

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

САХАЛИНСКИЙ ФИЛИАЛ («СахНИРО»)  
ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»

На правах рукописи



МАРЫЖИХИН ВСЕВОЛОД ЕВГЕНЬЕВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗОНЫ ШЕЛЬФА  
У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КРИЛЬОНСКИЙ  
(ЮГО-ЗАПАДНЫЙ САХАЛИН)**

Специальность 1.6.17 – Океанология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Научный руководитель:  
доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
Шевченко Георгий Владимирович

Владивосток-2026

## Оглавление

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                   | 4  |
| ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АКВАТОРИИ<br>ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КРИЛЬОНСКИЙ .....                                     | 11 |
| 1.1. Характеристика рельефа .....                                                                                                                | 11 |
| 1.2. Сезонные вариации приземного атмосферного давления и ветра.....                                                                             | 12 |
| 1.3. Гидрологическая характеристика .....                                                                                                        | 14 |
| 1.4. Вариации уровня моря в районе пролива Лаперуза.....                                                                                         | 18 |
| 1.5. Течения .....                                                                                                                               | 19 |
| ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....                                                                                                                 | 27 |
| 2.1. Стандартные океанологические разрезы .....                                                                                                  | 27 |
| 2.2. Исследования на р. Горбуша .....                                                                                                            | 29 |
| 2.3. Материалы инструментальных измерений .....                                                                                                  | 30 |
| 2.4. Мониторинг состояния полей ламинарии.....                                                                                                   | 31 |
| 2.5. Колебания уровня морей .....                                                                                                                | 32 |
| 2.6. Материалы спутниковых наблюдений .....                                                                                                      | 32 |
| 2.7. Данные метеорологических наблюдений .....                                                                                                   | 33 |
| ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ<br>УСЛОВИЙ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА СТАНДАРТНЫХ<br>ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗАХ.....         | 34 |
| 3.1. Сезонные вариации океанологических условий на стандартном разрезе п. Перепутье<br>— о. Монерон.....                                         | 36 |
| 3.2. Сезонные вариации океанологических условий на стандартном разрезе п. Перепутье<br>— о. Монерон по результатам отдельных судовых съемок..... | 48 |
| 3.3. Результаты океанологических съемок на разрезе Т1 .....                                                                                      | 53 |
| 3.4. Результаты океанологических съемок на разрезе Т2.....                                                                                       | 57 |
| Выводы по главе 3 .....                                                                                                                          | 64 |
| ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПРИЛИВОВ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ<br>ЮГО-ЗАПАДНОГО САХАЛИНА .....                                                             | 65 |
| 4.1. Влияние прилива на распределение температуры и солености на разрезе S1 .....                                                                | 66 |
| 4.1.1. Распределение температуры и солености на фазе прилива в теплый период года ....                                                           | 67 |
| 4.1.2. Распределение температуры и солености на фазе отлива в теплый период года .....                                                           | 71 |
| 4.2. Спутниковые наблюдения за температурой поверхности моря .....                                                                               | 77 |
| 4.3. Влияние прилива на распределение температуры и солености вблизи устья реки<br>Горбуша .....                                                 | 81 |

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4. Приливной апвеллинг вблизи о. Монерон .....                                              | 93  |
| 4.4.1. Вариации температуры воды под действием приливных течений.....                         | 94  |
| 4.4.2. Материалы судовых съемок .....                                                         | 98  |
| Выводы по главе 4 .....                                                                       | 101 |
| ГЛАВА 5. ВЕТРОВОЙ АПВЕЛЛИНГ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ.                                              |     |
| ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ АПВЕЛЛИНГА У ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ                                   |     |
| О. САХАЛИН .....                                                                              | 104 |
| 5.1. Сезонная смена направления ветра на западном побережье о. Сахалин.....                   | 105 |
| 5.2. Сезонный ветровой апвеллинг в северной части Татарского пролива .....                    | 108 |
| 5.3. Расчет параметров прибрежного апвеллинга .....                                           | 121 |
| 5.4. Специфика формирования ветрового апвеллинга у юго-западного побережья<br>о. Сахалин..... | 123 |
| 5.4.1. Ветровой апвеллинг в холодный период года .....                                        | 123 |
| 5.4.2 Ветровой апвеллинг в теплый период года .....                                           | 127 |
| Выводы по главе 5 .....                                                                       | 132 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                               | 134 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                        | 137 |

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Сравнительно небольшой район шельфовой зоны у западного побережья п-ова Крильонский (юго-западная часть о. Сахалин), включая пролив Лаперуза, выделяется сложным взаимодействием вод с различными характеристиками: это область смещения теплого Цусимского и холодного Западно-Сахалинского течений, а также охотоморской водной массы с более низкой соленостью, которая проникает через пролив Лаперуза. Участок шельфа в выбранном районе заметно отличается от более северных районов его протяженностью – материковый склон здесь удален от берега на расстояние около 50 км, в то время как к северу от г. Невельск материковая отмель значительно уже. Поступление охотоморской водной массы на юго-западное побережье Сахалина через пролив Лаперуза является определяющим фактором, влияющим на специфику гидрологического режима изучаемой акватории и требующим подробного изучения.

Исследование актуально вследствие недостаточной изученности Западно-Сахалинского течения. Этот факт отмечен в известных обобщениях (Гидрометеорология и гидрохимия..., 2003; Лоция Татарского..., 2003), что побудило провести анализ сезонной изменчивости и определить характеристики воды Западно-Сахалинского течения, поскольку эти вопросы до настоящего времени не освещены в должной мере в научной литературе, хотя им отведен ряд работ, основанных как на результатах океанологических съемок (Веселова, 1963; Яричин, Покудов, 1982; Danchenkov et al., 1992), так и материалах, полученных с помощью автономных буйковых станций (АБС) (Kantakov, Shevchenko, 1999; Кантаков и др., 2002). Наиболее слабо в литературе рассмотрен вопрос взаимодействия Западно-Сахалинского течения с охотоморской водной массой, поступающей через пролив Лаперуза на шельф у западного берега п-ова Крильонский.

Кроме того, нет окончательного мнения о происхождении пояса холодных вод у берегов п-ова Крильонский, иногда именуемого «пятном Макарова». В ряде работ (Макаров, 1894; Bobkov, Fouх, 1997; Митник и др., 2006 и др.) это явление объясняется приливным характером формирования пояса холодной воды у берегов п-ова Крильонский, что подтверждено спутниковыми наблюдениями за температурой поверхности моря (ТПМ) и инструментальными измерениями течений и температуры.

Иные точки зрения заключаются в наличие в теплый период года постоянного противотечения течению Соя в северной части пролива Лаперуза, которое выносит более холодную и менее соленую охотоморскую водную массу к западному побережью п-ова

Крильонский (Леонов, 1948; Danchenkov et al., 1999), или в отсутствии потока этой водной массы (Tanaka et al., 1996).

Исследование гидрологического режима в области смешения различных по своим свойствам водных масс важно и с точки зрения рыбохозяйственного значения региона – в южной части Татарского пролива производится добыча креветок и других видов беспозвоночных, а также лососей, минтая *Gadus chalcogrammus*, сельди *Clupea pallasii*, камбалы и т.д. (Ившина, 2023, 2025; Каев, 2023; Летунова, 2023; Великанов, 2024). В последние годы в этой акватории активно ведется любительский лов тунцов и некоторых других теплолюбивых видов рыб (Великанов, 2024). В плане богатства водными биологическими ресурсами стоит выделить прибрежную мелководную зону.

Из всего разнообразия водорослей-макрофитов в настоящее время в ходе прибрежного лова осваивается только сахарина японская *Saccharina japonica* (далее по тексту – ламинария) (Ресурсы и рациональное..., 2020). Процесс уменьшения или исчезновения полей произрастания промысловых видов бурых водорослей или замещения другими менее ценными видами вызывает интерес к изучению условий их обитания (Многолетняя динамика..., 2007). Причины происходящего могут быть связаны как с антропогенным воздействием на морскую среду и чрезмерным промыслом, так и с климато-океанологическими факторами (Ресурсы и рациональное..., 2020, Гидрометеорология и гидрохимия..., 2004).

**Объект исследования:** гидрологический режим шельфовой зоны юго-западного Сахалина в районе смешения япономорских и охотоморских водных масс.

**Предмет исследования:** изменчивость гидрологических характеристик акватории западного шельфа п-ова Крильонский, обусловленная сезонными перестройками уровня моря, сменой господствующего направления ветра и приливами.

**Цель:** изучить особенности и закономерности изменчивости гидрологического режима шельфа западного побережья п-ова Крильонский (юго-западный Сахалин), формирующихся под влиянием сезонных климатических факторов, приливов и ветра для оценки современных условий прибрежной экосистемы и прогнозирования состояния запаса промысловых видов рыб и беспозвоночных.

### **Задачи исследования:**

1. Определить сезонную изменчивость и характеристику воды Западно-Сахалинского течения.
2. Изучить влияние потока охотоморской водной массы, определить северную границу ее проникновения в юго-восточную часть Татарского пролива в холодный период года и оценить ее воздействие на гидрологические условия южного участка шельфовой зоны юго-западного Сахалина.
3. Изучить характер вертикального распределения температуры и солености на стандартном разрезе S1 (м. Крильон – м. Соя) в фазы прилива и отлива.
4. Изучить характер суточных и полумесячных вариаций температуры и солености в районе устья р. Горбуша и у кромки шельфа в районе о. Монерон по данным АБС.
5. Выявить причину резких понижений температуры морской воды на полигонах наблюдения за ламинарией у юго-западного берега о. Сахалин.

