

Температура и солёность вод Залива Петра Великого

oceanography-danchenkov.ru/oceanography/peter-the-great-bay-temperature-and-salinity

ВВЕДЕНИЕ

Залив Петра Великого (далее — ЗПВ) по определению современной отечественной лоции (Лоция северо-западного берега Японского моря, 1996) простирается от устья реки Туманной (130.7° в.д.) на западе до м. Поворотного (133.0° в.д.) на востоке. В соответствии с этим определением настоящая статья рассматривает, в основном, лишь часть залива, хотя и основная (рис. 1), от мыса Гамова (131.2° в.д.) до о. Аскольд (132.3° в.д.).



Рис. 1. Залив Петра Великого. Жирной серой линией выделена исследуемая область.

Несмотря на долгую историю океанографических исследований публикации по океанографии ЗПВ весьма скудны и среди них преобладают сведения о течениях. С 1874 г. и до настоящего времени полагают, что вдоль всего побережья Приморья (и вдоль ЗПВ) в течение всего года существует одно непрерывное течение («Приморское»), переносящее холодные воды с севера моря вплоть до устья р. Туманной. К югу от устья реки М. Уда (1934) выделил холодное Северо-Корейское холодное течение. Неясно, почему холодное течение непрерывно на большом протяжении (от Тернея до Туманной), а в районе устья вдруг возникло новое такое же (холодное) течение, имеющее то же направление.

Сведения об особенностях циркуляции в ЗПВ единичны. Первые измерения течений летом 1917 г. в восточной узости пролива Босфор Восточный (далее — Босфор) показали перенос вод из Уссурийского залива в пролив. Однако измерения,

выполненные летом 1926 г., показали здесь течение юго-восточного направления (Гомоюнов, 1928). Первая схема течений Амурского залива по данным измерений (Гомоюнов, 1927) показала разнонаправленные круговые движения вод: антициклоническое — южнее «Муравьевского порога» (43.1° с.ш.) и циклоническое — северное его.

Примерно в это же время появились (Амброз, 1931) сведения из разных источников о прибрежном (между Приморским течением и берегом) течении восточного направления. В 30-е годы прошлого века были замечены теплые воды у о. Аскольд, что, естественно, вызвало предположение о появлении у о. Аскольд струи теплого течения «южного происхождения» (Моисеев, 1937; Дерюгин, 1939).

В конце 30-х годов предполагаемые траектории дрейфа бутылок не показали какой-либо целостной картины течений (Истошин, 1950). У устья р. Суйфун (Раздольной) был показан северный перенос, а в юго-западной части Уссурийского залива — северо-восточный.

Обобщенная схема поверхностных течений из современной лоции (1996) позволяет выделить следующие особенности течений ЗПВ:

- антициклонические круговороты южнее о. Русского и в северной части Уссурийского залива;
- циклонический круговорот вокруг о. Аскольд;
- разнонаправленные течения вдоль западного и восточного берегов Амурского залива и между о. Аскольд и проливом Босфор.

Эти особенности циркуляции поверхностных вод (если они являются характерными, а не случайными) должны отразиться на схемах температуры и солёности воды. Например разнонаправленные (по сведениям лоций разных лет издания) круговороты вокруг о. Большой Пелис должны выявиться на схемах температуры и солёности экстремальными значениями, а разнонаправленные течения (в Амурском и Уссурийском заливах) — резкими термическими фронтами.

Схемы пространственного распределения характеристик воды ЗПВ долгое время не публиковались, хотя измерения температуры воды проводились неоднократно. Еще в 1970 г. (Бирюлин и др.) вместо первичных схем появилась лишь схема пространственного распределения водных масс. Только через 50 лет после публикаций К.А. Гомоюнова появились новые схемы пространственного распределения температуры воды ЗПВ (Винокурова, 1977; Давыдова, 1998; Рачков, 2002). Приведенные в первом источнике (Винокурова, 1977) рисунки (для февраля, апреля, августа и декабря) представляют сложную для восприятия комбинацию двух схем — температуры на поверхности и у дна, к тому же, сильно сглаженных. Схемы поверхностной температуры и солёности 10 съёмок с мая по октябрь 1998 г. из третьего источника (Рачков, 2002) чрезмерно упрощены. Лишь схемы поверхностной солёности С.В. Давыдовой (без указания точного времени измерений и положения станций: «для июня-июля», «июля-августа», «августа-сентября» 1996 г.) представляют определенный интерес.

Относительно недавно появилась оригинальная схема поверхностной температуры воды, восстановленной по спутниковым наблюдениям 28–30 октября 1990 г. (Гончаренко и др, 1993). На ней видна область апвеллинга (подъема подповерхностных вод) между 132° в.д. и 133° в.д. и связанный с ним термический фронт вдоль 132° в.д. Перепад температуры через фронт составил 3°C .

Также недавно были обнаружены три взаимосвязанные особенности океанографии северо-западной части моря:

- цепочка теплых вихрей вдоль 131° в.д. (Danchenkov et al., 1997),
- Северо-западный термический фронт (Danchenkov et al., 1997),
- крупномасштабный круговорот между 40.5° с.ш. и 43° с.ш. (Aubrey et al., 2001).

Цепочка теплых вихрей существует, по-видимому, в течение всего года. Посредством её, а не «пульсациями течения Соя» (Иванков, Иванкова, 1998) теплая вода с юга проникает к Посъету. Существование этой цепочки объясняет незональный характер Северо-западного фронта.

Северо-западный термический фронт между устьем р. Туманной и возвышенностью Ямато (рис. 1), отличен по положению и градиентам от основного Субарктического фронта (вдоль 40° с.ш.) и выявляется также в течение почти всего года. К северу от него существует течение юго-восточного направления — звено крупномасштабного круговорота.

Крупномасштабный круговорот может быть подразделен на четыре звена- четыре отдельных течения (включая указанное). Течение вдоль 40.5° с.ш. отличается по происхождению от Восточно-Корейского (поэтому обычно невозможно проследить непрерывные линии тока между Кореей и возвышенностью Ямато). Но восточнее возвышенности Ямато оба потока сливаются. Безымянное течение вдоль 42° с.ш. отличается по происхождению от Приморского. Внутри круговорота расположен пояс (язык) вод повышенной солёности и пониженного содержания растворенного кислорода (рис. 2).

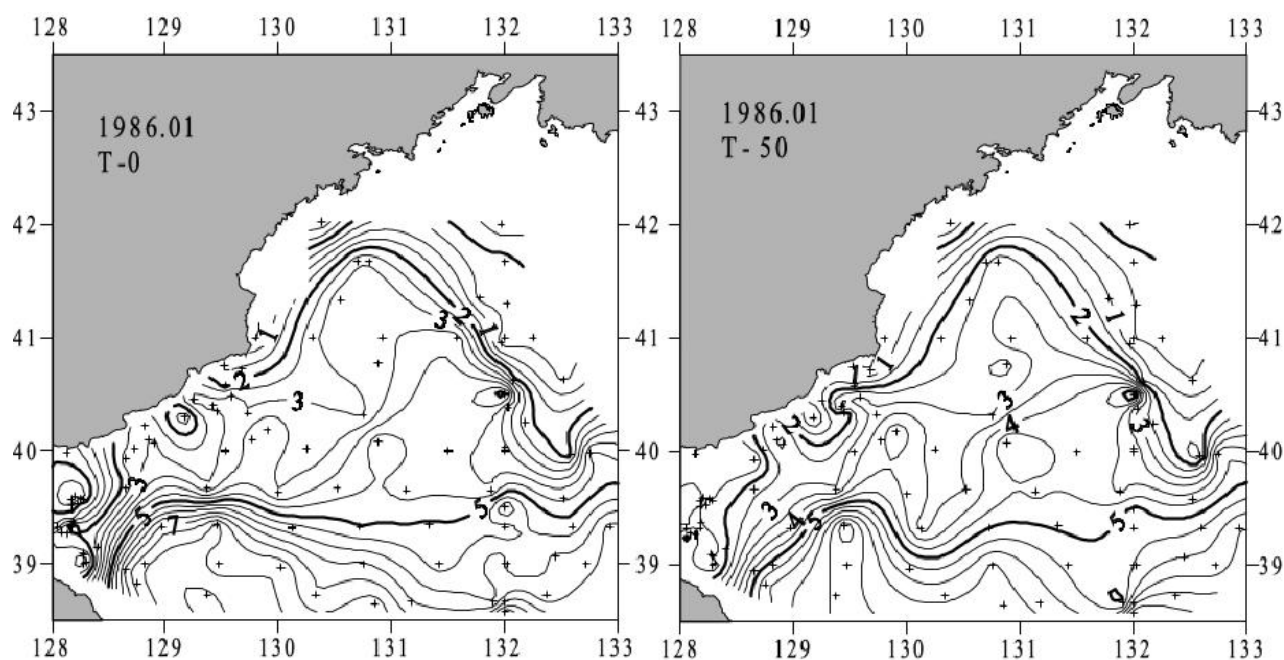


Рис. 2. Распределение температуры воды на поверхности и на горизонте 50 м в январе 1986 г.

