметить, что хотя динамика морских течений является одним из важнейших факторов формирования и распределения водных масс, не менее важную роль играют как общие климатические факторы, так и местные факторы, складывающиеся в определенном районе, где могут формироваться водные массы. Кроме того, необходимо отметить, что изменчивость всей совокупности физико-географических условий определяет и трансформацию водных масс.

Термин «водная масса» мы понимаем в определении А. Д. Добровольского: «Водной массой следует называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана — очаге, источнике этой массы — обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющий единый комплекс и распространяющийся как единое целое».

Океан является основным источником водных масс.

Однако в локальных районах могут складываться свои местные характерные факторы, определяющими из которых являются течения, рельеф дна, материковый сток и тепловой баланс, благодаря действию которых формируются свои локальные водные массы. Как показали поисковые работы и практика добывающего флота, это обстоятельство имеет большое значение для распределения промысловых скоплений рыб и формирования биологической продуктивности по районам моря.

В целом для Берингова моря в его глубоководной части характерна субарктическая структура водных масс, которая характеризуется наличием в летнее время четырех типов водных масс: поверхностные (толщина слоя от 0 до 50 м), воды холодного промежуточного слоя (от 50 до 150—200 м), воды теплого промежуточного слоя (от 200 до 600—800 м) и глубинные воды, нижней границей которых является дно моря. В зимний период эта структура представлена тремя водными массами, так как благодаря зимнему конвективному перемешиванию прогретые поверхностные воды исчезают, образуется единый однородный слой от поверхности до нижней границы зимней вертикальной циркуляции, летним остатком которой является холодный промежуточный слой.

Теплый промежуточный слой формируется пассивно, сохраняя общность вод, над которыми происходят основные сезонные изменения. Именно поэтому верхняя его граница выражена довольно четко, а нижняя расплывчата, и здесь наблюдается очень плавный ход характеристик.

В летний период толщина поверхностного слоя в открытой части моря довольно велика, что вызвано значительной штормовой деятельностью и возможностью развития здесь крупного волнения.

Как говорилось, в различных районах моря мы наблюдаем некоторые разновидности этой основной структуры, которые значительно меняются по сезонам. Эти различия хорошо прослеживаются при помощи метода TS-кривых.

Вариации значений зимних термохалин и глубин характеризуются TS-кривыми станций, выполненных в холодную половину года в конце периода зимнего охлаждения.

В зимний период для структуры вод характерно наличие трех слоев (водных масс).

Такое строение вод прослеживается по всей глубоководной половине моря.

Важнейшей чертой этого распределения является глубина проникновения зимней вертикальной циркуляции. Как и следовало ожидать, в западной половине моря она достигает наибольших величин (в среднем до 150—175 м) как следствие близости к холодному Азиатскому материку и удаленности от проливов, через которые поступают теплые тихоокеанские воды.

Здесь же мы наблюдаем наиболее резкий перепад температур по границе слоя, охваченного конвекцией. Типичной TS-кривой для этой

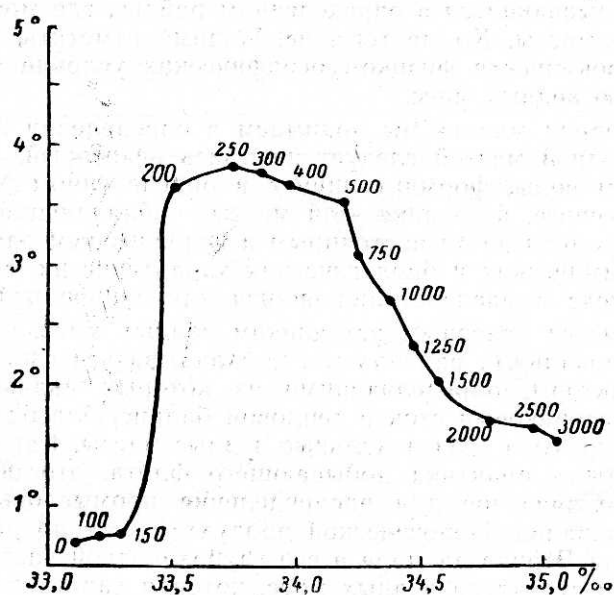


Рис. 5. TS-кривая ст. 47, 18/III 1961 г. (зимний период, западная часть глубоководной котловины моря).

части моря является TS-кривая ст. № 47, выполненной 18 марта 1961 г. (рис. 5).

По мере продвижения к северо-западу глубина нижней границы зимней вертикальной циркуляции возрастает до 200—250 м (у Олюторского зал.). В центральной части моря характер формы TS-кривой остается таким же, однако вертикальный градиент значительно уменьшается и температура поверхностных слоев значительно повышается (ст. 41, 17 марта 1961 г.) (рис. 6).

Другой характер TS-кривой мы наблюдаем у станции в восточной половине южной части глубоководной части моря. Здесь вследствие притока мало трансформированных тихоокеанских вод наблюдаются более повышенные температуры при значительно плавном ходе TS-кривой. Этот тип представлен на рис. 7 TS-кривой ст. 22, 11 марта 1961 г.

Нижняя граница слоя конвективного перемешивания здесь почти не выражена и вертикальные градиенты малы.

По мере приближения к восточноберингоморскому шельфу, особенно в его средней части, на фоне довольно высоких температур вследствие значительного влияния тихоокеанских вод снова формируется четко выраженный поверхностный слой, охваченный зимней вертикальной циркуляцией. На рис. 8 он представлен TS-кривой ст. 95, 2 апреля 1962 г., что вызывается более суровыми климатическими условиями, складывающимися в этом районе.