### **Результаты и их научная новизна**

1. Впервые определены характеристики сезонного холодного Западно-Сахалинского течения. Температура воды возрастает от 2,7 °С в мае до 5,3 °С в сентябре-октябре, соленость изменяется в узких пределах от 33,7 до 33,9 psu (с максимумом в августе), наибольшие скорости течения отмечаются в августе (около 40 см/с).
2. С помощью материалов CTD-зондирований и спутниковых наблюдений определена предельная северная граница проникновения охотоморской водной массы в холодный период года вдоль западного побережья п-ова Крильонский – м. Лопатина.
3. В теплый период года поступление охотоморской водной массы в акваторию у западного побережья п-ова Крильонский обусловлено приливами. Именно приливы являются причиной значительных вариаций температуры и солености морской воды и могут создать впечатление о наличии противотечения теплого течения Соя в северной части стандартного разреза S1.
4. Охотоморская водная масса, распространяющаяся под действием приливов вдоль западного побережья п-ова Крильонский, вопреки общепринятому мнению, является не только менее соленой, но и более теплой по сравнению с водой Западно-Сахалинского течения.
5. Диагностировано существование довольно редкого явления – приливного апвеллинга вдоль кромки шельфа к югу от о. Монерон, выраженного в суточных вариациях температуры величиной до 2 °С.

6. В теплый период года преобладающие ветра южных румбов нагонного характера создают у юго-западного берега о. Сахалин условия для даунвеллинга, при этом могут происходить резкие понижения температуры морской воды в прибрежье (до 10°C) продолжительностью около недели, возникающие под действием ветров восточного и северо-восточного румбов при выходе циклона в юго-западную часть Охотского моря.

### **Практическая значимость**

Развитие представлений об особенностях гидрологического режима всегда имеет важное значение для изучения состояния популяций промысловых видов рыб и беспозвоночных, в полной мере это относится и к району, рассматриваемому в данной работе. В то же время некоторые аспекты работы имеют более выраженное прикладное значение.

Резкие изменения температуры воды в прибрежье в теплый период года, обусловленные как приливами, так и ветрами сгонных направлений, представляют серьезную опасность (например, изменения направления миграции и даже гибели) для молоди тихоокеанских лососей как естественного воспроизводства, так и выпускаемой с рыбоводных заводов. Такие явления могут также негативно сказаться на уловах горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в период ее нерестовых подходов. Сезонный ветровой апвеллинг осенью способствует подъему из более глубоких слоев воды, богатой биогенными элементами (в частности, фосфором), важных для роста ламинарии. Приливной апвеллинг, существующий вдоль кромки шельфа к югу от о. Монерон, обеспечивает ежедневное поступление такой воды в прибрежную акваторию юго-западного Сахалина.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. В холодный период года (ноябрь–март) вдоль западного побережья п-ова Крильонский формируется устойчивое течение охотоморской водной массы, направленное на север. Оно идентифицируется по пониженным значениям солёности, регистрируемым на прибрежных станциях стандартного разреза п. Перепутье – о. Монерон. В теплый период (май–октябрь) в этом районе наблюдается узкий струйный поток холодной воды Западно-Сахалинского течения, ориентированного на юг.

2. Ежесуточная смена охотоморской и япономорской водных масс, обусловленная приливной динамикой, является важной особенностью гидрологического режима прибрежной зоны юго-западного шельфа Сахалина. Наиболее отчетливо она проявляется в южной части исследуемого района, где вариации океанологических параметров могут достигать 10 °C по температуре и 2 psu по солёности.

3. Подъем изотерм у юго-западного побережья о. Сахалин, связанный с влиянием Западно-Сахалинского течения, формирует условия для развития ветрового апвеллинга. В частности, при прохождении летних циклонов отмечается быстрое понижение температуры морской воды при сгонных ветрах.

### **Личный вклад**

Автор принимал участие как в морских судовых, так и в береговых (прибрежных) экспедициях на юго-западном шельфе о. Сахалин. В результате исследований собраны океанографические данные с помощью CTD-зондирований и АБС с дальнейшей обработкой и анализом полученных материалов, а также интерпретацией результатов. Автором проведен анализ архивных материалов, хранящихся в базе данных «СахНИРО» (прежде всего в базах «Атлас» и “NiroPro”). Автором с помощью программного обеспечения Ocean DataView был построен и проанализирован иллюстративный материал. Автор участвовал в формулировке научных положений, а также в представлении полученных результатов и выводов на научных симпозиумах и конференциях.

### **Степень достоверности и апробация работы**

Достоверность полученных результатов, представленных в работе, обусловлена использованием современных измерительных приборов, поверенных зондов, сопоставлением результатов океанологических зондирований на соседних стандартных разрезах, применением апробированных и широко используемых в научных исследованиях методов обработки океанологических данных (в частности, пакета Ocean DataView) стандартных устоявшихся методов статистического и гармонического анализа, сравнением с результатами других исследователей.

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на конференциях и симпозиумах, в том числе на: «Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря. Третья научная конференция», 26–28 апреля 2017 г., г. Владивосток (2017); всероссийской конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска», г. Южно-Сахалинск (2015 г.); VII научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса», г. Москва (2019 г.); IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы», г. Южно-Сахалинск (2021 г.); X международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Современные проблемы и перспективы

развития рыбохозяйственного комплекса», г. Москва (2022 г.); всероссийской научно-практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: Современные достижения и тенденции развития», г. Санкт-Петербург (2023 г.); океанологические исследования. X конференция молодых ученых, г. Владивосток (2023 г.); V Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы», Южно-Сахалинск (2024 г.); XIV Всероссийском симпозиуме «Физика геосфер», г. Владивосток (2025 г.).

### **Публикация результатов**

По теме диссертации всего опубликовано 14 работ, включая 5 статей в журналах из списка ВАК, материалы представлены на 12 российских конференциях и симпозиумах с международным участием.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, включающих физико-географическую характеристику района исследований (содержащую, наряду с введением, краткий обзор изученности района по литературным источникам), характеристику материалов, на которых основана работа, и собственные исследования в главах 3–5, заключение, а также список литературы. Работа изложена на 143 страницах, иллюстрирована 74 рисунками и содержит 7 таблиц. Список литературы включает 87 источников.

### **Благодарности**

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность своему научному руководителю доктору физико-математических наук Георгию Владимировичу Шевченко; коллективу Сахалинского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») за помощь в сборе материала и создании данной работы – в частности бывшему заместителю директора Г. А. Кантакову, одному из инициаторов проекта «Пролив Лаперуза» и организатору масштабных гидрологических исследований у побережья п-ова Крильонский; ведущему специалисту лаборатории океанографии В. Н. Частикову; ведущему научному сотруднику лаборатории лососевых рыб доктору биологических наук В. С. Лабаю; сотрудникам лаборатории гидробиологии, и особенно ее руководителю Е. С. Корнееву; сотрудникам лаборатории аквакультуры беспозвоночных и водорослей и ее руководителю Н. Ю. Прохоровой; ведущему научному сотруднику лаборатории исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия кандидату биологических наук Т. Г. Кореневой; создателю баз данных «Атлас» и “NiroPro”

ведущему научному сотруднику ИМГиГ ДВО РАН доктору технических наук В. М. Пищальнику. Также выражаю благодарность заведующей отделом аспирантуры Института морской геологии и геофизики ДВО РАН М. Ю. Андреевой.

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АКВАТОРИИ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КРИЛЬОНСКИЙ

## 1.1. Характеристика рельефа

В диссертационной работе рассмотрен небольшой по площади участок шельфа, примыкающий к юго-западному побережью о. Сахалин (западному берегу п-ова Крильонский) между м. Лопатина на севере и м. Крильон на юге. Район находится в юго-восточной части Татарского пролива Японского моря, вблизи пролива Лаперуза, через который происходит водообмен с Охотским морем. Пролив Лаперуза расположен между о. Сахалин на севере и о. Хоккайдо на юге, его наименьшая ширина (между м. Крильон и м. Соя) 23 мили. С северо-востока к нему примыкает обширный залив Анива (рисунок 1.1).