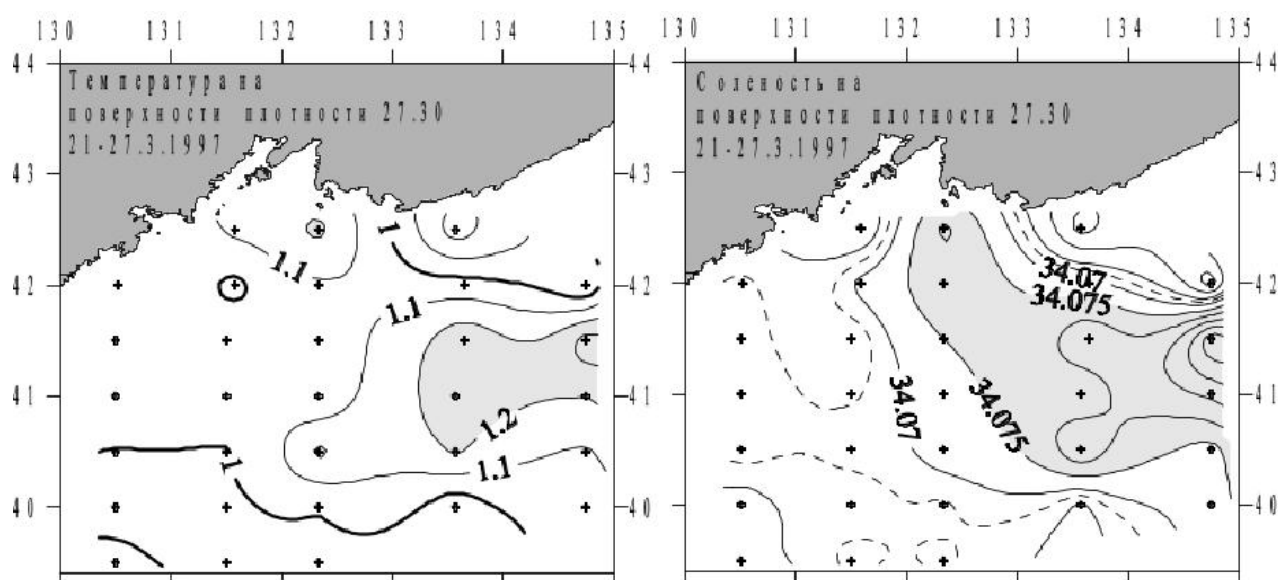


Рис. 3. Распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$) и солёности (о/оо) на поверхности условной плотности 27.30 (примерно на горизонте 50-100 м).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ

Для построения схем температуры и солёности воды нами использованы следующие СТД-измерения:

22 съёмки по 132° в.д. с 24.8.1993 г. по 19.7.1994 г. (ДВНИГМИ);

21-27.3.1997 г. (ДВНИГМИ);

14-22.4.1999 г. (ДВНИГМИ);

23.11-3.12.1999 г. (ТИНРО);

5-9.3.2000 г. (ТИНРО);

6.3.2000 г. (ДВНИГМИ);

24.2.–1.3.2001 г. (ДВНИГМИ);

15-18.8.2001 г. (ДВНИГМИ);

14-17.11.2001 г. (ДВНИГМИ).

Распределение станций дается на схемах горизонтального распределения характеристик.

Отметим, что точность измерений температуры и солёности в этих экспедициях была различной (но не менее 0.01°C и 0.02‰ соответственно).

АНАЛИЗ ДАННЫХ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗПВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В распределении температуры и солёности вод ЗПВ в начале зимы (23.11-3.12.1999) можно выделить две особенности, отмеченные ранее (Danchenkov et al., 1997б; Aubrey et al., 2001). Восточнее залива Посъет (на 131° в.д.) отмечен теплый вихрь (температура воды на поверхности превышала 10°C). Южнее о. Аскольд располагалась холодная (следствие апвеллинга, типичного осенью для этого района) и солёная (пояс вдоль 42.5° с.ш.) вода — рис. 3. Термический фронт, отделяющий холодные поверхностные воды у о. Аскольд, проходил не вдоль меридиана (132° в.д.) как в октябре 1990 г. (Гончаренко и др., 1993), а с юго-востока на северо-запад. солёный пояс в районе ЗПВ также изменил зональное (вдоль 42.5° с.ш.) положение (характерное для более восточных его участков).

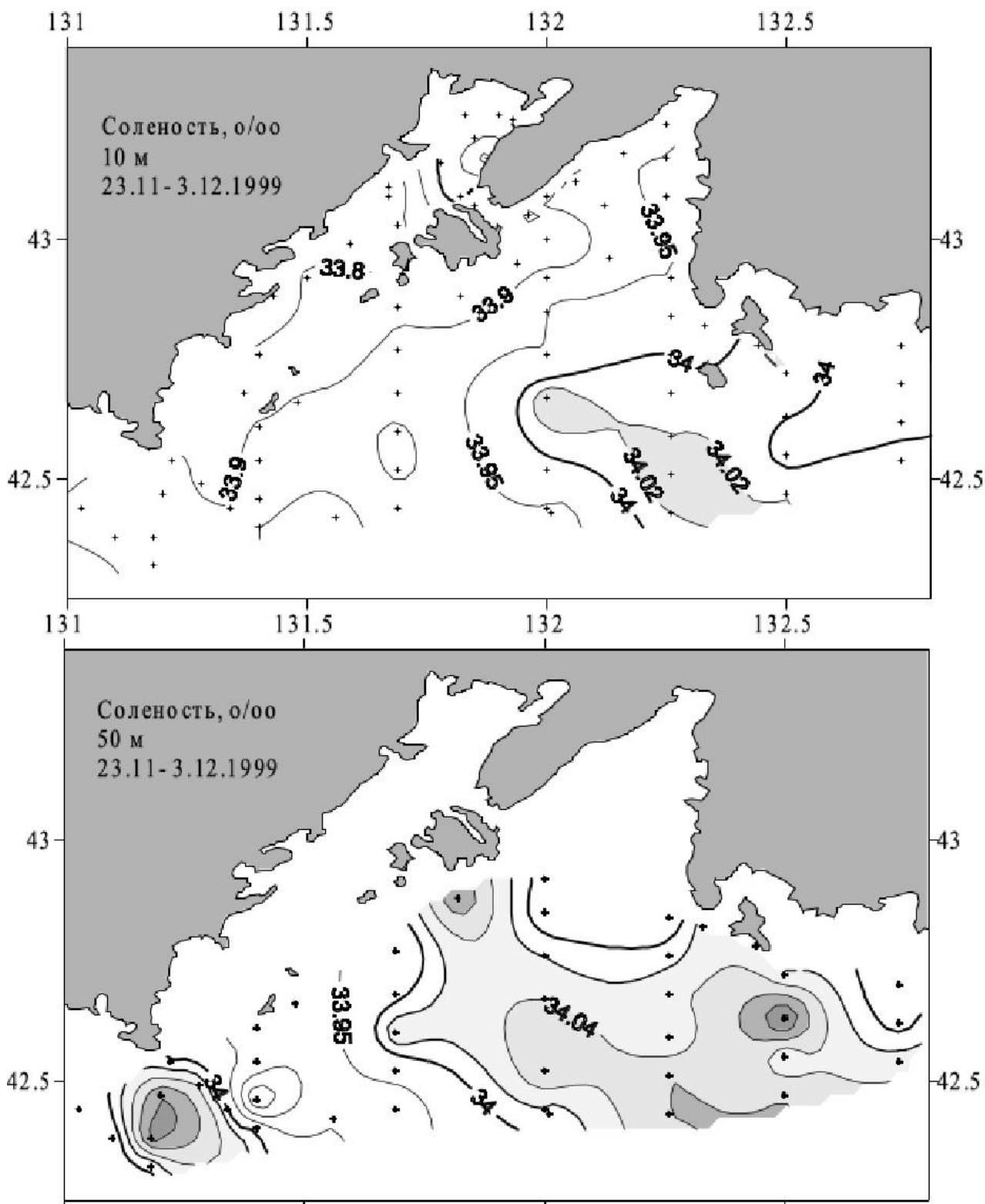


Рис. 4. Солёность вод на горизонтах 10 м и 50 м в начале зимы.

В конце ноября термоклин сохранился только в западной части залива, не затронутой сильными ветрами.

В течение последующей зимы термоклин в ЗПВ исчезает повсеместно (воды залива хорошо перемешиваются от поверхности до дна). Но галоклин отмечен также повсеместно (образующиеся новые солёные воды скапливаются у дна). А это значит, что повсеместно существует и придонный слой скачка плотности (так как плотность вод в заливе определяется, в основном, солёностью).

При этом плотность придонных вод достигает очень высоких значений (более 27.4). Максимальные значения солёности составляли в конце зимы 2000 г. от 34.25‰ (в северной части Уссурийского залива на глубинах более 30 м) до 34.43‰ (южнее о. Рейнеке на глубинах более 40 м). Отмеченные ранее (Гомоюнов, 1928) еще большие значения солёности (до 37‰) могут встречаться в период образования льда в кутовых частях мелководных бухт.