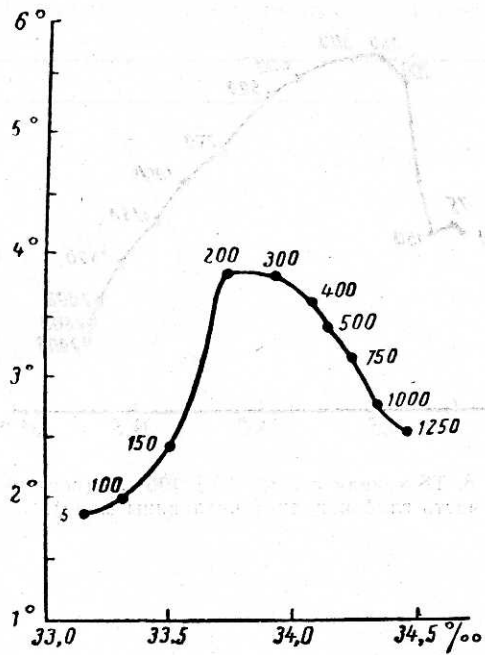


Рис. 6. TS-кривая ст. 41, 17/III 1961 г. (зимний период, центральная часть глубоководной котловины моря).

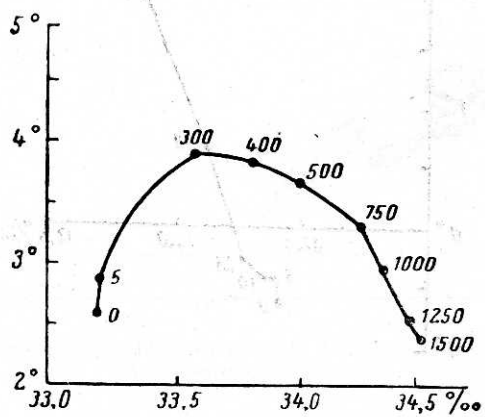


Рис. 7. TS-кривая ст. 22, 11/III 1961 г. (зимний период, юго-восточная часть глубоководной котловины моря).

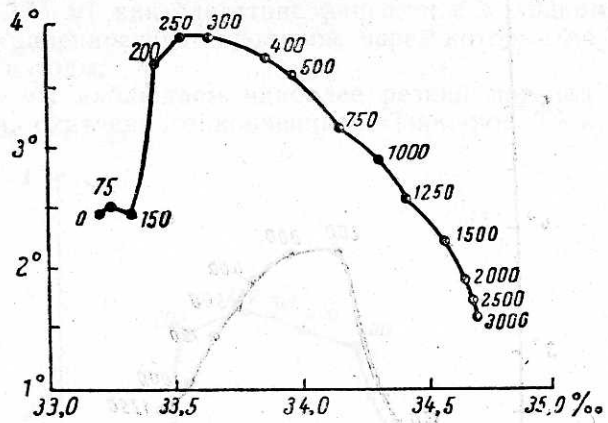


Рис. 8. TS-кривая ст. 95, 2/VI 1961 г. (восточная часть глубоководной котловины моря).

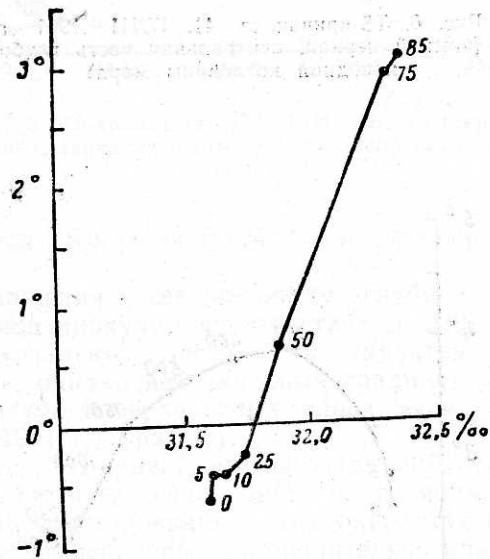


Рис. 9. TS-кривая ст. 112, 8/IV 1961 г. (шельфовый район восточной части Берингова моря).

Наконец, на шельфе, где глубина конвективного перемешивания доходит до дна, распределение термохалинных характеристик имеет вид, представленный TS-кривой ст. 112 (рис. 9). По мере продвижения к востоку на шельфе ход TS-кривых еще более упрощается и в случае полного перемешивания они вырождаются в точку. Полное пере-