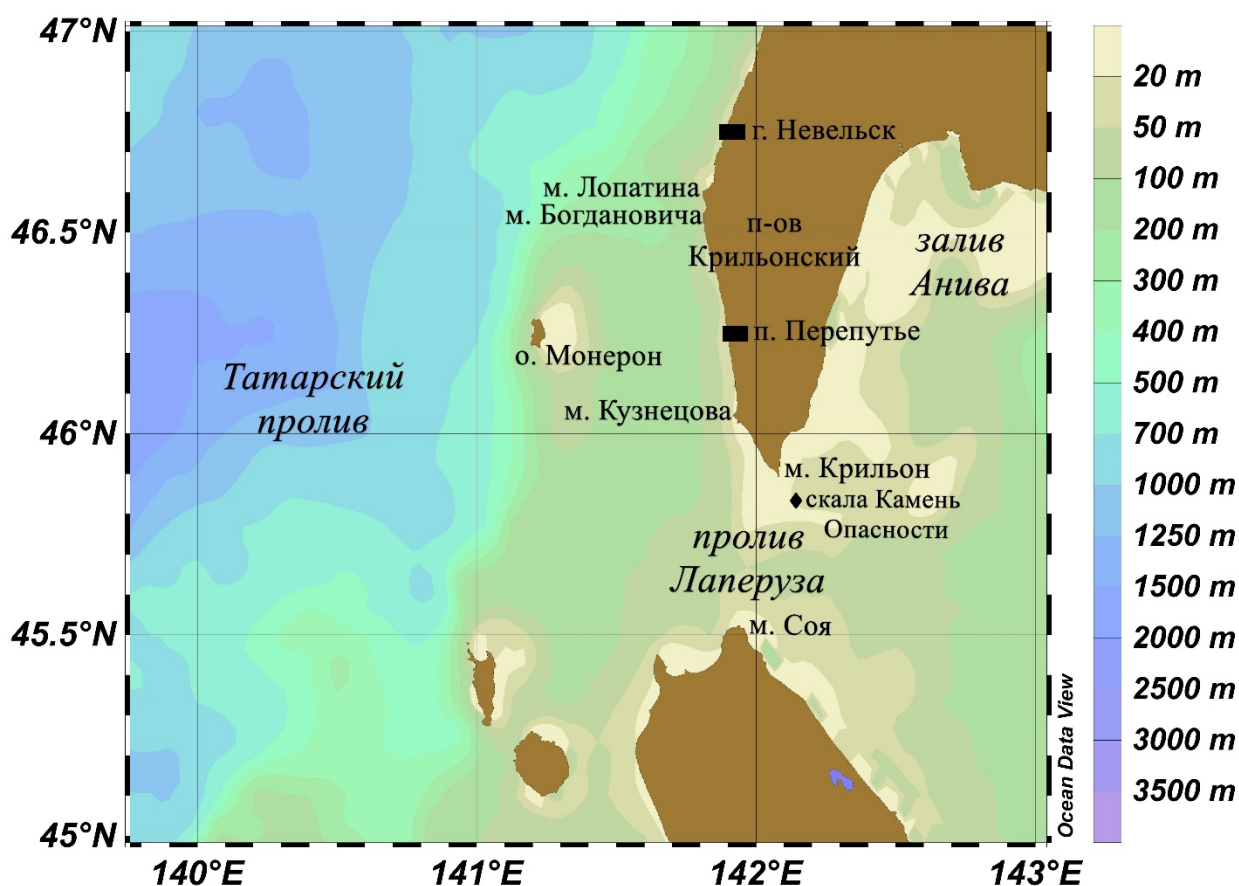


Рисунок 1.1 – Карта-схема юго-западного побережья о. Сахалин.

Береговая линия от м. Лопатина до м. Кузнецова ориентирована почти меридионально, здесь преобладает плоский рельеф дна с хорошо выраженной материковой отмелью, ширина шельфа до склона составляет порядка 50 км. Для

изучаемого района характерен выраженный материковый склон, глубина быстро возрастает по мере удаления от кромки шельфа. На север от м. Лопатина ширина шельфа значительно меньше, и склон проходит рядом с берегом. С восточной стороны о. Монерон и до начала шельфа о. Сахалин глубины небольшие, с формой рельефа в виде слабо выраженной котловины с максимальной глубиной около 170 м. С западной стороны о. Монерон начинается резкий свал глубин. В южной части Татарского пролива глубины достигают 1773 м; они плавно уменьшаются с юга на север и от середины южной части пролива к его берегам. На подходе к проливу Лаперуза с запада глубины от 700 м и в наиболее узкой части пролива быстро уменьшаются до 60 – 40 м, а затем постепенно увеличиваются. Особенность донного рельефа – скала Камень Опасности, расположенная в 8,5 милях к юго-востоку от м. Крильон и возвышающаяся над водой на 5 м. Длина ее 150 м, ширина около 50 м. (Люция Татарского..., 2003).

Берега Татарского пролива в целом преимущественно высокие и обрывистые, изрезаны мало и в основном приглубы. Вдоль восточного берега пролива тянутся Западно-Сахалинские горы, состоящие из нескольких параллельных хребтов. Самый высокий – Камышовый. Южным продолжением Камышового хребта является Южно-Камышовый хребет, который простирается на юг до м. Крильон. В районе м. Кузнецова высота прибрежных гор 300–400 м и по мере продвижения на север они повышаются до 1000 м (Люция Татарского..., 2003). Эти особенности имеют большое значение для формирования поля ветра, воздушные потоки у юго-западного побережья Сахалина имеют преимущественно меридиональное направление.

В непосредственной близости от береговой линии часто встречаются камни, отмели и скалистые островки, что является угрозой судоходству и может служить источником опасности, как например ситуация с танкером «Надежда» в 2016 г., севшим на мель в районе г. Невельск (Коренева и др, 2017).

В Татарском проливе нет больших островов, за исключением о. Монерон, наличие которого оказывает существенное влияние на формирование течений в изучаемом районе.

## **1.2. Сезонные вариации приземного атмосферного давления и ветра**

Одним из наиболее важных гидрометеорологических факторов, влияющих на гидрологический режим морских акваторий, в особенности прибрежных, является воздействие ветра. В особенности это важно для районов с муссонным характером климата, характеризующимся сменой преобладающих ветров в различные сезоны года, что характерно и для о. Сахалин.

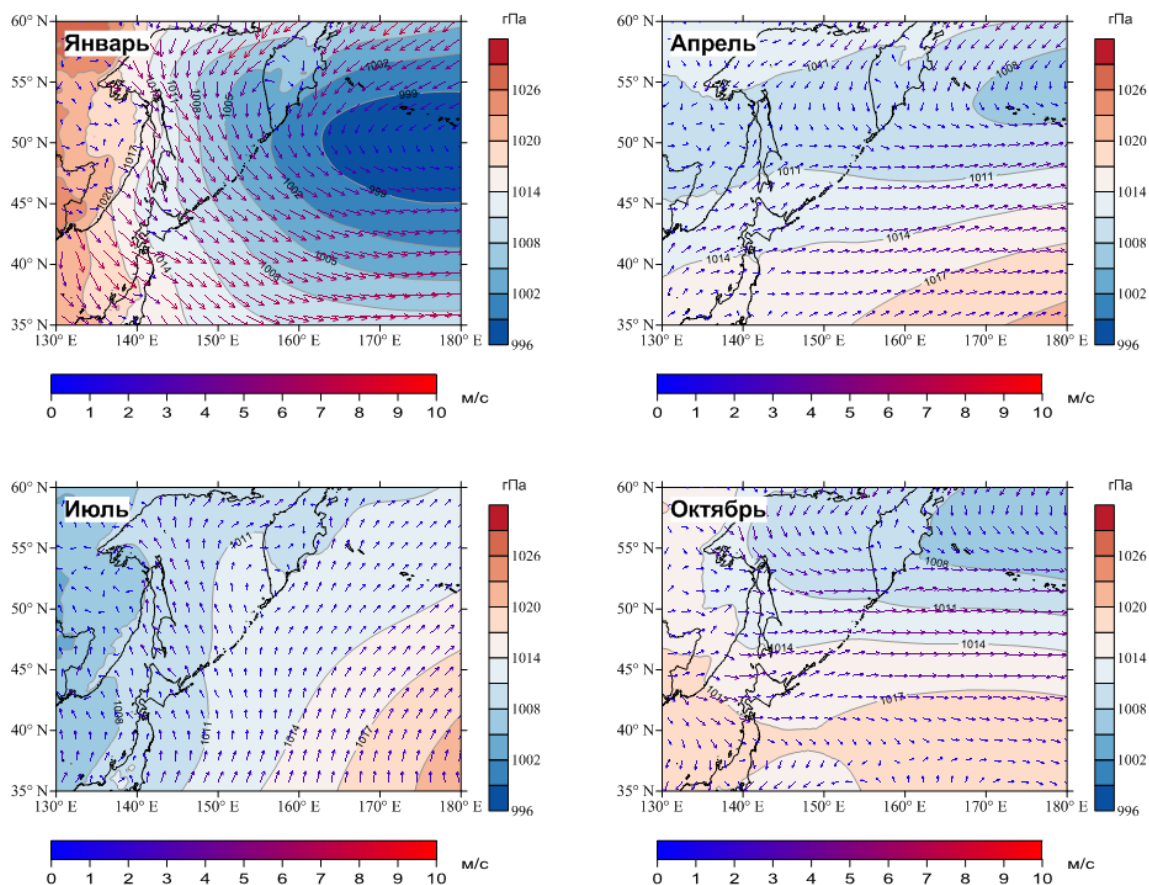


Рисунок 1.2 – Пространственное распределение среднего многолетнего поля приземного атмосферного давления (в гПа) и скорости ветра (в м/с, показана цветом векторов) зимой (январь), весной (апрель), летом (июль) и осенью (октябрь).

На рисунке 1.2 (подготовлен к.ф.-м.н. Д.М. Ложкиным, Сахалинский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), далее по тексту – «СахНИРО») представлены среднемесячные вектора скорости ветра, наложенные на пространственное распределение приземного атмосферного давления для различных сезонов года: зимы (январь), весны (апрель), лета (июль) и осени (октябрь). Они характеризуют известные особенности сезонной пространственно-временной изменчивости метеорологических полей над северо-западной частью Тихого океана (Тихий океан..., 1966).

Зимой главным фактором, определяющим атмосферную циркуляцию над северо-западной частью Тихого океана (далее СЗТО), является наличие мощного крупномасштабного минимума приземного атмосферного давления – Алеутской депрессии, центр которой находится в центральной части Алеутской островной дуги. Вокруг этого минимума формируется циклонический круговорот, который определяет воздушные потоки не только над СЗТО, но и над дальневосточными морями (зимний муссон). Над Беринговым морем это преимущественно ветра северо-восточных и близких к нему румбов, над Охотским северного, в северной части моря северо-восточного, в

южной юго-западного румба. Над Японским морем и СЗТО это ветра северо-западного румба, по мере удаления в океан северо-северо западного румба. Это сильные и устойчивые ветра, во многом определяющие взаимодействие между атмосферой и океаном (на формирование потоков скрытого и явного тепла и иные процессы).

Весной градиенты приземного атмосферного давления невелики, атмосферная циркуляция не выражена. В северной части изучаемого района еще сказывается остаточное влияние Алеутского минимума, сместившегося на акваторию Берингова моря, на юго-востоке начинает формироваться область повышенного давления, формирующая в южной части СЗТО ветра юго-западного румба. В западной части рассматриваемой области, над Охотским и Японским морями скорости ветра незначительны.

В октябре, хотя градиенты атмосферного давления сравнительно невелики (над Беринговым морем начинает проявляться область низкого давления), над дальневосточными морями уже устанавливается атмосферная циркуляция, типичная для зимнего муссона. Однако в южной части изучаемого района, над СЗТО наблюдается зонально вытянутая полоса высокого давления и сложная картина с разнонаправленными воздушными потоками (Шевченко, Ложкин, 2026).