В конце зимы температура воды в ЗПВ понижается, по отношению к началу зимы, в среднем на 5°C и опускается ниже 1°C, но солёность более 34.1‰ отмечается лишь в некоторых частях ЗПВ. В общем, придонные воды высокой солёности из залива доходят до континентального склона (расположенного примерно на 42.2° с.ш.) лишь в редкие годы (например, зимой 2001 г.).

Однако даже зимой при интенсивном перемешивании (как ветровом, так и в процессе образования льда) воды ЗПВ вовсе не были однородны по вертикали. Повсеместно выделялся придонный галоклин (соответственно, и пикноклин), а южнее о. Аскольд – и термоклин на глубинах 60-80 м.

Зимой 2000 г. солёный пояс сместился на юг по сравнению с положением, характерным для начала зимы. 3-7 марта 2000 г. пояс был замечен (рис. 5) там же (между 41.5° с.ш. и 42° с.ш.), где ранее был выявлен по зондовым и буйковым (PALACE) измерениям 1995-1999 гг. (Aubrey et al., 2000).

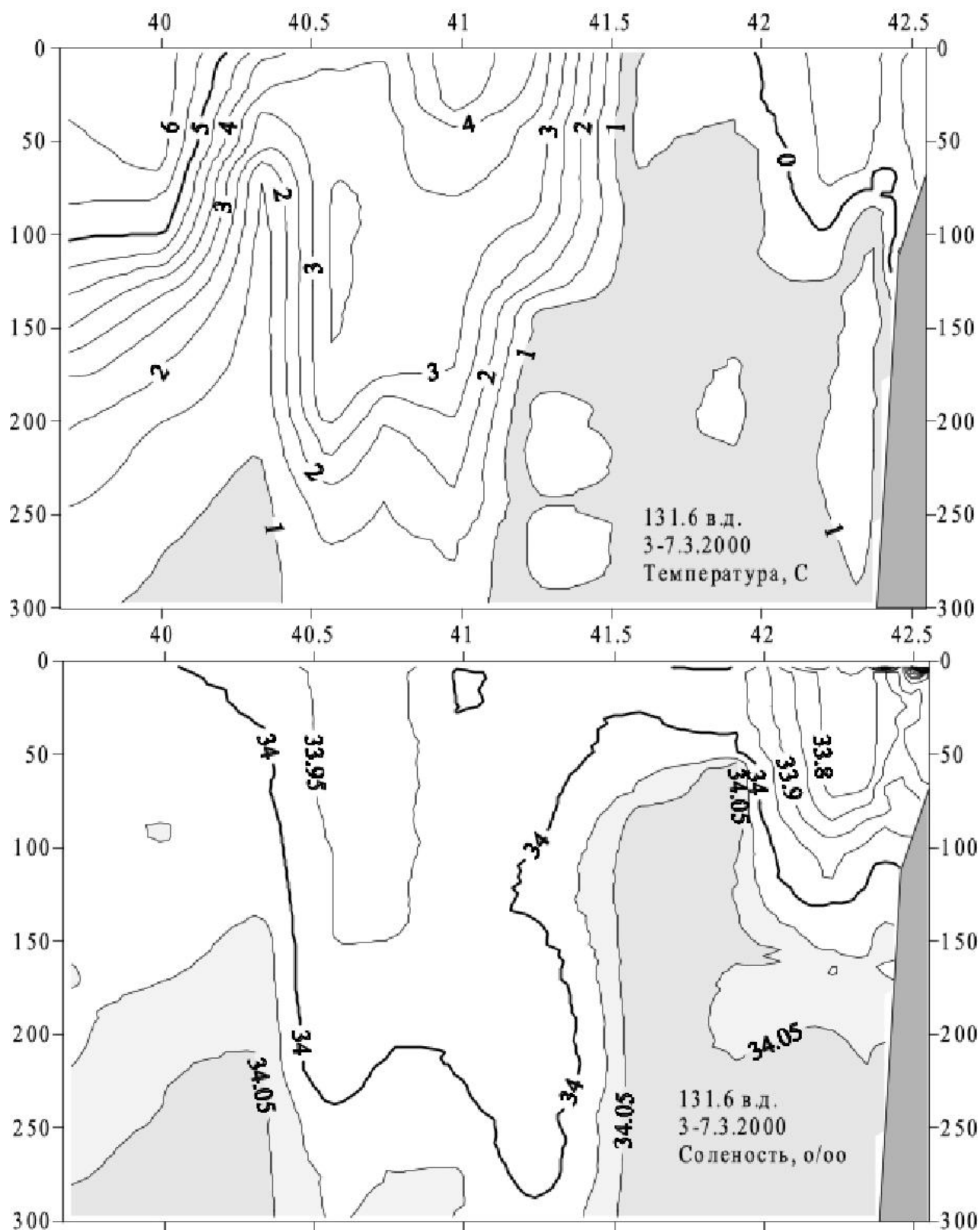


Рис. 5. Разрезы температуры и солёности по 131.6° в.д. в марте 2000 г.

Между Северо-западным фронтом, ограничивающим пояс с юга и Субарктическим фронтом располагалась, как обычно (Данченков и др., 2000), межфронтальная зона с относительно теплыми и низкосолёными водами. Пояс солёных вод в районе о. Аскольд и придонные зоны высокой солёности хорошо выделялись на фоне вод низкой солёности вод, занимавших большую часть ЗПВ.

Для этого пояса характерна относительно высокая (более 27.3) плотность и пониженное (менее 6.5 мл/л) содержание растворенного кислорода (рис. 6).

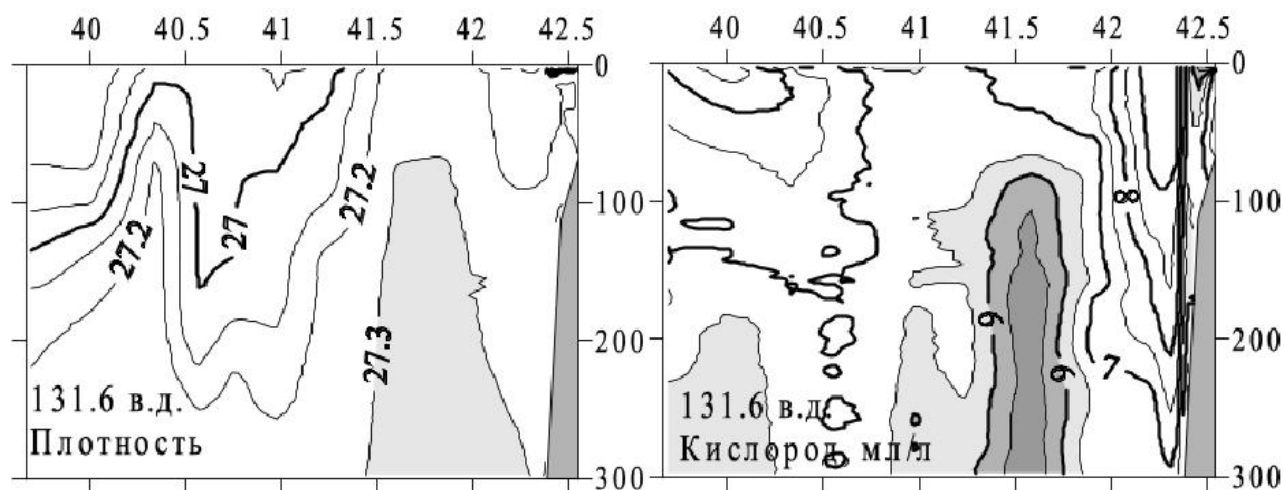


Рис. 6. Распределение плотности (слева) и концентрации растворенного кислорода (справа) на разрезе по 131.6° в.д. 3-7 марта 2000 г.

В аномально холодную зиму 2001 г. от пояса, обычно изолированного с юга и севера, вода повышенной солёности распространялась далеко (до 40.5° с.ш.) на юг (рис. 7).