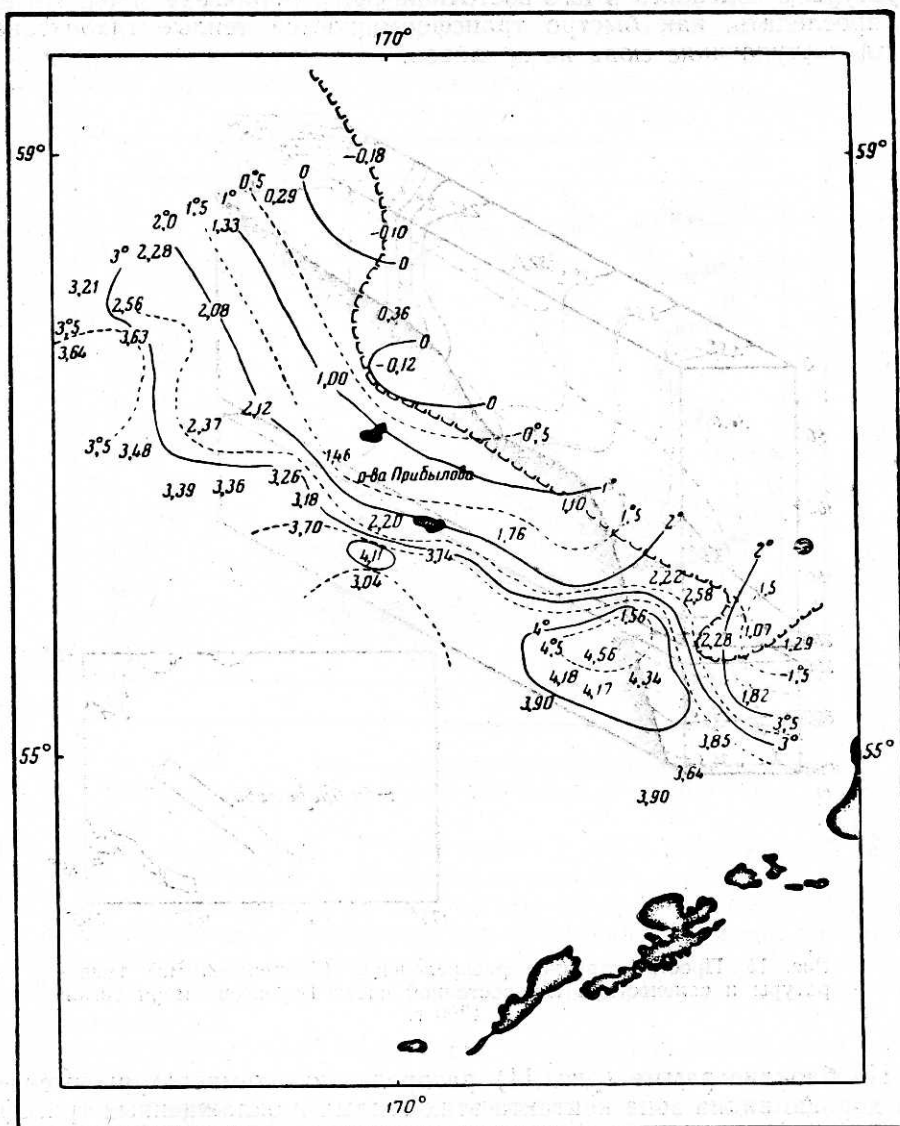


Рис. 10. Распределение придонной температуры в юго-восточной части Берингова моря зимой 1959 г.

мешивание обычно наблюдается уже на глубине около 60—50 м и дальше на восток идет только общее падение температуры, достигающей уже в 15—20 милях за кромкой льдов минус 1,5°.

Этот район в зимнее время представляет собой наибольший интерес для рыбной промышленности. Здесь вследствие проникновения ветви теплого океанического течения и его быстрого охлаждения по мере уменьшения глубины на шельфе и удаления от проливов создается район повышенных горизонтальных градиентов температур — своего

рода придонная фронтальная зона. И именно ее положение на шельфе и проникновение сюда теплых вод создают условия для образования плотных зимних скоплений камбал и крабов, так как остальные площади обширного мелководья заняты охлажденными до отрицательных температур водами. На рис. 10 показано придонное распределение температуры и солености в юго-восточной части Берингова моря. Интересно проследить, как быстро трансформируются теплые тихоокеанские воды, поступающие сюда из проливов.

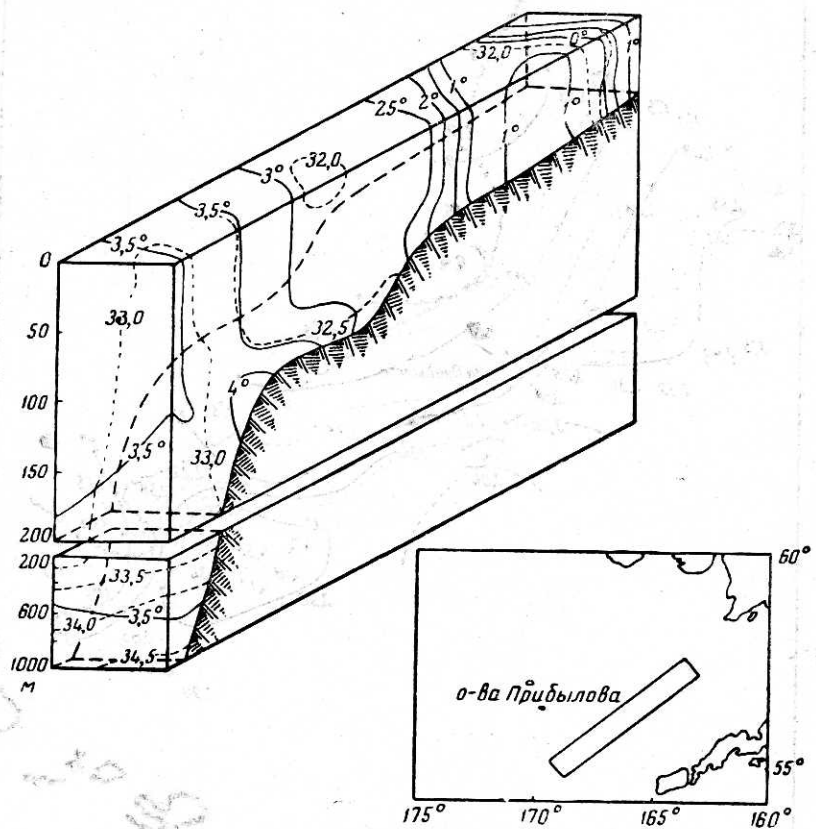


Рис. 11. Пространственное распределение (блокдиаграмма) температуры и солености в юго-восточной части Берингова моря зимой 1960 г.

На блокдиаграмме (рис. 11) распределения температуры и солености хорошо видна зона контакта этих теплых и охлажденных трансформировавшихся вод.

Таким образом, важной характеристикой гидрологического режима в зимнее время является глубина проникновения зимнего конвективного перемешивания и температура воды на нижней границе этого слоя.