Штормовые ветра могут наблюдаться в любой месяц с вероятностью от 5 % летом и до 22 % зимой, а скорость ветра при этом может достигать 30 м/с (Гидрометеорология и гидрохимия..., 2003). Татарский пролив и прилегающие к нему акватории находятся в зоне интенсивного прохождения циклонов. В холодное полугодие штормовое волнение развивается при выходе континентальных, морских или местных циклонов, летом — при выходе тайфунов.

### **1.3. Гидрологическая характеристика**

Как указывается в известных изданиях (Гидрометеорология и гидрохимия..., 2003), температура воды летом на поверхности в Татарском проливе повышается до 15 °С, а в глубоко вдающихся в сушу бухтах до 25 °С. Годовой ход температуры воды заметен в слое 0 – 250 м. Глубже колебания температуры от сезона к сезону практически отсутствуют. Минимальные значения средней месячной температуры воды наступают в феврале-марте на всех горизонтах деятельного слоя. Максимум обычно наблюдается в конце лета и осенью, причем с глубиной он смещается на более позднее время. Это общие сведения, касающиеся юго-восточной части Татарского пролива. Более детально годовой ход температуры и солености в этом районе рассмотрен в работе В.М. Пищальника с соавторами (2009), они строились по стандартным горизонтам для условной гидрологической станции. Океанологические параметры усреднялись при этом по

достаточно большой акватории, включающей весь юго-западный Сахалин, и особенности, присущие изучаемому району, не отражены.

Важные результаты сезонной изменчивости термохалинной структуры получены в результате анализа средних многолетних распределений температуры и солености на стандартном океанологическом разрезе м. Слепиковского – м. Золотой (Шевченко, Частиков, 2006). В частности, было диагностировано существование в теплый период года узкого струйного холодного Западно-Сахалинского течения в восточной части разреза. Было показано, что это течение достигает максимума интенсивности в августе (до 30 см/с). Отмечено, что несмотря на уменьшение роли компенсационного фактора, в ноябре это течение еще отчетливо выделялось, что связывалось с возрастанием роли ветра.

Основываясь на результатах анализа спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря (ТПМ) в Татарском проливе (Шевченко, Ложкин, 2023), приведем краткую характеристику термического режима изучаемой акватории. На рисунке 1.3 приведены фрагменты средних многолетних пространственных распределений ТПМ для различных сезонов года из указанной работы (за 1998 – 2022 гг. по данным приемной спутниковой станции TeraScan («СахНИРО»)), относящиеся к изучаемому району. Пространственное разрешение данных было четверть градуса.

В зимние месяцы (январь, февраль март; в дальневосточных морях гидрологические сезоны смещены на месяц вперед по сравнению с календарными (Гидрология и гидрохимия..., 2003)) у западной границы области вода наиболее теплая, 3,4 – 3,5 °С, в районе материкового склона еще сказывается остаточное влияние теплого Цусимского течения, благодаря которому зимы в южной части о. Сахалин сравнительно мягкие. По мере приближения к берегу температура воды снижается и на участке от м. Лопатина до м. Кузнецова колеблется от 0,5 до 0,2 °С. Далее к югу от м. Кузнецова значения параметра снижаются до 0 °С, а в прилегающей части залива Анива до отрицательных значений (минимум – 0,5 °С).

Весной (апрель-июнь) характер пространственного распределения ТПМ в целом был примерно таким же – более теплая вода в западной части, более холодная вблизи берега п-ова Крильонский. Правда, зона влияния Цусимского течения не ограничивалась районом свала глубин, благодаря его ветви, огибающей с севера о. Монерон, она сильнее распространялась на восток. Температура в этой области менялась в довольно узких пределах, от 7 до 7,5 °С, в прибрежной зоне ее значения снижались до 4,5–5 °С, а к югу от м. Кузнецова составляли менее 4 °С (Шевченко, Ложкин, 2023).

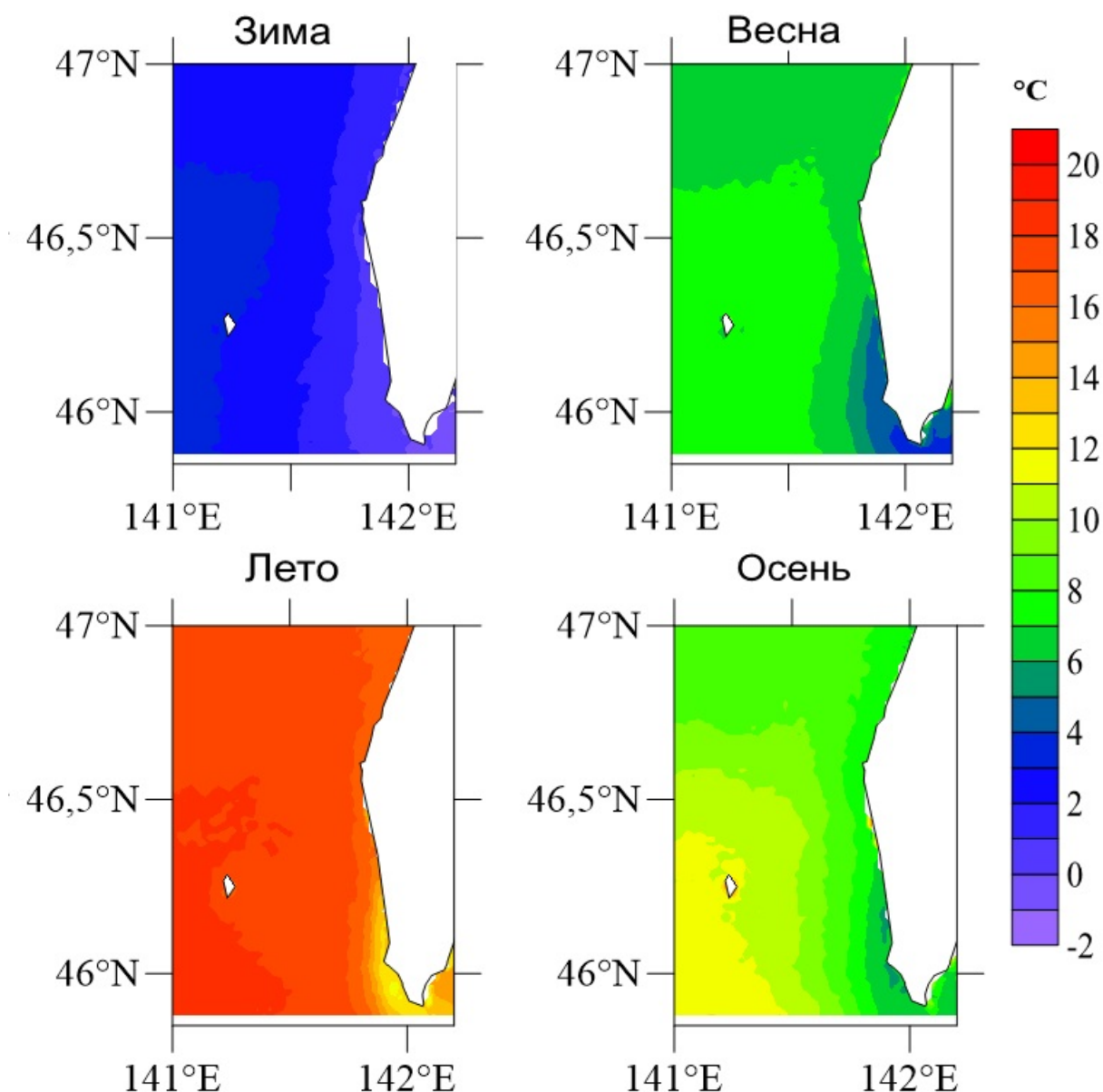


Рисунок 1.3 – Пространственные распределения ТПМ в изучаемом районе в различные сезоны года (фрагмент рисунка из работы (Шевченко, Ложкин, 2023)).

Летом (июль-сентябрь) на подавляющей части рассматриваемой акватории значения ТПМ колеблются в пределах от 17,5 до 19 °С, холодная вода занимает минимальную площадь, значения параметра – около 13 °С, южнее м. Кузнецова 12 °С. Различия в термических условиях достигают в этот период наибольших значений: 5 – 7 °С (Шевченко, Ложкин, 2023).

Осенью (октябрь-декабрь) пространственные различия ТПМ также очень велики. В основной струе Цусимского течения, над материковым склоном (к западу от о. Монерон) значения параметра колеблются в пределах 11 – 12 °С, в ветви, огибающей остров, они

несколько ниже, около 10 °С, что указывает на более быстрое выхолаживание поверхностного слоя воды по сравнению с более глубоководной акватории. В прибрежной зоне п-ова Крильонский температура воды около 6 °С (Шевченко, Ложкин, 2023).

Таким образом, в течение всего года значения ТПМ имеют максимальные значения в западной части изучаемого района, над материковым склоном, и убывают в восточном направлении, достигая минимальных величин в прибрежной зоне п-ова Крильонский, самая холодная вода отмечена на участке от м. Кузнецова до м. Крильон.

Помимо непосредственно термических условий в изучаемой области, важным представляется рассмотреть пространственное распределение первой моды разложения поля ТПО по ЕОФ (рисунок 1.4) из работы (Цхай, Шевченко, 2005) в более обширном районе, включающем акваторию между островами Сахалин и Хоккайдо. Расчет производился за 6-летний период наблюдений (1998 – 2003 гг.), то есть отражает наиболее общие, повторяющиеся свойства вариаций температуры поверхностного слоя воды.