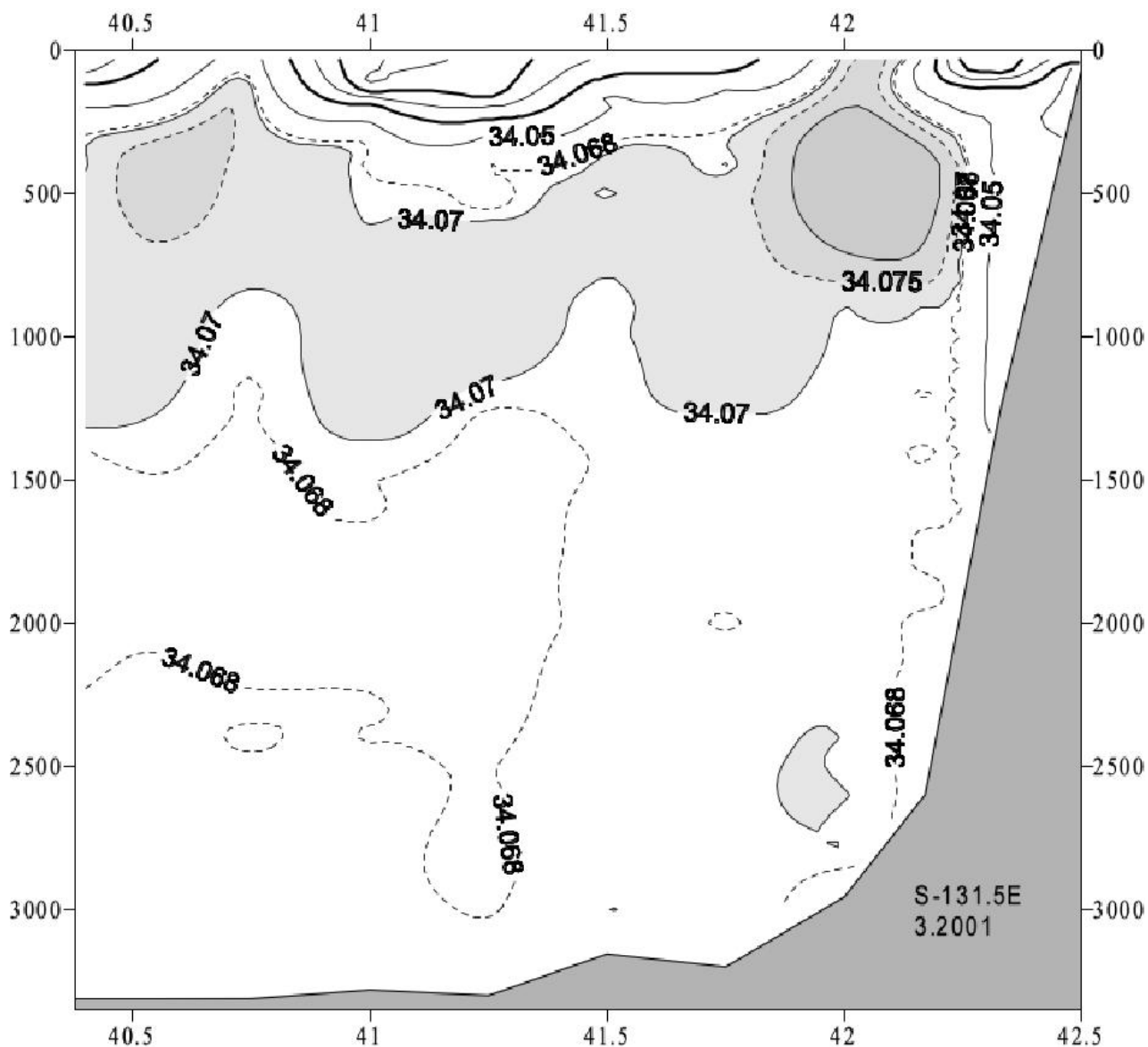


Рис. 7. Распространение солёной воды от солёностного пояса на разрезе по 131.5° в.д. в марте 2001 г.

При этом вдоль континентального склона воды были однородны по температуре (рис. 8) и солёности от 50 м до дна.

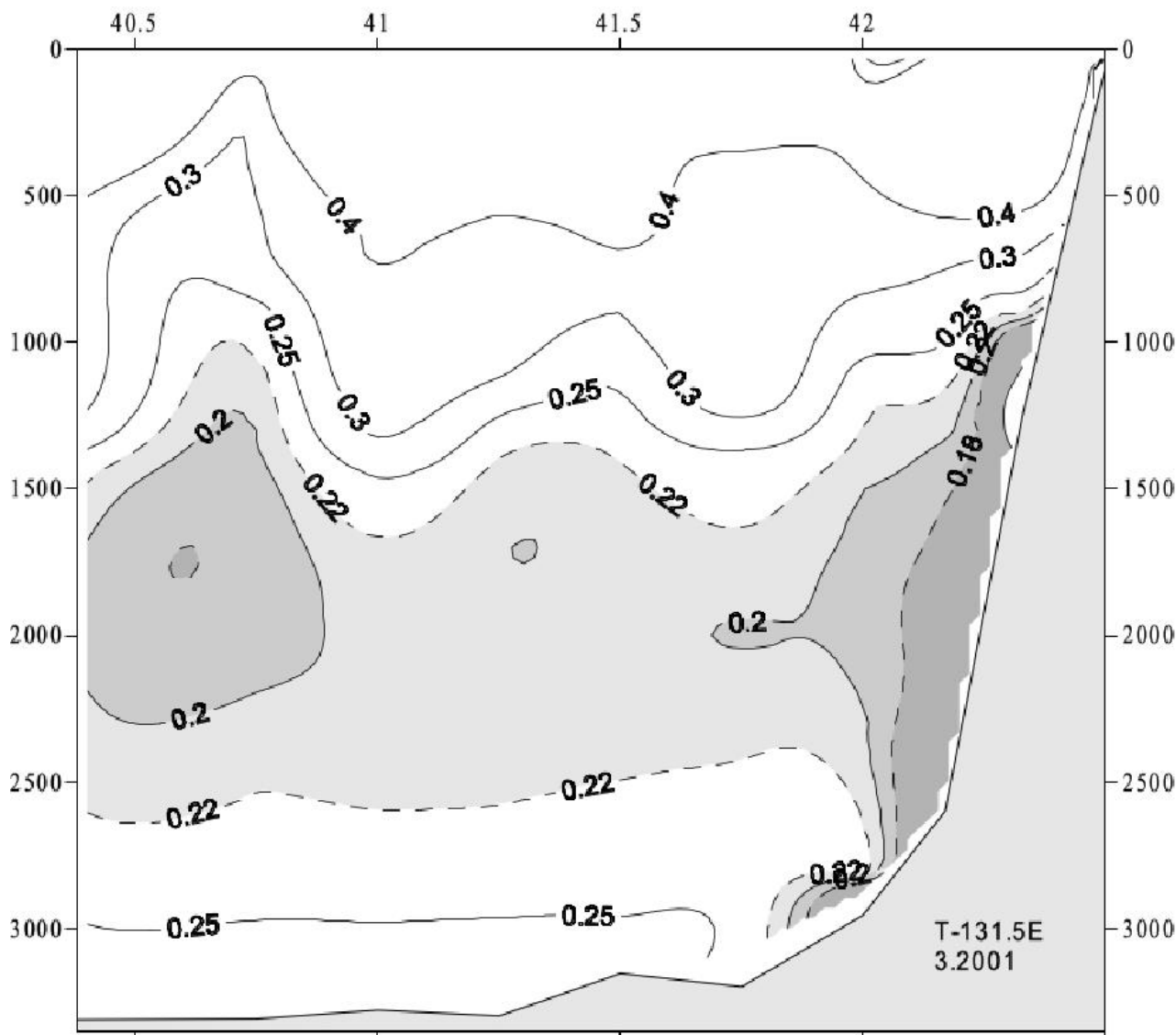


Рис. 8. Распределение температуры воды на разрезе по 131.5° в.д. зимой 2001 г.

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗПВ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Летом основной особенностью океанографии ЗПВ является сильное опреснение Амурского залива (рис. 9). Неглубокий термический фронт прослеживается в августе от о. Сибирякова на восток (вдоль 42.7° с.ш.). К северу от него воды ЗПВ почти однородны по температуре. Но не по солёности: выделяются два прибрежных солёностных фронта: в западных частях Амурского и Уссурийского заливов, которые соединяются в районе о. Сибирякова. Судя по распределению солёности, плотностное течение на поверхности должно переносить воды от о. Аскольд в северную часть Уссурийского залива. Сильное плотностное течение вдоль западного берега Уссурийского залива при соединении с течением в Амурском заливе должно вызывать сильное течение и опускание вод между о. Сибирякова и о. Стенина, расположенном южнее.

Как можно заметить, летом 2001 г. не обнаружено никаких признаков замкнутых циркуляций вод вокруг островов Стенина, Аскольд, в вершине Уссурийского залива и южнее о. Русский.