При рассмотрении этих характеристик (рис. 12) прослеживается их связь не только с климатическими, но и чисто динамическими данными.

Так, в местах максимального втока теплых тихоокеанских вод нижняя граница конвективного слоя выражена очень слабо и здесь наблюдается плавный вертикальный ход гидрологических элементов.

Максимальное заглубление нижней границы конвекции наблюдается на северо-западе моря, что, по нашему мнению, вызвано не только чисто климатическими факторами, но и сползанием тяжелых охлажденных вод вниз по материковому склону.

По всей периферии общего циклонического кольца течений, где наблюдаются повышенные скорости течения, нижняя граница слоя конвекции несколько заглубляется благодаря турбулентному перемешиванию, которое способствует более глубокому проникновению зимнего охлаждения. Это охлаждение играет огромную роль в формировании биологической продуктивности моря в целом путем обогащения поверхностных слоев биогенами и глубинных вод кислородом.

Наиболее четко эта четырехслойная структура водных масс представлена в западной и северной глубоководных частях моря, где сезонное изменение характеристик вод наиболее велико.

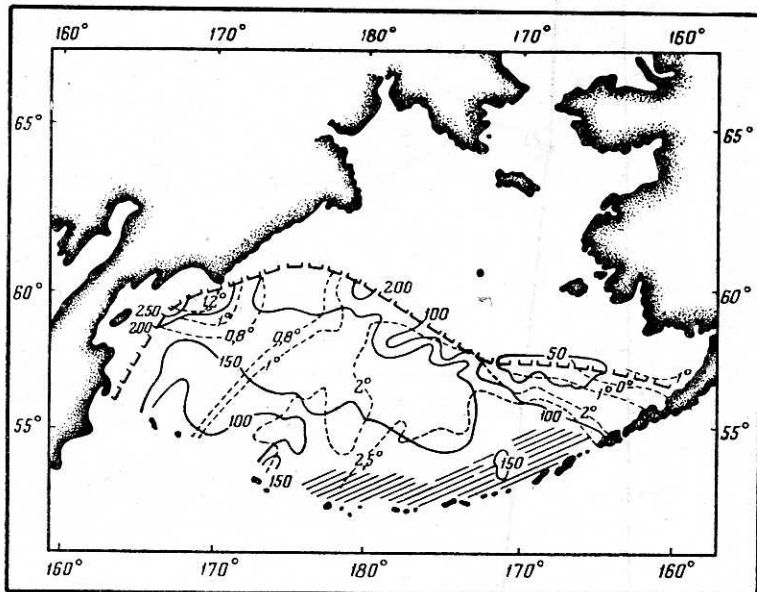


Рис. 12. Глубина слоя конвекции зимой 1961 г. и значение температуры воды на нижней границе этого слоя (— —50— —).

На рис. 13 представлена TS-диаграмма ст. 257, выполненной также экспедицией на «Первенце», характерная для этих районов.

На ней хорошо прослеживаются четыре водные массы и распределение их термохалинных характеристик по глубине. По мере продвижения к юго-востоку — к Алеутским проливам, которые мы характеризовали как места наибольшего поступления вод, структура вод начинает постепенно меняться.

Если в северной, северо-западной и центральной частях моря четко прослеживается холодный промежуточный слой, обязанный своим происхождением зимней вертикальной циркуляции и последующему летнему прогреву, то по мере приближения к юго-восточной части моря наблюдается общий рост температуры и на этом фоне идет уменьшение вертикальных градиентов между промежуточными водными массами и постепенное выравнивание их термохалинных характеристик. На рис. 14, где приводится TS-кривая ст. 249, выполненной 10 сентября 1959 г. в центральной части моря, еще четко прослеживаются все четыре основные водные массы, но характеристики и их градиенты по глубине значительно сглажены.

В местах втока тихоокеанских вод, не подвергшихся значительному охлаждению, такое постепенное изменение характеристик водных масс приводит к тому, что здесь мы встречаемся с водами качественно иной структуры — структуры умеренных широт. Она характеризуется нали-

нием поверхностной прогретой водной массы и довольно плавным изменением характеристик с глубиной (рис. 15). Правда необходимо отметить, что такое распределение характеристик с глубиной встречается только летом недалеко от мест входа тихоокеанских вод.

Холодный промежуточный слой в глубоководной котловине южной части Берингова моря присутствует повсеместно, но благодаря переме-