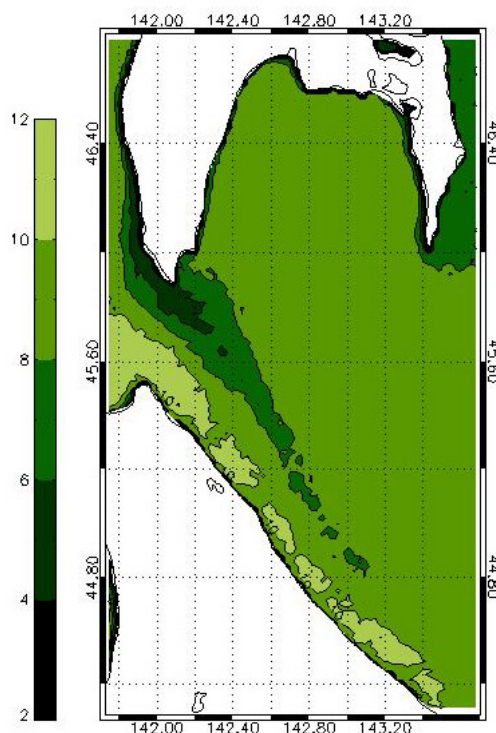


Рисунок 1.4 – Пространственное распределение первой моды разложения поля ТПО (1998–2003 гг.) ЕОФ в проливе Лаперуза (из работы (Цхай, Шевченко, 2005)).

На рисунке хорошо видна узкая полоса холодной водной массы Западно-Сахалинского течения, постепенно расширяющаяся к югу от м. Лопатина, входящая в пояс холодной воды (холодноводное пятно Макарова), минимальные температуры в котором отмечены на участке от м. Кузнецова до скалы Камень Опасности. Полоса

холодной воды тянется дальше, параллельно струе теплого течения Соя, занимающего северный шельф о. Хоккайдо. Аналогичная картина была получена в работах (Мороз, 2015; Мороз, Рудых, 2015) (данные съемок ТОИ за период 1970-2015, спутниковые снимки ИАПУ за 2008-2014), авторы которых связывали ее формирование главным образом с влиянием ветра, как и в работе (Жабин и др., 1992).

На распределение солености воды в Японском море влияют незначительный пресный сток рек, существенное испарение, весьма ограниченная связь с океаном и интенсивная осенне-зимняя конвекция. При выходе глубоких циклонов и тайфунов, несущих обильные осадки, возможно кратковременное распреснение поверхностного слоя воды, особенно в прибрежной зоне. Наиболее высокая соленость на поверхности моря — 34,0 psu — наблюдается зимой. Осадки и сток рек в это время минимальны. Интенсивное конвективное перемешивание и льдообразование в холодном секторе также способствуют увеличению солености воды на поверхности северной половины моря. В весенний период прекращается осенне-зимняя конвекция и усиливается таяние льда, что обуславливает распреснение и расслоение поверхностной толщи вод. В августе существенно снижается соленость на севере и юге моря. Это происходит под влиянием интенсивных осадков и стока рек, короткий паводок которых наблюдается в конце лета. Средняя соленость на поверхности моря в августе составляет 33,3 psu (Гидрометеорология и гидрохимия..., 2003).

#### **1.4. Вариации уровня моря в районе пролива Лаперуза**

В работе С.О. Макарова (1894) установлено, что в теплый период года уровень выше в Японском море, что обеспечивает поток теплой соленой воды течения Соя в Охотское море. Как было установлено позднее (Saveliev et al., 2002; Шевченко и др., 2005; Шевченко и др., 2007), в холодный сезон ситуация обратная, благодаря чему может возникать постоянный поток охотоморской водной массы в юго-восточную часть Татарского пролива. Если течение Соя и его различные особенности изучены достаточно хорошо (Takizawa, 1982; Aota et al., 1998; Бобков, 1989; Tanaka et al., 1996; Tanaka, Nakata, 1999; Ebuchi et al., 2006), то сезонный поток из охотского моря и его влияние на гидрологические условия акватории у юго-западного берега о. Сахалин освещены существенно слабее. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

В работе Савельева (Saveliev et al., 2002) на основе разности средних месячных значений уровня моря на станциях Вакканай (северная оконечность о. Хоккайдо) и м. Крильон оценивался транспорт воды через пролив Лаперуза и его сезонная изменчивость. Некоторым затруднением для подобных исследований было то, что

высотные основы, принятые в России (Балтийская система 1977 г.) и Японии (Токуо Point) не привязаны друг к другу, поэтому высоты уровня на станциях даны относительно нулевого среднего уровня. Эту сложность авторы работы (Saveliev et al., 2002) преодолели путем расчета уклона уровенной поверхности по вертикальному распределению плотности на стандартном разрезе S1 (глава 2), и пришли к выводу о его незначительной величине. К аналогичному выводу привел анализ средних значений уровня по данным спутниковой альтиметрии вдоль трека, проходящего в районе портов Корсаков на Сахалине и Момбецу на северном побережье Хоккайдо (Romanov et al., 2005). В работе Шевченко с соавторами (2007) отмечались в целом незначительные различия средних высот уровенной поверхности между различными берегами Татарского пролива. Поэтому в указанных работах влияние возможной разницы в высотах средних многолетних значений уровня между островами не учитывалось, поскольку она, вероятно, невелика и не влияет существенно на сравнительные оценки сезонных вариаций в районе пролива Лаперуза.

В работе (Шевченко и др., 2005) были построены уровенные поверхности в проливе Лаперуза для июля (период максимальной интенсивности теплого течения Соя) и ноября, когда значимо сказывается влияние Восточно-Сахалинского течения. Именно активизация Восточно-Сахалинского течения является причиной высоких значений уровня моря в юго-западной части Охотского моря и в проливе Лаперуза зимой, что является весьма необычным явлением. В Японском море годовой ход уровня имеет обычный характер для стерических вариаций, обусловленных прежде всего уменьшением плотности морской воды в результате прогрева поверхностного слоя летом и увеличением в зимние месяцы. На станциях Невельск и Холмск в результате влияния Охотского моря характер сезонных колебаний уровня носит смешанный характер, с двумя относительно слабыми максимумами в августе и в декабре (Шевченко и др., 2007).

### **1.5. Течения**

Исследуемый район является весьма сложным с точки зрения взаимодействия влияющих на него течений, что удивительно для акватории сравнительно небольших размеров. Это, прежде всего, Цусимское течение, теплая и соленая вода которого движется вдоль свала глубин в северном направлении, а в районе м. Лопатина поворачивает на северо-восток в соответствии с рельефом морского дна (рисунок 1.5). Цусимское течение, как и его ветвь, огибающая о. Монерон с севера и оказывающая непосредственное действие на юго-западный шельф о. Сахалин, хорошо изучены и приведены на всех известных схемах течений, включая авторитетные обобщения

(Юрасов, Яричин, 1990; Гидрометеорология и гидрохимия..., 2003; Лоция Татарского..., 2003).

С точки зрения особенностей гидрологического режима юго-западного шельфа о. Сахалин, важны три ответвления теплого Цусимского течения, три антициклонических поворота: в пролив Лаперуза (течения Соя), вокруг о. Монерон, непосредственно в пределах изучаемого района, и в районе Чехово-Ильинского мелководья, где берет начало холодное Западно-Сахалинское течение.

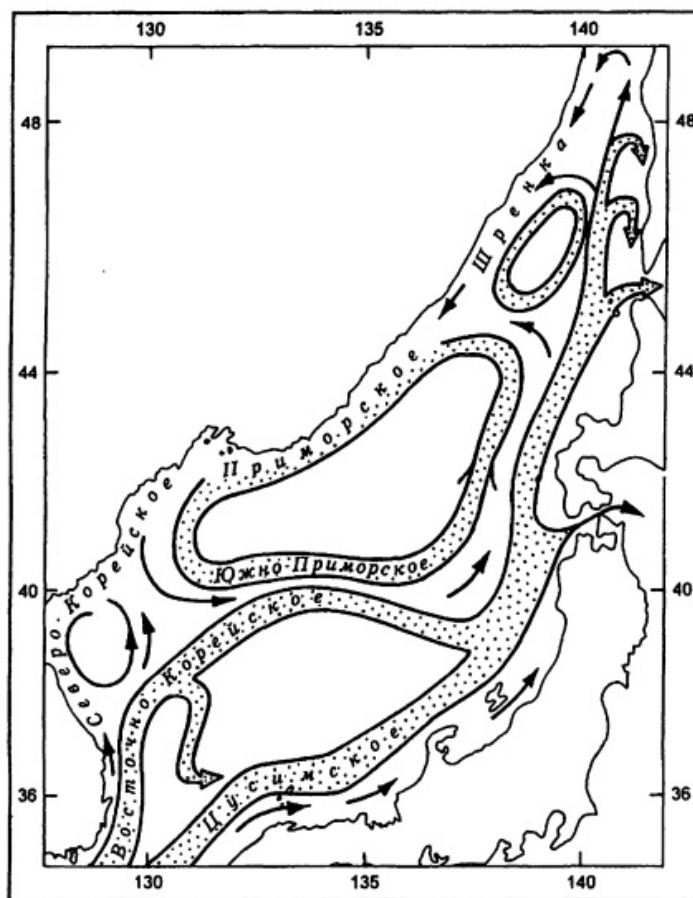


Рисунок 1.5 – Схема течений Японского моря (фрагмент рисунка из работы (Гидрология..., 2003)).

Западно-Сахалинское течение гораздо менее изучено, хотя первая работа, в которой оно было описано, вышла достаточно давно (Веселова, 1963). Не было оно диагностировано и по результатам численного моделирования циркуляции вод в Татарском проливе, основанном на большом объеме данных океанологических съемок (Будаева и др., 1981). Хотя в этой работе отмечен поток воды вдоль побережья п-ова Крильонский в пролив Лаперуза, но авторы считали, что так движется вода Цусимского течения, ветвь которого огибает о. Монерон.