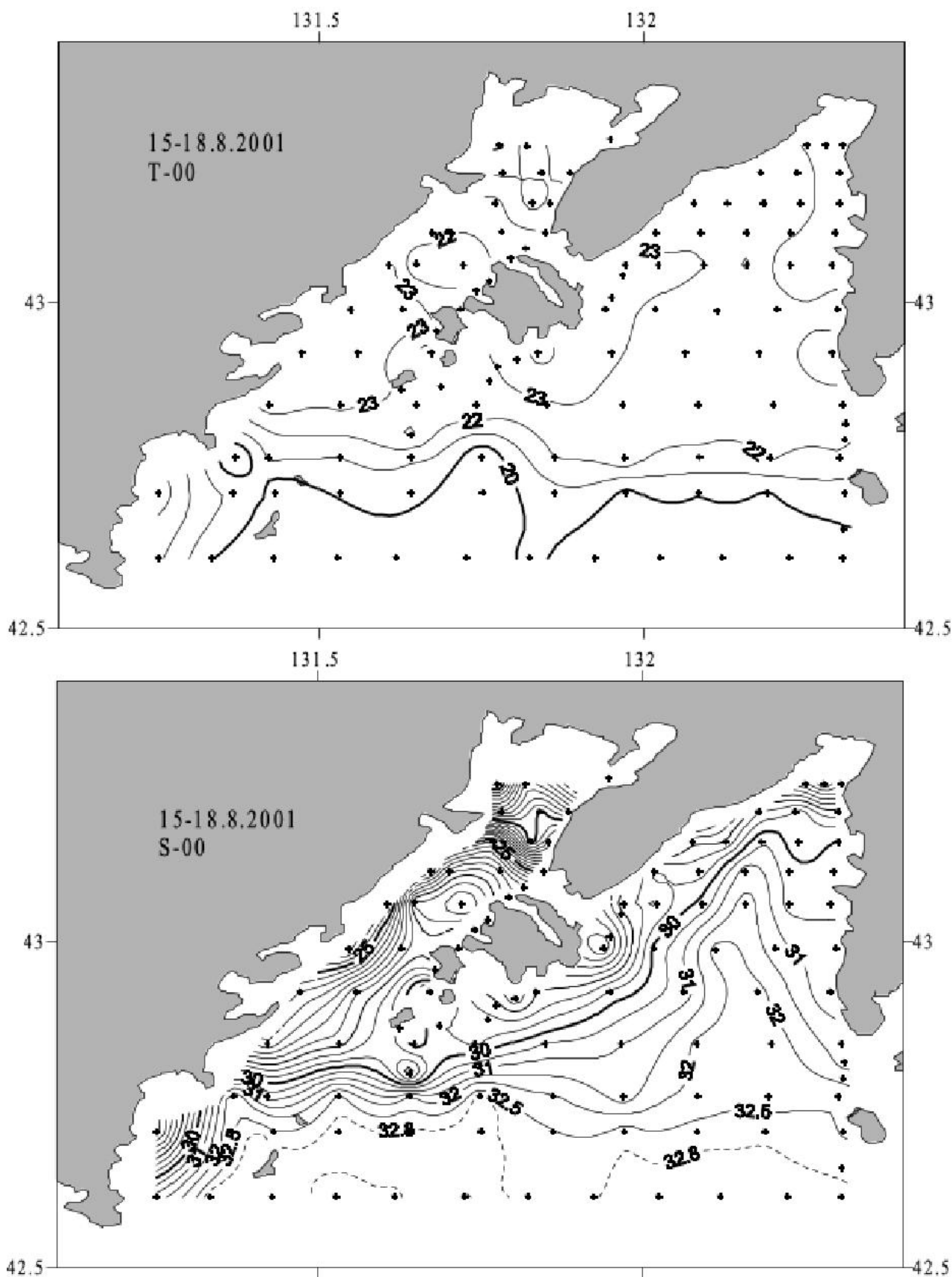


Рис. 9. Поверхностные температура и солёность ЗПВ в августе 2001 г.

На 50 м и глубже, вода из пролива между о. Аскольд и континентом распространяется уже не в Уссурийский залив, а на запад - до 131.8° в.д.- рис. 10. Её температура и солёность отличаются (существенно выше) от значений, свойственных Приморскому течению.

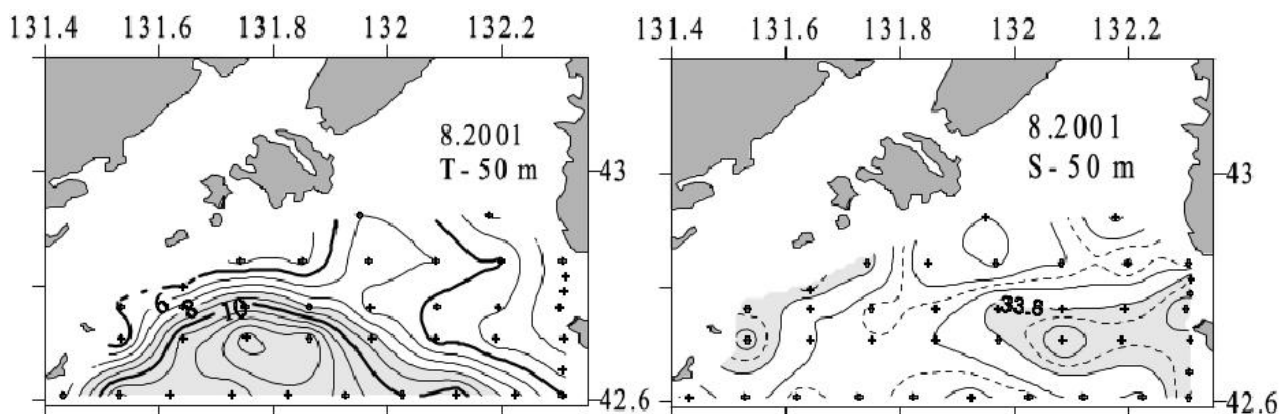


Рис. 10. Температура и солёность вод ЗПВ на горизонте 50 м в августе 2001 г.

АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЛЕТО

Опресненная вода распространяется от устья р.Раздольной на юг совсем не языком (рис. 11) и совсем не непрерывно. От п-ва Песчаный на восток залив пересекает солёностный фронт, что позволяет предположить подъем вод в этом районе и совершенно различную циркуляцию вод южнее и севернее его. Севернее этого места - «Муравьевского порога» (Гомоюнов, 1927) располагается слабый циклонический круговорот, а южнее- начинается относительно заметное течение направленное на юго-запад вдоль западных границ залива. Но оно прослеживается по температуре и солёности лишь до Славянского залива. При таком распределении солёности в Амурском заливе не может быть разнонаправленных плотностных течений, как показано на современной лоции.

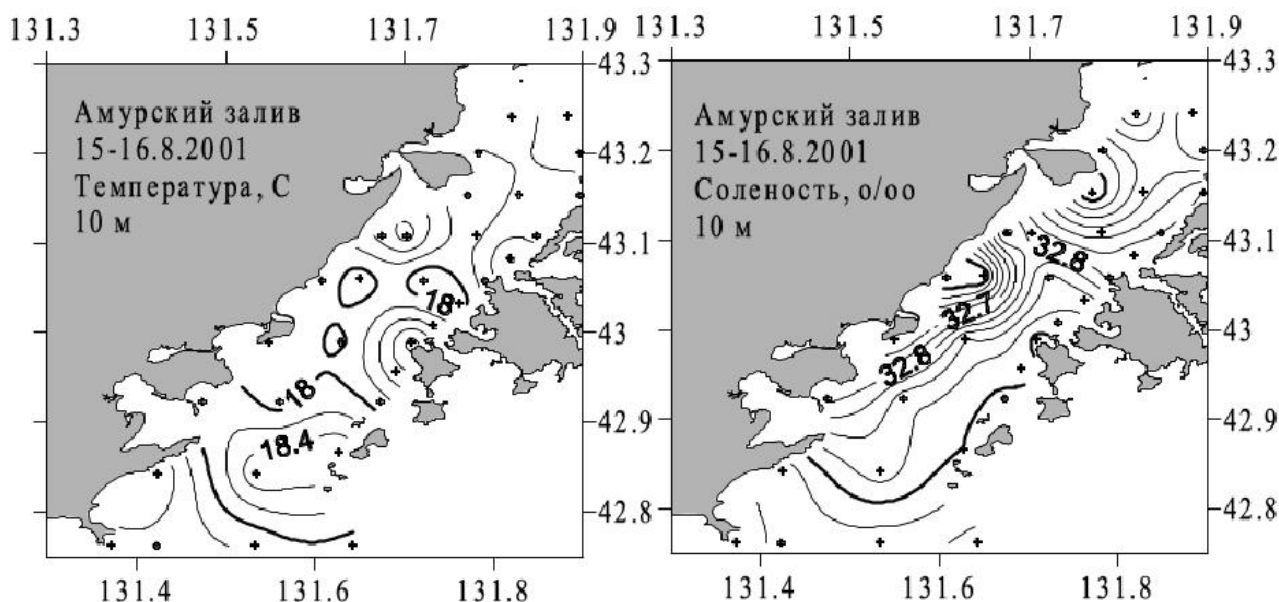


Рис. 11. Температура и солёность Амурского залива на горизонте 10м

По вертикали в Амурском заливе выделяются не один, а два термоклина (значит по вертикали выделяются не два, а три слоя). Один располагается у поверхности (примерно между горизонтами 7 и 10 м), второй - у дна (примерно между горизонтами 30 и 40 м). Между термоклинами расположен довольно значительный слой воды с однородными характеристиками: температурой - 16°C—18°C, солёностью - 32.8-33.5‰.

Севернее п-ва Песчаный этот слой отсутствует и мощный пикноклин препятствует перемешиванию вод.

УССУРИЙСКИЙ ЗАЛИВ, ЛЕТО

Летом в Уссурийском заливе опреснённые (солёность — менее 30‰) воды от устья рек Артемовка и Суходол распространяются только вдоль западных берегов залива — рис. 12.