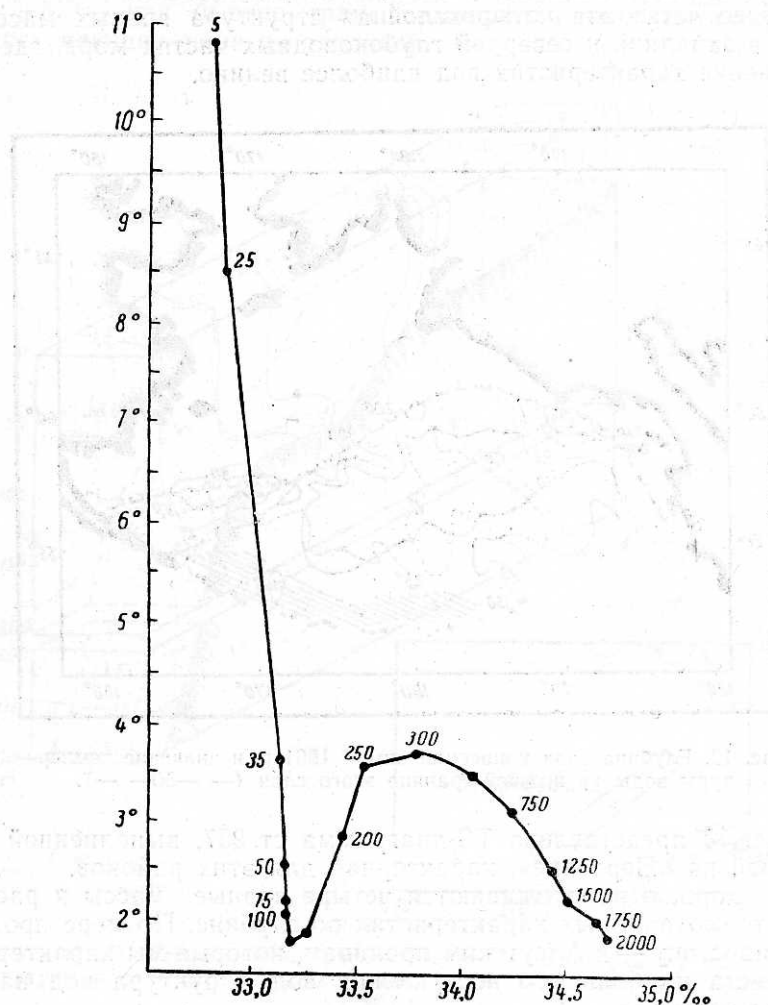


Рис. 13. TS-кривая ст. 257, 22/IX 1959 г. (летний период, западная часть глубоководной котловины моря).

шиванию может не сохраняться всю теплую половину года, а прослеживается лишь весной, исчезая под влиянием прогрева и перемешивания, а также значительной адвекции теплых тихоокеанских вод; однако его следы можно заметить по небольшому скачку солености и кислорода на нижней границе слоя конвекции.

Наибольшей сезонной трансформации подвергаются воды шельфа, причем летом здесь создается свое характерное распределение гидрологических элементов. В местах сильного проникновения тихоокеанских вод на шельф мы встречаем воды, характеризующиеся очень плавным падением гидрологических характеристик ниже слоя летнего прогрева. Такое распределение прослеживается на шельфе повсеместно, где про-

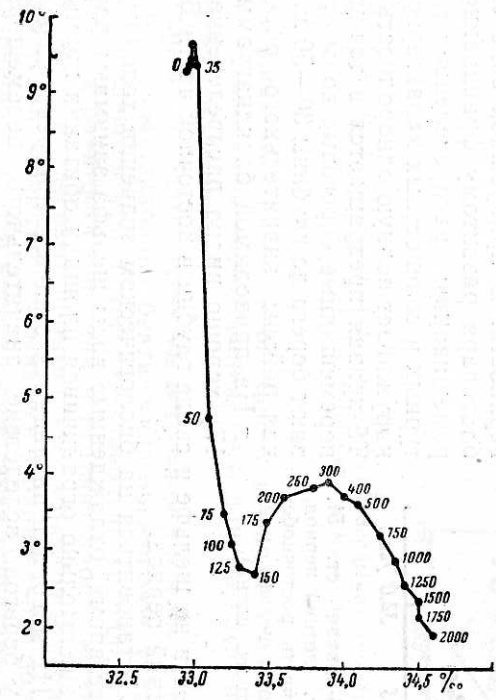


Рис. 14. TS-кривая ст. 249, 10/IX 1959 г. (летний период, центральная часть глубоководной котловины моря).

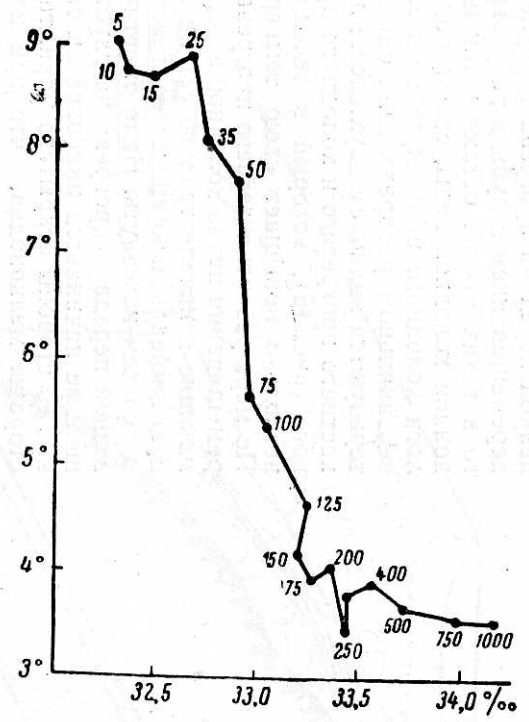


Рис. 15. TS-кривая ст. 183, 5/IX 1959 г. (летний период года, юго-восточная часть глубоководной котловины моря).

исходит быстрый прогрев вод не только благодаря радиационному нагреванию, но и в основном благодаря распространению теплых тихоокеанских вод.

Выше мы говорили, что характерной чертой динамики вод Берингова моря является наличие значительных круговоротов. Из-за уменьшения скоростей течения от периферии к центру круговорота в нем создаются своеобразные условия более замедленной передачи прогрева турбулентным перемешиванием вглубь, в результате чего в таких местах остаются линзы придонной холодной воды, своего рода аналоги холодного промежуточного слоя.

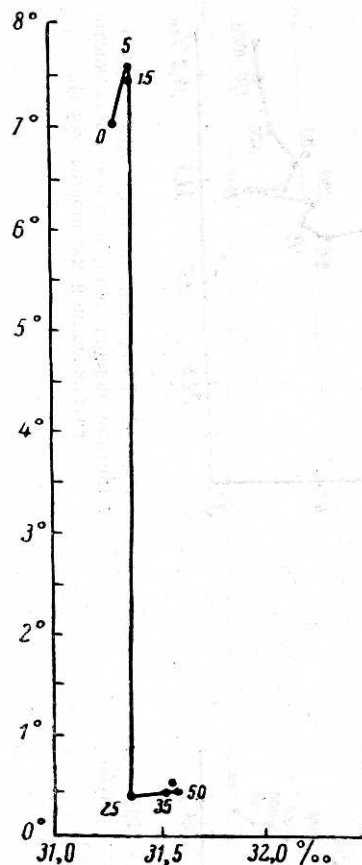


Рис. 16. TS-кривая ст. 51, 27/VII 1959 г. (летний период, центральная часть восточноберинговоморского шельфа, район холодного пятна).