Гидрологические причины формирования Западно-Сахалинского течения в результате разделения Цусимского течения на две струи в районе Чехово-Ильинского мелководья были описаны в работе Яричина и Покудова (1982). Тем не менее, в указанных выше обобщениях Западно-Сахалинское течение отнесено к слабо изученным течениям, и это действительно так. К примеру, в Лоции (2003) написано, что «на участке между мысами Кузнецова и Крильон вдоль берега проходит юго-восточное течение, скорость которого достигает 2 узлов». Это утверждение неточное как минимум в двух аспектах. Как показали измерения АБС на Кузнецовской и Виндисской морских нефтегазоносных площадях, скорость течения не превышала 1 узла, и оно было ориентировано не на юго-восток, в направлении м. Крильон и пролива Лаперуза, а на юг, в зону дивергенции Цусимского течения, где формируется его охотоморская ветвь течения Соя (Kantakov, Shevchenko, 1999).

Приведем еще одно важное утверждение из Лоции (2003), касающееся Западно-Сахалинского течения: «При устойчивых ветрах от востока и юго-востока, а также под воздействием приливо-отливных течений оно может изменять скорость или даже прекращаться и принимать обратное направление». Это указывает на весьма сложный характер взаимодействия Западно-Сахалинского течения с приливным потоком, движущимся из пролива Лаперуза вдоль юго-западного берега п-ова Крильонский, и недостаточный уровень его понимания.

Об этом также свидетельствует работа Пищальника с соавторами (Пищальник и др., 2003), в которой написано, что «меньшая часть потока в восточном секторе круговорота поворачивает на юг и в виде Западно-Сахалинского течения выходит из пролива» (речь о зоне дивергенции теплого Цусимского течения в районе параллели 47 ° с. ш. При этом каким образом ветвь теплого течения может превратиться в холодное, авторами не поясняется).

В другой работе В.М. Пищальника с соавторами (Пищальник и др., 2010) отмечалось, что Западно-Сахалинское течение диагностируется не по всем океанологическим съемкам, на основании чего авторы сделали вывод о его прерывистом характере, хотя, возможно, причиной этого был его сезонный характер.

Существенное внимание к вопросу изучения Западно-Сахалинского течения уделено в работе М.А. Данченкова (Danchenkov et al., 1999), где приведен краткий обзор взглядов различных авторов, весьма противоречивых. Так, в работах таких известных специалистов (Uda, 1934; Leonov, 1948) указывалось на наличие течения вдоль западного побережья п-ова Крильонский, берущего начало в проливе Лаперуза и ориентированное на север (на подобный характер движение охотоморской водной массы, имеющей

меньшую плотность по сравнению с япономорской, указывал еще С.О. Макаров (1894)). Иное направление приведено на схеме других авторов (Яричин, Покудов, 1982), и названное ими «Сахалинское течение» (схема воспроизведена в работе М.А. Данченкова с соавторами (Danchenkov et al., 1999) и заимствована нами, рисунок 1.6). В этой работе отмечено, что вода Западно-Сахалинского течения характеризуется пониженной соленостью, что, возможно, обусловлено, влиянием охотоморской водной массы, которая участвует в формировании пояса холодной воды у побережья п-ова Крильонский.

Необходимо отметить работу (Tanaka et al., 1996), в которой указывалось, что вода Западно-Сахалинского течения непосредственно движется в пролив Лаперуза и выносится в Охотское море.

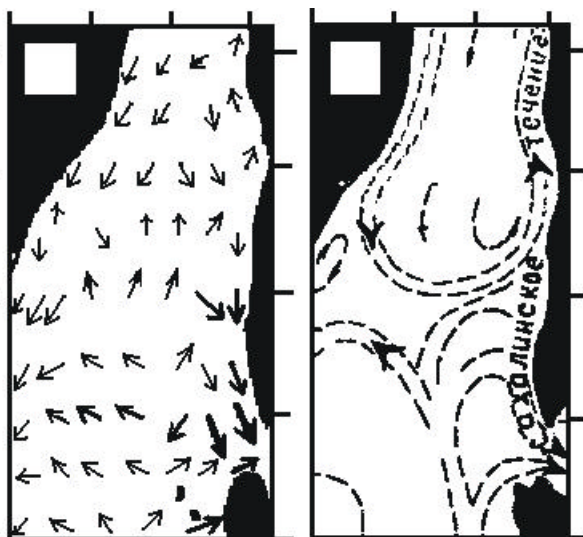


Рисунок 1.6 – Схема течений в южной части Татарского пролива (фрагмент рисунка из работы (Danchenkov et al., 1999)).

К несколько иному выводу привели результаты анализа инструментальных измерений в работе (Kantakov, Shevchenko, 1999).

На рисунке 1.7 из данной работы приведены средние вектора скорости течения на разрезе п. Перепутье – о. Монерон (август 1996 г.), и морских нефтегазоносных площадях Кузнецовской (май-июнь 1978 г.) и Виндиской (июнь 1979 г.). Вектора скорости течений направлены не вдоль берега, а с некоторым отклонением к западу, что позволило сделать вывод о том, что Западно-Сахалинское течение ориентировано не прямо в пролив Лаперуза, а в зону дивергенции Цусимского течения, где от него отделяется охотоморская ветвь – течение Соя.

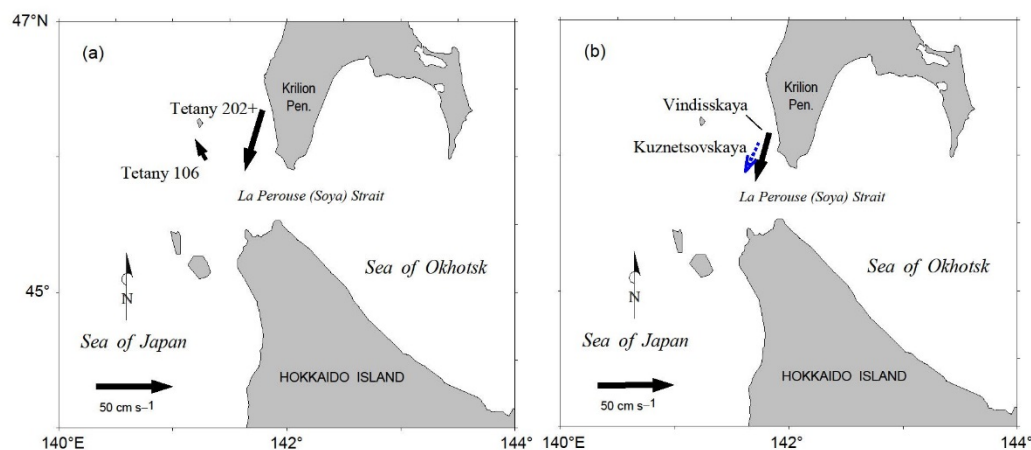


Рисунок 1.7 – Средние вектора неперiodической составляющей течений по данным инструментальных измерений на АБС Tetany 106 и 202 (рисунок слева) и на Кузнецовской и Виндисской морских нефтегазоносных площадях (справа) (фрагмент рисунка из работы (Kantakov, Shevchenko, 1999)).

Сложным является вопрос о характере течений в северной части пролива Лаперуза, примыкающей к п-ову Крильонский. Как отмечалось выше, несмотря на весьма убедительное объяснение формирования пояса холодной воды у п-ова Крильонский, которое было дано выдающимся русским ученым С.О. Макаровым (1894), до настоящего времени установившегося взгляда на природу формирования пояса холодной воды пока не сложилось. Прославленный русский исследователь обратил внимание на то, что измерения температуры морской воды с борта судна в районе скалы Камень Опасности показали резкое ее уменьшение в течение нескольких часов. Он связал этот эффект с набеганием приливной волны, распространяющейся в направлении пролива из Охотского моря и подъемом холодной воды из глубоких слоев в результате взаимодействия приливного потока с резким изменением донного рельефа, препятствие в виде скалы. Несмотря на низкую температуру, охотоморская водная масса за счет более низкой солености поворачивает после прохождения пролива Лаперуза направо, на север, в соответствии с обычными геострофическими соотношениями.

Также есть альтернативные точки зрения, в частности в работе Жабина с соавторами (Жабин и др., 1992) формирование этого пояса объяснялось ветровым апвеллингом. Эту точку зрения в определенной мере разделял и Данченков с соавторами (Danchenkov et al., 1999), хотя они и подчеркивали важную роль приливных течений. В этой работе, также, как и в работе Леонова (1948), были получены результаты,

свидетельствующие о наличии противотечения теплomu течению Соя в северной части пролива Лаперуза (рисунок 1.8)

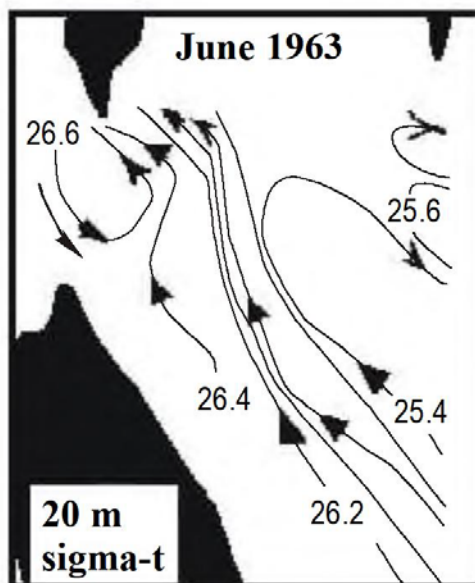


Рисунок 1.8 – Схема течений на горизонте 20 м в проливе Лаперуза, рассчитанная по результатам океанологической съемки в июне 1963 г. (фрагмент рисунка из работы (Danchenkov et al., 1999)).

Тот факт, что приливы играют важнейшую роль в динамике вод в проливе Лаперуза, отмечалось многими исследователями. В частности, в работах японских авторов (Aota, Matsuyama, 1987; Odamaki, 1994; Tanaka, Nakata, 1994, Ebuchi et al., 2006) утверждалось, что приливные течения могут преодолевать поток течения Соя.