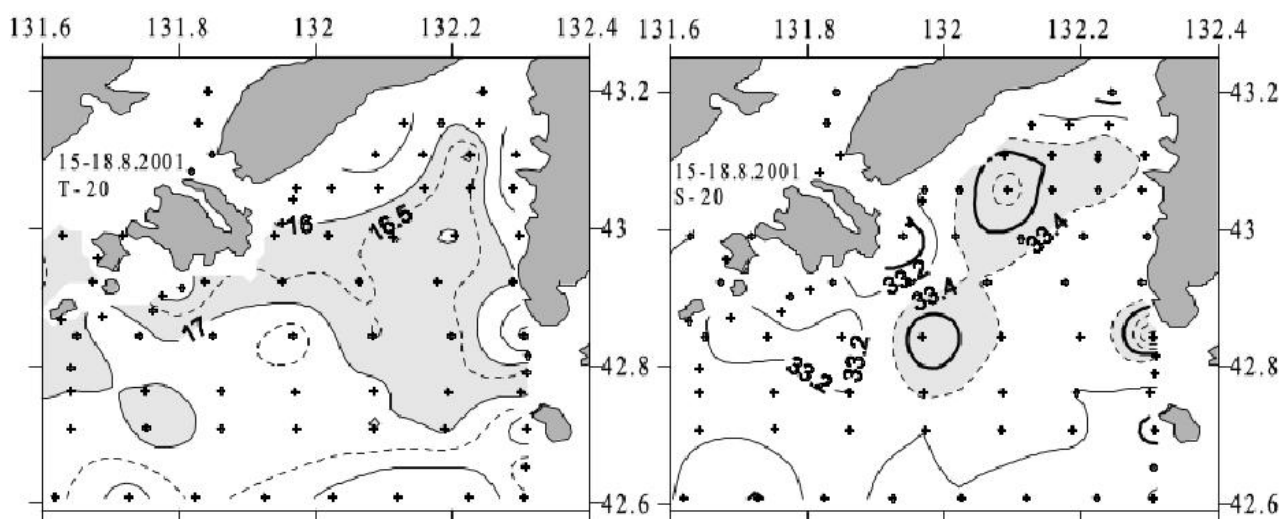


Рис. 12. Температура и солёность Уссурийского залива на горизонте 20 м

Опреснённые воды не проникают ниже поверхностного термоклина (ниже 8 м).

В районе пролива Босфор солёность опускается до 27‰ вследствие выноса вод из пролива.

Особенностью в распределении солёности является клин солёной воды вдоль 132.2° в.д., отмеченный ещё Г.М. Бирюлиным (1970). Такое распределение солёности должно вызывать плотностное течение на север вдоль восточного берега и сильное плотностное течение на юго-запад вдоль западных берегов.

Ниже поверхностного термоклина (второй — придонный — термоклин залегает между горизонтами 35 и 50 м) солёность в клине возрастает до 33.3-33.5‰- рис. 13, а на горизонте 20 м область солёной воды становится замкнутой — рис. 12.

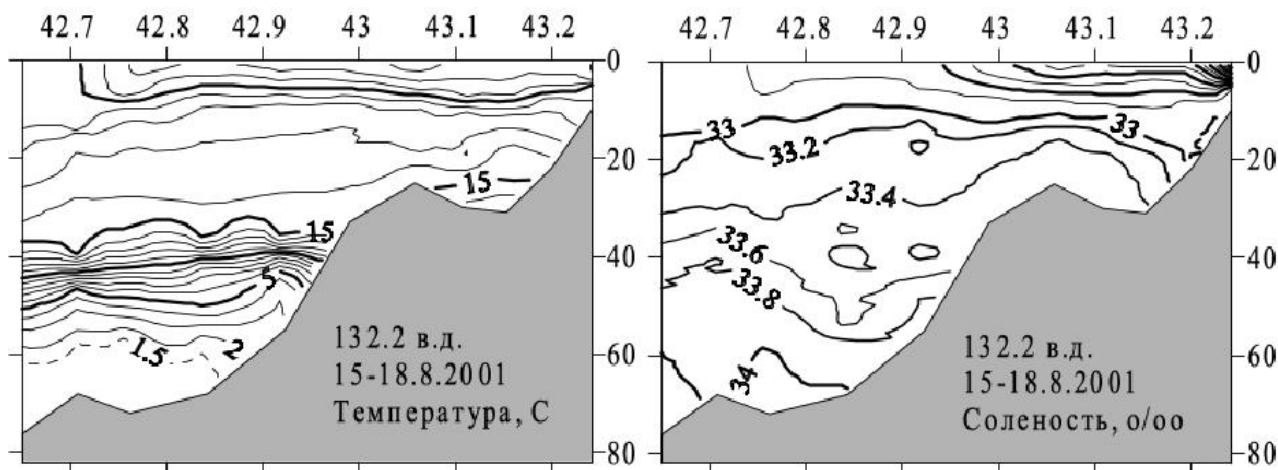


Рис. 13. Распределение температуры и солёности на разрезе по 132.2° в.д. летом 2001 г.

Изолированной области солёной воды должна соответствовать замкнутое (циклоническое) плотностное течение.

Из-за двух термо- и галоклинов воды залива по вертикали можно разделить на три слоя (поверхностный, промежуточный и придонный). Поверхностный (хорошо прогретый и распреснённый) слой очень тонок. А вода, расположенная между ним и придонным термоклинном отличается замечательной однородностью (температура — между 16°C и 18°C, а солёность — 32.8‰–33.4‰). В придонном слое, расположенном ниже придонного термоклина, и температура (менее 1.5°C) и солёность (более 33.95‰) близки к известным характеристикам глубинной (собственной) воды Японского моря.

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗПВ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Перестройка вод ЗПВ происходит в октябре, когда с прорывом холодных отжимных ветров к побережью между о. Аскольд и Находкой возникает мощный подъем вод.

Однако, еще в середине ноября (рис. 14) в распределении температуры и солёности в ЗПВ можно найти больше общего с характерным для лета, чем для зимы.

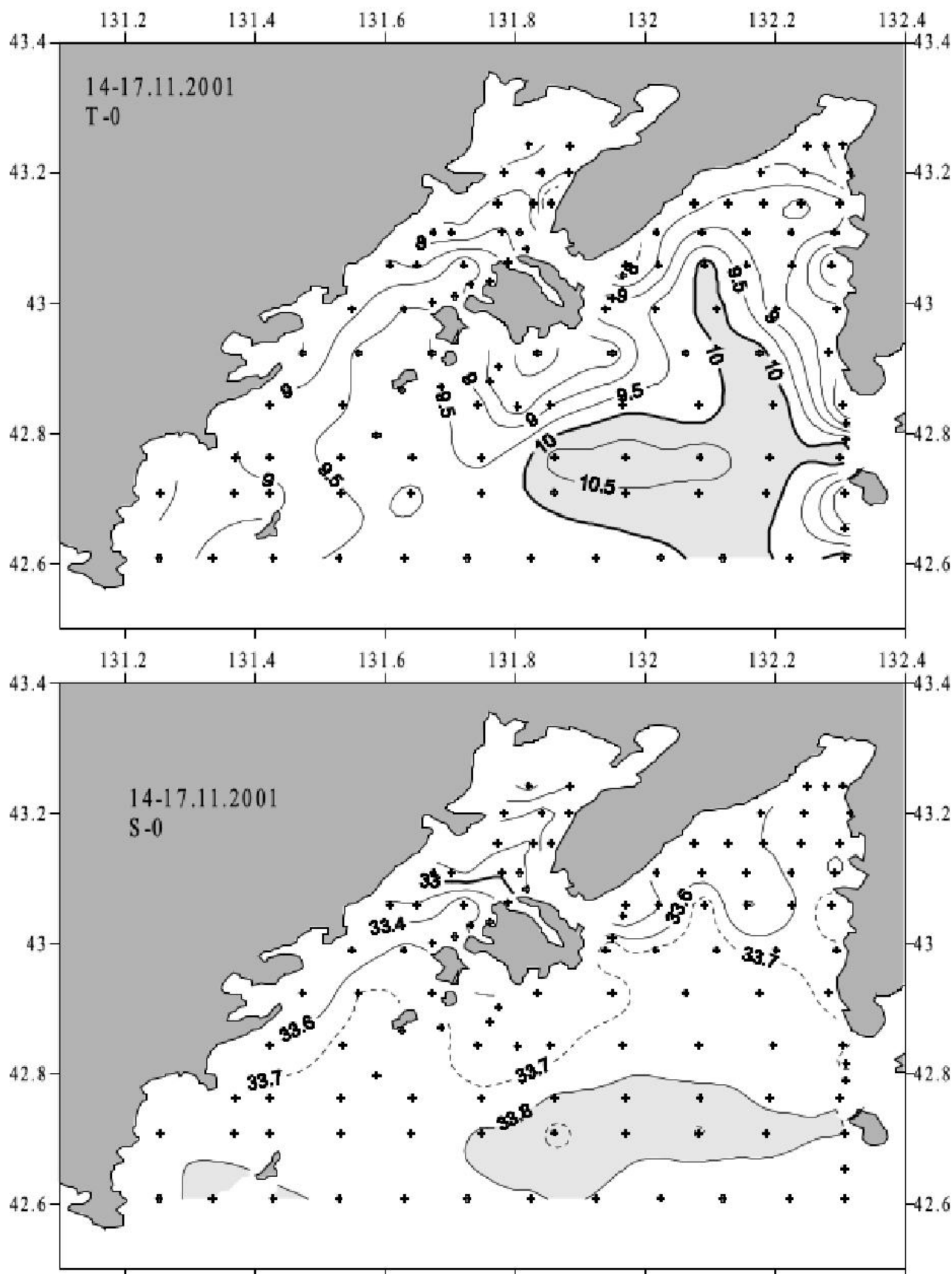


Рис. 14. Распределение поверхностных температуры и солёности осенью 2001 г.