По мере развития летнего прогрева и перемешивания пятна холодной воды, занимающие в начале теплого сезона огромную площадь, сокращают ее и могут даже совсем исчезнуть. Надо отметить, что весной передача прогрева на глубину на шельфе начинается наиболее интенсивно как со стороны открытого моря, так и со стороны мелководья, что при наличии круговоротов создает еще лучшие условия для формирования пятен холодной воды. В районах устьев рек, где наблюдается значительное опреснение, а значит и большая устойчивость, также возможно формирование вод с такой структурой, но еще более резким слоем скачка у поверхности. В прибрежной зоне там, где благодаря развитому фрикционному перемешиванию распределение температурных и соленостных характеристик обнаруживает полную однородность до дна, TS-кривая превращается в точку. Такие перемешанные береговые воды оконтуривают берега до глубины 30—50 м, исключая районы значительного опреснения.

На приводимой блокдиаграмме (рис. 17) хорошо видно распределение температуры солености на шельфе и свале глубин в восточной части Берингова моря в летний период.

Интересно остановиться на биологическом значении холодных пятен воды. В зимнее время, охлажденные воды шельфа занимают почти всю его площадь, значительно ограничивая площади обитания промысловых рыб и краба. Их миграции начинаются с начала прогрева, развивающегося быстрее у берегов вследствие значительного перемешивания на мелководье, вызванного не только ветровыми, но и приливными причинами, а также со стороны внешней кромки шельфа в тех местах, куда входят теплые течения (последнее относится в первую очередь к району на юго-восток и северо-запад от о-вов Прибылова).

Такой постепенный прогрев на огромной площади, обогащенной зимой биогенами и кислородом, создает благоприятные условия для образования кормовых миграций и формирования условий для нагула.

В связи с этим рыбы начинают продвигаться в глубь шельфа, избегая холодных пятен воды. В первую очередь это хорошо видно по миграциям камбал и палтусов. Неоднократно отмечалось, что существование холодных пятен связано с интенсивностью течения и чем слабее течения и больше круговороты, тем большую площадь могут занимать пятна. Таким образом, эти линзы холодной воды занимают значительные площади шельфа, благоприятные для нагула. Надо отметить, что

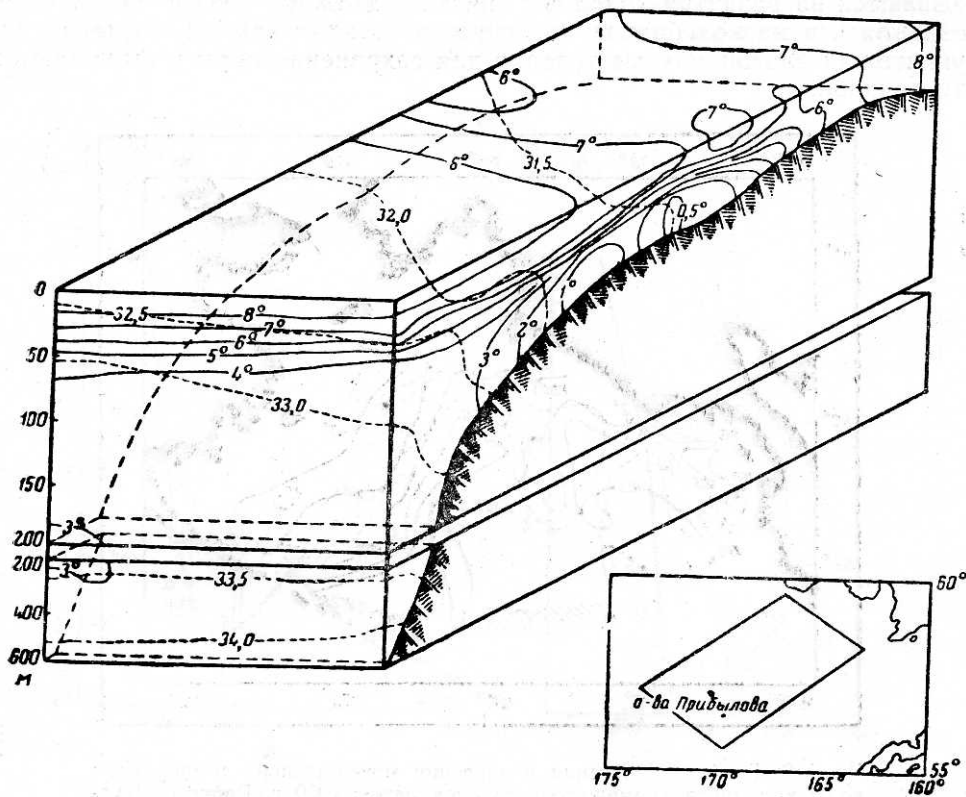


Рис. 17. Пространственное распределение (блокдиаграмма) температуры и солености в юго-восточной части Берингова моря летом 1959 г.

существование этих пятен — довольно устойчивое явление; это показывают не только наши исследования, но и данные грунтовых и особенно бентических исследований.

В районах холодных пятен мы встречаем в массовых масштабах арктические формы придонных бентических организмов. В таких районах в уловах попадаются мойва, треска — довольно холоднотерливые рыбы.