Приливной характер происхождения пояса холодной воды («пятна Макарова») был подтвержден в результате анализа спутниковой информации (Bobkov, Foux, 1997; Митник и др., 2006). По данным инструментальных наблюдений, полученных с помощью АБС, (Шевченко и др., 2005), в центральной части пролива Лаперуза приливные течения могут достигать 6 узлов, а вблизи м. Крыльон еще большей величины, и носят неправильный суточный характер. Определение гармонических постоянных главных приливных волн позволило определять скорость и направление приливного течения во время выполнения океанологических съемок, что использовалось в данной работе при интерпретации результатов анализа океанологических съемок на стандартном разрезе S1 (Глава 3). Инструментальные измерения в течение практически полного года позволили изучить сезонную изменчивость течения Соя, которое достигает максимума в июле-августе и практически исчезает в зимние месяцы (декабрь-январь) (Шевченко и др., 2005). Это

является следствием различного характера вариаций среднего уровня в Японском и Охотском морях. В первом главную роль играет прогрев воды в летний период (максимум в августе) и охлаждение в зимний (минимум в феврале). В Охотском более важен динамический фактор, усиление всех звеньев циклонической циркуляционной цепи приводит к повышению уровня вдоль всего побережья, включая залив Анива. Однако характер течений в северной части пролива Лаперуза и, в частности, наличие постоянного потока охотоморской водной массы не был изучен.

В ряде работ (Кантаков, Шевченко, 2001; Шевченко и др., 2005) отмечены случаи затока охотоморской водной массы в юго-восточную часть Татарского пролива под действием ветров восточного румба, названного авторами «обращением течения Соя». Такие случаи, как правило, наблюдаются в период сезонного ослабления течения Соя, в холодный период года, в некоторых случаях они сопровождаются выносом льда к западному побережью п-ова Крильонский (ранее подобную ситуацию наблюдала Шелегова (1960)). Значительные поступления охотоморской водной массы в изучаемый район обусловлены прохождением циклонов над о. Хоккайдо с запада на восток, сопровождающиеся в тыловой части сильными восточными ветрами. Близкие результаты были получены и в южной части пролива Лаперуза (Tanaka, Nakata, 1999).

На рисунке 1.9 представлена примерная схема течений в районе п-ова Крильонский и пролива Лаперуза на основании приведенных сведений. Основная струя теплого Цусимского течения движется вдоль свала глубин у юго-западного берега о. Сахалин в северном направлении, от нее отделяются две ветви – одна охотоморская (течение Соя), поворачивающая на восток в пролив Лаперуза и далее в Охотское море, и вторая, огибающая о. Монерон и движущаяся на юг. Идущая далее на север основная струя в районе Чехово-Ильинского мелководья разделяется еще на две ветви: одна разворачивается на юг вдоль берега Приморья, вторая огибает м. Ломанон и продолжает движение на север. В зоне их дивергенции происходит компенсационный подъем холодной воды, дающий, согласно работе Яричина и Покудова (1982), начало Западно-Сахалинскому течению. Это течение несет холодную соленую водную массу на юг, а затем на восток, в пролив Лаперуза. На фазе прилива возникает встречный поток охотоморской водной массы низкой солености, именно взаимодействие этих потоков является одним из наименее изученных, сложных и интересных вопросов в отношении гидрологического режима зоны шельфа у западного побережья п-ова Крильонский. (Шевченко и др., 2017).

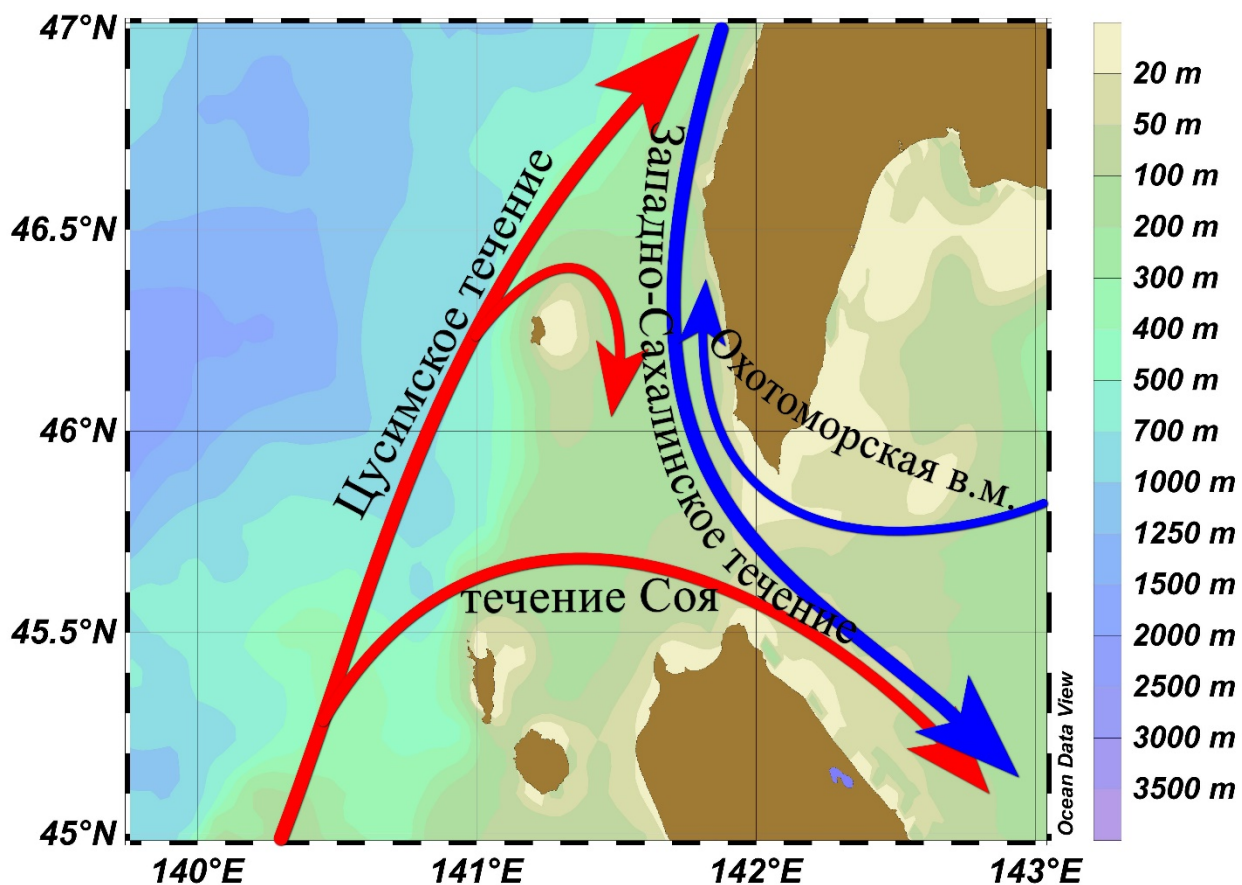


Рисунок 1.9 – Примерная схема течений в районе п-ова Крийльонский и пролива Лаперуза.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной диссертационной работе использован обширный объем океанологических данных, накопленный в ходе многолетних исследований, выполненных в прилегающей к п-ову Крильонский акватории. Большая часть исследований были выполнены в рамках совместного российско-японского проекта «пролив Лаперуза», для реализации которого начались регулярные судовые CTD-съемки на основанных Г.А. Кантаковым стандартных океанологических разрезах T1, T2, S1 и постановки АБС для измерений скорости морских течений, температуры и солености морской воды (рисунок 2.1). На этих разрезах также отбирались пробы воды для гидрохимических определений, анализ которых был выполнен в работе (Пропп, Гаврина, 2019). Постановки АБС в прибрежной зоне производятся и в настоящее время. Ниже приведена характеристика материалов, на которых основана диссертационная работа.

### 2.1. Стандартные океанологические разрезы

В качестве одного из основных материалов информационной базы исследования являются средние многолетние значения температуры и солености морской воды в восточной части стандартного океанологического разреза п. Перепутье – о. Монерон – м. Олимпиады (далее ПМ разрез), к востоку от меридиана  $140^{\circ}$  в. д. и включающий 12 океанологических станций (рисунок 2.1). Средние многолетние значения океанологических параметров систематизированы в базе данных «Атлас» и NigoPro (Пищальник, Бобков, 2000) за период с 1948 по 1994 г. и содержат осредненные характеристики температуры и солености морской воды на стандартных горизонтах (0, 10, 20, 30, 50, 75, 100 и 200 м, более глубокие горизонты в работе не рассматривались) для каждого месяца в период с марта по декабрь (в январе и феврале для надежного расчета осредненных распределений съемок было недостаточно). По этим данным были рассчитаны вертикальные распределения плотности и скорости геострофических течений в меридиональном направлении (ортогонально разрезу).

Именно усредненные помесечно материалы океанологических съемок на стандартных разрезах являются наиболее подходящим материалом для изучения сезонных вариаций гидрологического режима, так как некоторые особенности, наблюдающиеся в отдельные годы, при усреднении нивелируются, а присущие району характерные свойства проявляются более рельефно.

Помимо этого, привлекались данные отдельных судовых СТД-зондирований, выполненных на данном разрезе судами «СахНИРО» (21 съемка), а также на разрезах Т1, Т2 и S1 (рисунок 2.1).

На разрезе Т1 (ориентирован вдоль параллели 46° с. ш., включающий 11 станций, расположен южнее разреза ПМ) в 1995–2005 гг. было выполнено 26 океанологических съемок. На разрезе Т2, расположенном севернее разреза ПМ (46,5° с. ш., 11 станций) в 1996–2001 гг. было выполнено всего 13 съемок. Разрезы Т1 и Т2 пересекают шельф и материковый склон у западного побережья п-ова Крильонский.