Так большая часть Уссурийского залива на поверхности занята теплой и солёной водой, сохраняется её клин и термический фронт на его границах. Язык солёной воды тянется от о. Аскольд на запад вдоль 42.7° с.ш.

В Амурском заливе появляются признаки разнонаправленных течений (на север вдоль восточных берегов и – на юг – вдоль западных). Из-за этого в Амурском заливе возникает фронт (термический и солёностный) — рис. 15.

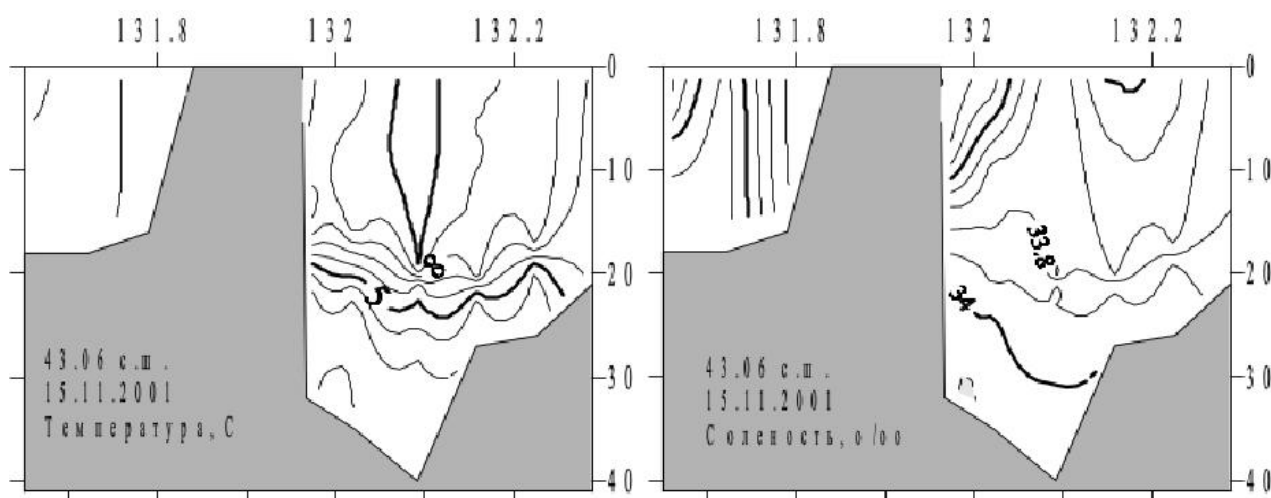


Рис. 15. Распределение температуры и солёности на разрезе по 43.06° с.ш. в ноябре 2001 г.

Поверхностный термоклин повсеместно исчез. А глубина залегания придонного термоклина стала различной в разных местах ЗПВ. В общем эта глубина уменьшается (на 20 м) в направлении с востока на запад и с юга на север.

В Уссурийском заливе (рис. 16) изменение глубины залегания термо- и галоклина (а, значит, и слоя скачка плотности) наиболее заметно — с глубины 45 м до глубины 10 м.

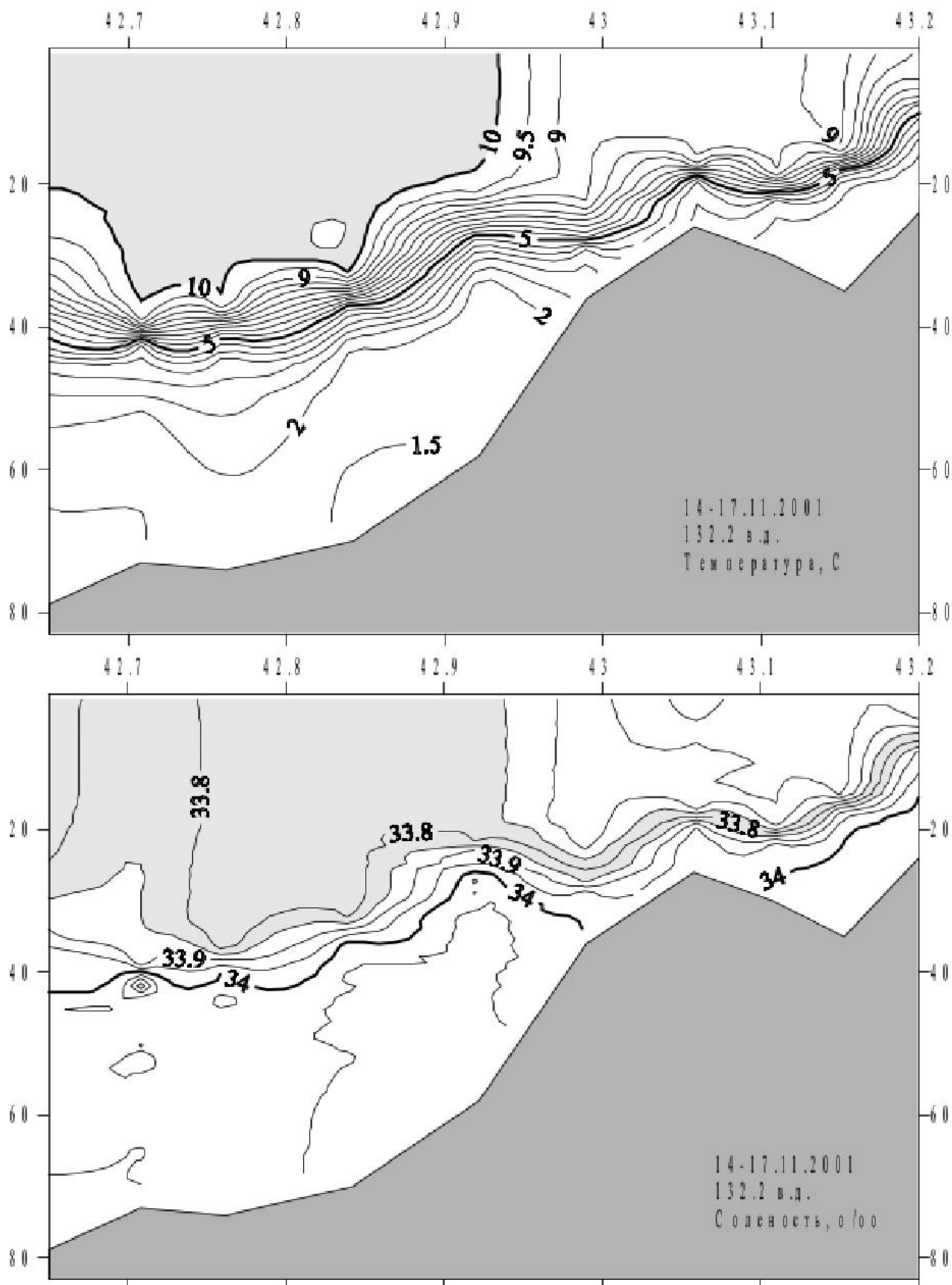


Рис. 16. Распределение температуры и солёности вдоль 132.2° в.д. (Уссурийский залив) осенью 2001 г.

Изолированный пояс солёной воды (между 42.5° и 43° с.ш.) с высокими значениями температуры (более 10°C) и солёности (более 33.75‰) воды в ноябре 2001 г. выходил на поверхность и подстилался термоклинном. С наступлением зимы

термоклин разрушится, а солёностный пояс станет подповерхностным.

О ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ВОД В ЗПВ

Знание районов подъема вод имеет значение для познания закономерностей распределения обитателей вод ЗПВ, так как в них питательные вещества поднимаются к поверхности (в слой проникновения солнечного света), где и происходит развитие планктона- первого звена пищевой цепочки. Однако, в отличие от горизонтальных движений, вертикальные обычно (по крайней мере, в ЗПВ) не измеряются и о них обычно судят по распределению температуры и солёности. Так как воды на подповерхностных (глубинных) горизонтах более холодны и солёны, то по появлению на поверхности холодных и солёных вод можно проследить действие апвеллинга.

Зимой вертикальные движения вод ЗПВ сильно развиты вследствие как сильных ветров, так и конвективного перемешивания (во время образования льда). Только южнее залива Посъет апвеллинг хорошо прослеживается у границы шельфа и зимой (по выходу на поверхность относительно теплым — более 0°C — и солёным — более 34.05‰ — водам). Но для всего ЗПВ лишь летом и осенью можно выделить отдельные районы апвеллинга.

Летом подъем вод характерен для двух районов:

- а) центральной части Уссурийского залива;
- б) району, прилегающему к о. Русский в Амурском заливе.

В Уссурийском заливе изотермы и изогалины выходят на поверхность (признаки подъема вод) с горизонта 10 м в районе, ограниченном координатами 42.9° с.ш.- 43.1° с.ш., 132.05° в.д. и 132.25° в.д.