Именно в занятии площади и ограниченности жизненного ареала таких важных и массовых промысловых объектов в период нагула, как камбалы, сельдь и другие, сказывается отрицательная роль холодных пятен придонной воды. Но вместе с тем такая структура и обусловившие ее причины имеют большое положительное значение. В течение зимы эти воды обогатились биогенами и кислородом. Как показывают исследования, содержание в этих водах фосфатов и кислорода более повышенное, чем в окружающих. По мере развития перемешивания и прогрева эти воды в течение лета постепенно отдают аккумулированные в них вещества, необходимые для развития жизни, создавая вокруг зону плодородия. Кроме того, эти вещества разносятся дальше течениями по

большой акватории. Но не только в этом сказывается их положительное значение. Мы считаем, что, безусловно, правы биологи, утверждающие, что наличие замедленных квазистационарных круговоротов, в районе которых расположены нерестилища таких донных рыб, как камбалы, мечущих пелагическую икру, благоприятно сказывается на сохранении высокой численности стада, не давая икринкам камбал при их дрейфе попадать в неблагоприятные жизненные условия. Таким образом, интенсивность и колебания динамики вод и условий перемешивания сказываются на развитии холодных пятен и должны также обязательно сказываться на колебаниях численности стада камбал, создавая или уничтожая благоприятные условия для сохранения икры и выживаемости личинок.

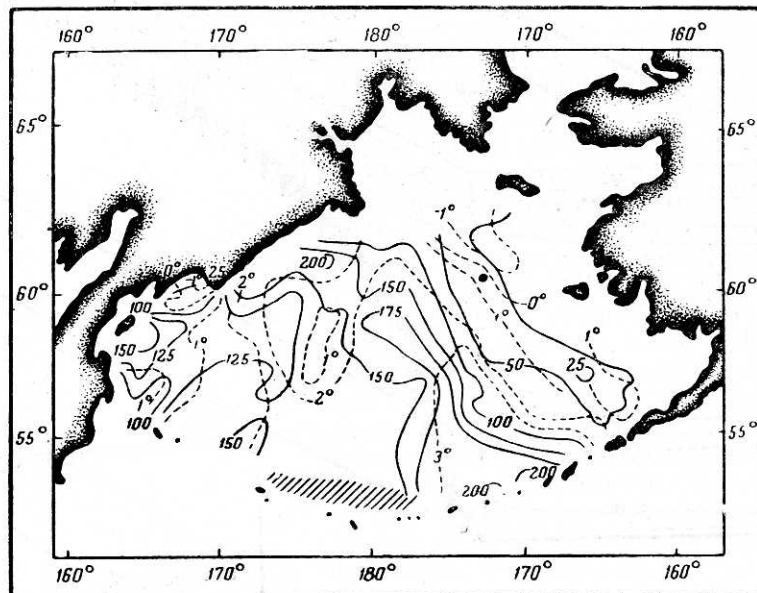


Рис. 18. Глубина залегания и значения минимальной температуры воды холодного промежуточного слоя летом 1959 г. Районы отсутствия минимальной температуры заштрихованы.

В заключение интересно рассмотреть карту распределения температуры и глубин залегания минимума температуры холодного промежуточного слоя (рис. 18), построенную по данным съемки 1959 г. Наличие холодного промежуточного слоя — характерная особенность субарктической структуры водных масс. По значениям температур в ядре холодного промежуточного слоя и их распределению хорошо прослеживается вторжение теплых океанических вод через алеутские проливы. В юго-восточных районах моря эти температуры значительно выше. Интересной особенностью глубин залегания слоев минимальной температуры является их связь с динамикой вод. Вдоль основных осей течений эти глубины несколько увеличиваются. Интересно отметить, что в летнее время слой минимальной температуры в северо-западной части моря поднимается, оставаясь по своему абсолютному значению самым низким в глубоководной части. Это можно объяснить более интенсивным турбулентным перемешиванием у берегов и уничтожением холодного промежуточного слоя не только сверху, но и снизу.

В общем распределении минимальная температура отражает величину зимнего выхолаживания, характеризуя суровость зимы по районам.

Район материкового склона (свала глубин) характеризуется очень сложными формами рельефа с большими уклонами дна. Это накладывает существенный отпечаток на распределение гидрологических элементов. Большинство TS-кривых (рис. 19) имеет неправильную и сложную форму, что говорит о значительно развитой динамике вод района, обусловленной сложностью рельефа.

Интересной особенностью вод района является то, что на глубинах примерно от 200 до 500 (600) м температура вод остается примерно постоянной почти по всему району свала глубин. Причем такое равномерное распределение температуры наблюдается от дна вверх в среднем на 200—300 м, что, по нашему мнению, вызвано приливным перемешиванием.