В Амурском заливе (в районе ограниченном координатами 42.95° с.ш. — 43.12° с.ш., 131.62° в.д.-131.8° в.д.) температура воды на поверхности на 0.5°C (осенью 2001 г.) — 2°C (летом 2001 г.) ниже, чем у окружающих вод, а солёность — выше на 0.7‰ (осенью 2001 г.) — 1.5‰ (летом 2001 г.). Из-за подъема вод здесь (особенно, севернее его) возникает мощный поверхностный фронт (термический и солёностный), препятствующий водообмену северной и южной частей Амурского залива. Поэтому Амурский залив можно считать разделенным на две части именно в этом районе. К северу от указанного фронта, вертикальные движения летом отсутствуют (поверхностный и придонный термоклины соединяются и слой скачка плотности занимает всё пространство — от поверхности до дна). В этой части залива вертикальные движения вод могут возникать лишь в период действия сильных ветров).

Два других солёностных фронта (вдоль западных берегов Уссурийского залива и вдоль западного берега Амурского залива) соединяются в районе о. Сибирякова. Обусловленное градиентами плотности сильное плотностное течение должно вызывать опускание вод в этом район.

Осенью подъем вод характерен для солёного пояса. Например, в ноябре 1999 г. изотермы и изогалины выходили на поверхность в пределах ЗПВ между 42.5° с.ш. и 42.8° с.ш. (рис. 17).

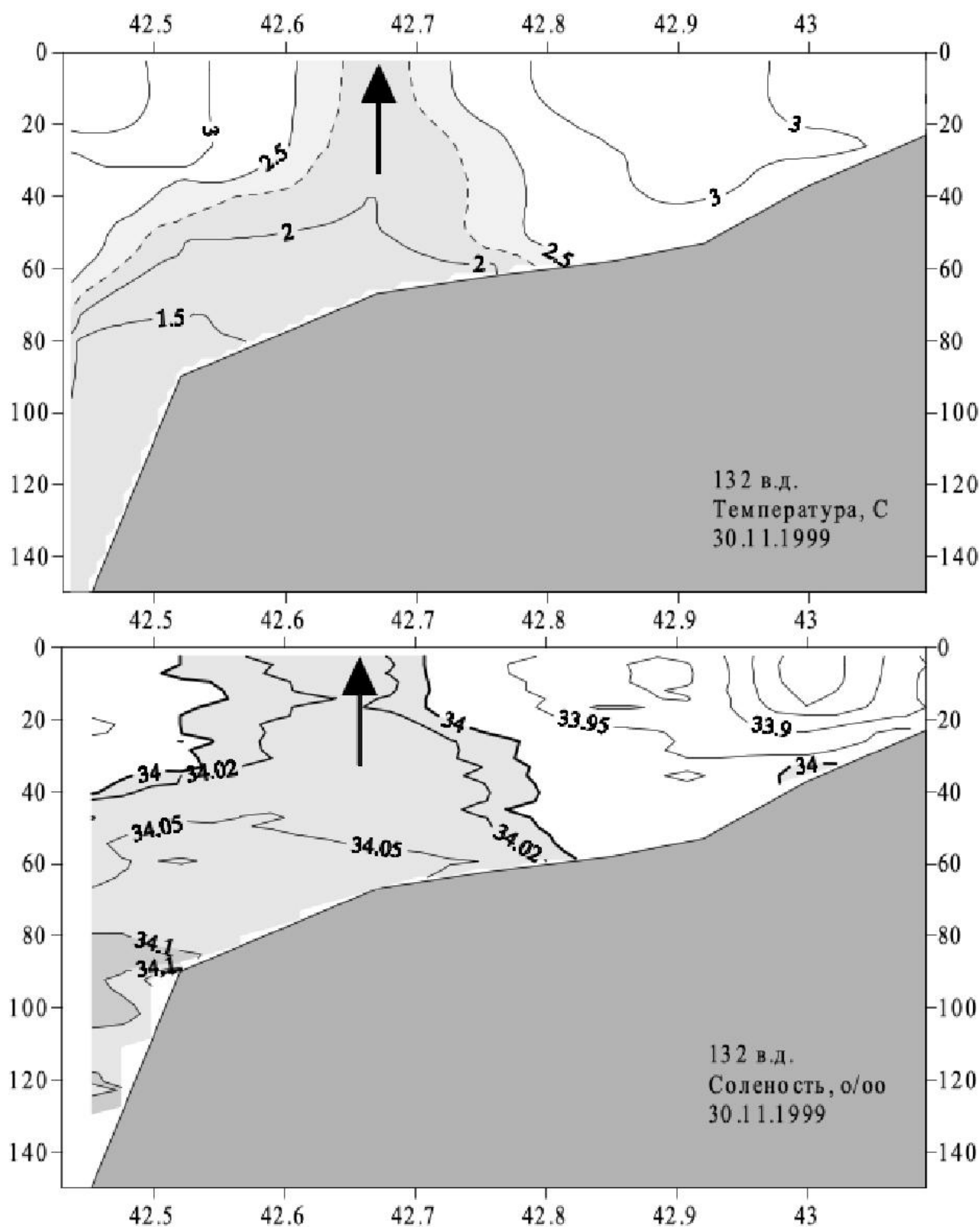


Рис. 17. Разрезы температуры и солёности по 132° в.д. Область восходящих движений затенена.

Известен (Гончаренко и др., 1993) интенсивный подъем подповерхностных вод в восточной части ЗПВ — между о. Аскольд и Находкой. Этот процесс прослежен на поверхности с октября по март.

ВЫВОДЫ

Отмечены закономерности в пространственном распределении температуры и солёности ЗПВ в различные сезоны.

Характерными особенностями океанографии ЗПВ являются:

-пояс солёной воды южнее о. Аскольд;

-термический и солёностный фронты вдоль западных берегов Амурского и Уссурийского заливов;

-два термо- и галоклина в летний период и придонный галоклин – в зимний.

ЛИТЕРАТУРА

Амброз А.И. Сельдь залива Петра Великого. Известия ТИНРО, 1931, т. 6, с. 1-313.

Бирюлин Г.М., Бирюлина М.Т., Микулич Л.В., Якунин Л.П. Летние модификации вод залива Петра Великого. Тр. ДВНИГМИ, 1970, вып. 2. с. 276–280.

Винокурова Т.Т. О сезонной и краткопериодной изменчивости гидрологических характеристик в заливе Петра Великого. Известия ТИНРО, 1977, т. 101, с. 7-12.

Гомоюнов К.А. Гидрологический очерк Амурского залива и реки Суйфуна. «Производительные силы Дальнего Востока». Владивосток, «Книжное дело», 1927, вып. 2, с. 73-91.

Гомоюнов К.А. Гидрологический режим бухты Патрокл в связи с метеорологическими условиями. Известия ТОНС, 1928, т. 1, вып. 2, с. 3-45.

Гончаренко И.А., Федеряков В.Г., Лазарюк А.Ю., Пономарев В.И. (1993). Тематическая обработка данных AVHRR на примере изучения прибрежного апвеллинга. Исследование Земли из космоса, №2, с. 97-107.

Давыдова С.В. Видовой состав ихтиопланктона бухт залива Петра Великого и его сезонная динамика. Известия ТИНРО, 1998, т. 123, с. 105-121.

Данченков М.А., Обри Д.Г., Лобанов В.Б. Пространственная структура вод северо-западной части Японского моря зимой. Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду. Владивосток, Дальнаука. 2000. с. 92-105.

Дерюгин К.М. Зоны и биоценозы залива Петра Великого (Японское море). Сборник статей памяти Н.М.Книповича. Москва — Ленинград. 1939, Пищепромиздат, с. 115-142.

Иванков В.Н., Иванкова З.Г. Тропические и субтропические виды рыб в северо-западной части Японского моря. Известия ТИНРО, т. 123, с. 291-298.

Лоция северо-западного берега Японского моря. СПб, 1996, 354 с.

Моисеев П.А. Лов камбалы маломерными судами в Уссурийском заливе весной 1935 г. Известия ТИНРО, 1937, т. 12, с. 125-158.

Рачков В.И. Характеристика гидрохимических условий вод Амурского залива в теплый период года. Известия ТИНРО, 2002, т. 131, с. 65-77.

Aubrey D.G., Danchenkov M.A., Riser S.C. (2001). Belt of salt water in the north-western Japan Sea. In: «Oceanography of the Japan Sea». Vladivostok, Dalnauka, pp. 11-20.

Danchenkov M.A., Lobanov.B., Nikitin A.A. (1997). Mesoscale eddies in the Japan Sea, their role in circulation and heat transport. Proc. CREAMS Int. Symposium, Fukuoka, pp. 81-84.

Danchenkov M.A., Nikitin A.A., Volkov Yu.N., Goncharenko I.A. (1997). Surface thermal fronts of the Japan Sea. Proc. CREAMS Int. Symposium, Fukuoka, pp. 75-79.

Uda M. Results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November 1933. J. Imp. Fish. Exp. Station, 1934, v. 7, pp. 91-151.