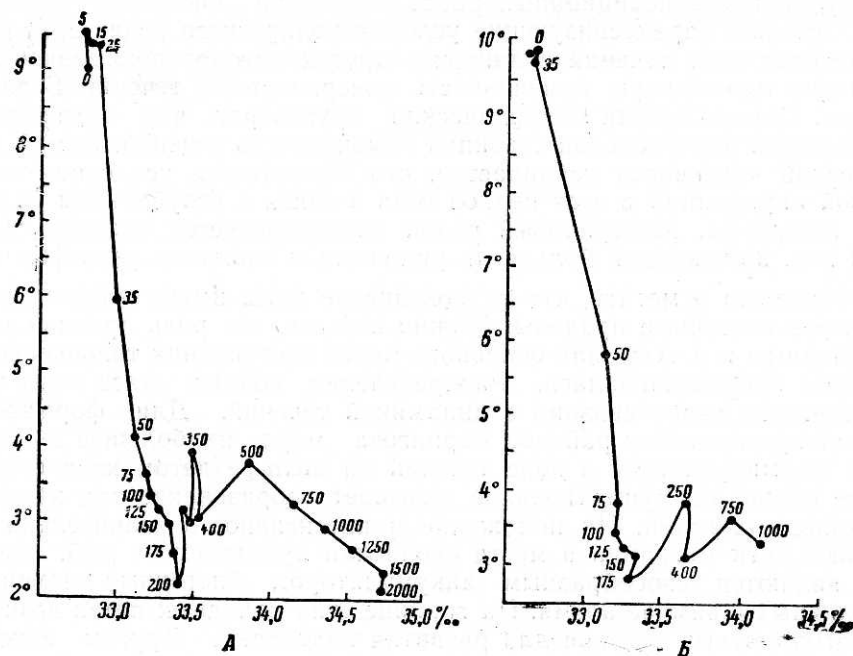


Рис. 19. TS-кривая ст. 160, 30/VIII 1959 г. (А) и ст. 168, 1/IX 1959 г. (Б); район свала глубин (материковый склон).

Механизм перемешивания на свале представляется таким образом. Энергия приливообразующих сил, переданная громадной толще воды в глубоководной части моря при распространении приливной волны встречает как бы стенку свала глубин, где она передается значительно меньшим объемом воды, вследствие чего возникают вихри различной ориентации, перемешивающие воду. Такое постоянное явление макротурбулентности при подтоке океанических вод уничтожает различия характеристик вод в различных районах.

Наблюдения показывают, что это сопровождается выносом глубинных биогенных солей, которые затем разносятся течениями.

Именно этим обстоятельством можно объяснить, что в этом районе создаются благоприятные условия для формирования китовых кормовых полей.

Возможно, с этим явлением связано то, что кормовые миграции стада олюторской сельди направлены вдоль свала глубин.

Безусловно, распределение гидрологических характеристик вдоль свала глубин очень сложное.

Дальнейшая обработка материалов выявит многие другие характеристики гидрологического режима моря, обуславливающего формиро-

вание биологической продуктивности района и распределение промысловых объектов.

Важнейшими малоизученными вопросами гидрологического режима Берингова моря остаются проблема водообмена, условия формирования постоянных круговоротов вод и многолетней изменчивости гидрологических характеристик моря.

ВЫВОДЫ

Результаты экспедиционных работ позволили построить сезонные карты течений, характеризующие условия конкретного года. Сравнение построенных карт течений с данными других авторов показывает значительную межгодовую изменчивость поверхностных течений Берингова моря. Однако общий циклонический круговорот вод сохраняется. Наблюдается значительная сезонная изменчивость течений. Зимой циклонический круговорот усиливается, что объясняется усилением атмосферной циркуляции в этот период года в связи с углублением алеутского минимума. Материковый склон характеризуется сложной динамикой вод, вызываемой большими уклонами и сложным рельефом дна.

Необходимо отметить, что тихоокеанские воды имеют значительный вток через восточные проливы. Можно считать, что роль пролива между о. Медным и о. Атту как основного места поступления тихоокеанских вод ранее преувеличивалась. Распределение водных масс моря и их характеристик тесно связано с динамикой течений. Для формирования рыбопромысловых районов Берингова моря наибольшее значение имеют формирующиеся в поле течений на шельфе летом квазистационарные вихри. Их существование вызывает образование так называемых холодных пятен. Их положение и интенсивность значительно определяют пути миграций и места скопления промысловых рыб. Эти же пятна являются своеобразным аккумулятором биогенных элементов, накопленных в зимнее время. На границе этих холодных пятен возникают благоприятные условия для развития планктона. Другим важным местом поставки биогенных элементов является материковый склон благодаря создающимся здесь условиям макротурбулентности. Именно этим обуславливается создание благоприятных условий для формирования китовых кормовых полей в этих районах.

В зимнее время для создания благоприятных условий в юго-восточной части Берингова моря для промысловых скоплений камбал имеет большое значение теплое течение, подходящее через восточные проливы Алеутской гряды и частично проникающее на шельф.

В местах стыка теплых океанских вод с охлажденными водами на шельфе находятся мощные зимние скопления камбал, положение которых определяется характеристиками вод этой зоны.

В заключение необходимо отметить значительную роль зимней вертикальной циркуляции в формировании гидрологических условий моря. Глубина ее нижней границы и абсолютные значения температур тесно связаны с общими климатическими условиями районов моря и динамикой вод.

Колебания всех условий от года к году, т. е. межгодовая изменчивость режима, имеют большое значение для формирования абиотических условий водоема и будут служить предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Добровольский А. Д. и Арсеньев В. С. К вопросу о течениях Берингова моря. «Проблемы Севера» № 3, Изд-во АН СССР, 1959.

Добровольский А. Д. Об определении водных масс. «Океанология» № 1, Изд-во АН СССР, 1961.

Дрогайцев Д. А. Построение поля касательного трения ветра под морем. «Метеорология и гидрология», № 5, 1955.

Зубов Н. Н., Мамаев О. И. Динамический метод вычисления элементов морских течений. Л., Гидрометиздат, 1956.

Леонов А. К. Водные массы Берингова моря и течения на его поверхности. «Метеорология и гидрология» № 2, 1947.

Леонов А. К. Региональная океанография. Гидрометиздат, 1960.

Моисеев П. А. Треска и камбала дальневосточных морей. Известия ТИНРО. Т. 40, 1953.

Ратманов Г. Е. К гидрологии Берингова и Чукотского морей. «Исследования морей СССР». Вып. 25. Гидрометиздат, 1937.

Defant A. Reality and illusion in oceanographical surveys. Journal «Marine Research». Vol. 9, No 2, 1950.