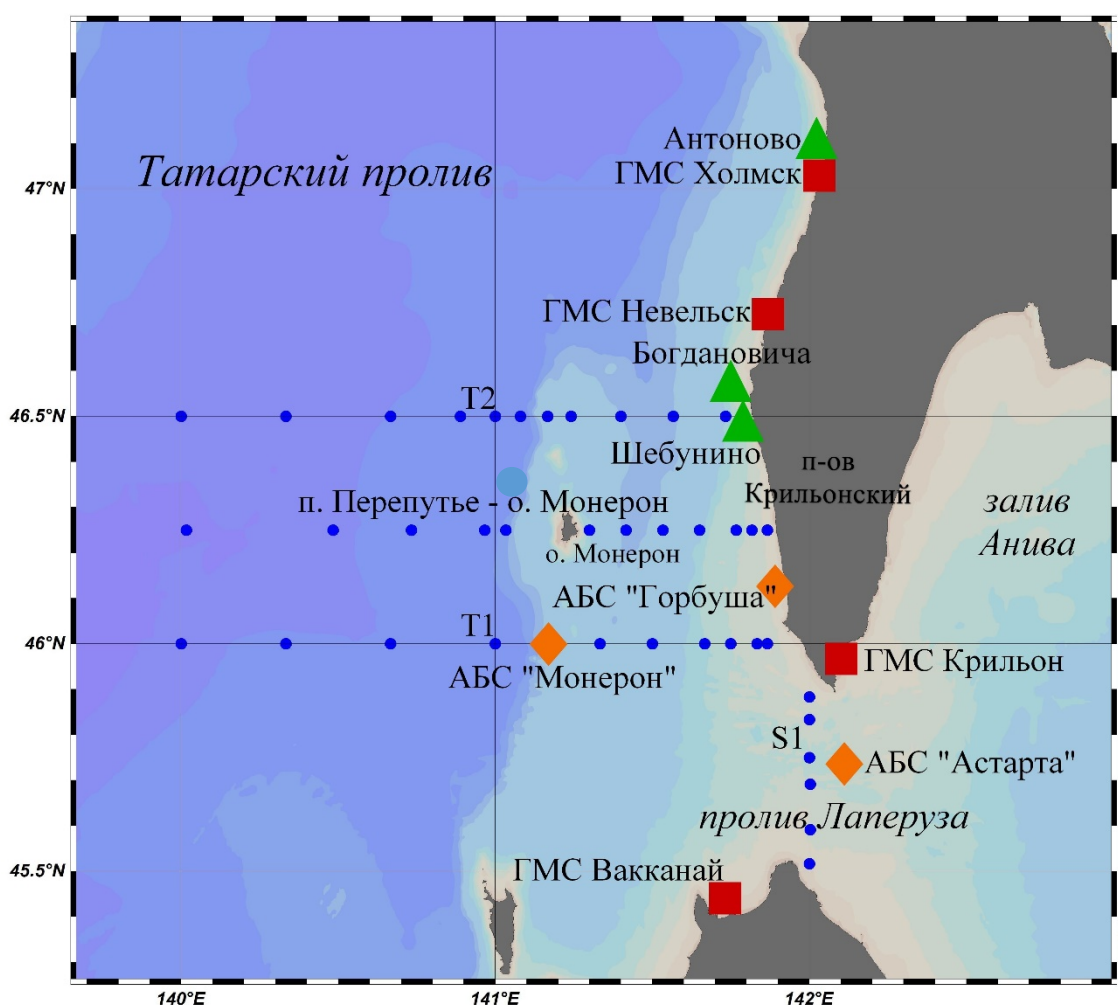


Рисунок 2.1 – Положение станций стандартных океанологических разрезов ● у юго-западного побережья п-ова Крильонский, полигонов наблюдения за ламинарией ▲, мест постановки АБС ◆ и гидрометеостанций ■.

Разрез S1 (рисунок 2.1) проходит между м. Крильон и м. Соя по 142° в. д. Всего за период с 1993 по 2011 г. с борта НИС «Дмитрий Песков» была выполнена 31 съемка, однако большая часть разреза S1 была выполнена в северной части пролива Лаперуза, на

станциях 106-104, в российских территориальных водах. Поэтому, основное внимание было уделено результатам экспедиционных исследований, проводившихся в 1996 – 1997 гг. в рамках указанного выше совместного проекта «Пролив Лаперуза». Всего было выполнено 7 полных съемок.

CTD-зондирования на разрезах, как правило, выполняли с помощью зонда ICTD#1356 (FSI) с батометрической секцией ROSSETTE, снабженной кассетой из 12 пластиковых батометров Нискина объемом 1,8 л для отбора проб воды с целью дальнейших гидрохимических измерений.

Для построения вертикальных распределений температуры и солёности, а также расчета распределений плотности и геострофических потоков, применялся специализированный программный комплекс для обработки океанологических данных Ocean DataView (Schlitzer, 2020). Понятие геострофических потоков довольно условное, так как они отражают не установившуюся, а мгновенную картину, сложившуюся при конкретном направлении приливного потока, что более подробно обсуждается в главе 4.

## **2.2. Исследования на р. Горбуша**

В ходе выполнения экспедиционных комплексных исследований приемной емкости прибрежных акваторий в 2024 г. специалистами «СахНИРО» была установлена АБС «Горбуша» и выполнены океанологические зондирования в прибрежной приустьевой зоне р. Горбуша. Данные работы были необходимы для выявления характеристик разных по происхождению водных масс и закономерностей их распределения, влияющих на изменчивость и направление миграций молоди тихоокеанских лососей.

Р. Горбуша впадает в Татарский пролив Японского моря в 4 км к северу от м. Виндис и в 30 км к северу от пролива Лаперуза. Материалами для настоящего исследования послужили записи векторов скорости морских течений, придонного гидростатического давления (колебаний уровня моря), а также температуры и солёности морской воды, полученные с АБС «Горбуша». Станция была поставлена в районе устья р. Горбуша (46°07' с. ш., 141°54' в. д., рисунки 2.1, 2.2). Глубина моря в точке постановки составляла около 20 м, измерительная аппаратура находилась в придонном слое на горизонте около 17 м. Станция была выставлена при помощи моторной лодки 14 мая и поднята 18 октября 2024 г. В состав АБС входили доплеровский акустический измеритель скорости течений Argonaut MD, совмещенный с гидрологическим мини-зондом SeaBirds. Регистрация гидрофизических параметров осуществлялась ежечасно, длина полученных рядов составила 3765 отсчетов.



Рисунок 2.2 – Схема расположения АБС «Горбуша» и схема океанологических разрезов.

Помимо этого, в приустьевой прибрежной зоне р. Горбуша ежедекадно (с мая по сентябрь) производились CTD-зондирования на системе поперечных берегу разрезов. Океанологические станции выполнялись вблизи берега (в прибрежной лагуне, до барьерной формы), а также на изобатах 5, 10, 15 и 20 м. Измерения осуществлялись портативным зондом ACTD CMP № 077 и мульти-параметрическим зондом YSI с борта моторной лодки. Данные приводились к значениям с шагом 1 м для дальнейшего построения вертикальных разрезов температуры и солёности.

Гармонические постоянные амплитуды и фазы главных приливных волн (четырёх суточного Q1, O1, P1, K1 и четырёх полусуточного диапазона N2, M2, S2 и K2) вычислялись методом наименьших квадратов [Godin, 1972]. Продолжительность ряда позволяла вычислить параметры всех гармоник непосредственно, не прибегая к помощи поправок. Аналогичная процедура проводилась и для проекций измеренных векторов скорости течения на параллель и на меридиан. Непериодические составляющие колебаний уровня и течений определялись путем вычитания из исходных рядов колебаний уровня (или проекций скорости течений) предвычисленного прилива. Анализ приливных, непериодических и суммарных колебаний осуществлялся стандартными статистическими методами.

### 2.3. Материалы инструментальных измерений

Во время реализации совместного проекта «Пролив Лаперуза» отдельное место отводилось изучению течений с помощью АБС. Измерения течений производились путем

постановки с борта НИС «Дмитрий Песков» АБС, которые выставлялись в притоленном варианте. Вертикальное натяжение троса с приборами обеспечивала гирлянда кухтылей, подъем станций осуществлялся подачей сигнала на акустический размыкатель, при срабатывании которого отделялся балласт и аппаратура всплывала на поверхность моря. В основном использовались измерители течений AANDERAA RCM-4, снабженные также датчиками температуры воды. Места постановки АБС в исследуемом районе приведены на рисунке 2.1. Измерения на АБС «Астарт» производились одновременно на двух горизонтах – 15 и 45 м, что позволило исследовать вертикальную структуру поля течений в работе (Шевченко и др., 2005), но в данной работе использовались материалы только в поверхностном слое. Регистрация гидрофизических параметров осуществлялась ежечасно, длина полученных рядов составила 3 492 отсчета (для датчика в поверхностном слое).

Материалы инструментальных измерений скорости течений и температуры воды вблизи свала глубин у юго-западного берега о. Сахалин – к югу от о. Монерон – получены с помощью АБС «Монерон» (рисунок 2.1). АБС была установлена в районе станции Т106 разреза Т1, вблизи резко выраженного континентального склона. АБС включала два измерителя течений AANDERAA RCM7, расположенных на горизонтах 10 и 100 м и имевших встроенные датчики температуры. Станция была установлена 2 августа 1996 г. и поднята на борт НИС «Дмитрий Песков» 16 октября этого же года, приборы были запрограммированы на работу с дискретностью считываний 30 минут, длина полученных временных рядов составила 3613 отсчетов.

#### **2.4. Мониторинг состояния полей ламинарии**

«СахНИРО» в течение многих лет, включая настоящее время, проводит работы по мониторингу состояния полей ламинарии у юго-западного побережья Сахалина. Комплексные работы по мониторингу включают в себя установку логгера (измеритель температуры морской воды и придонного гидростатического давления, которое пересчитывалось в колебания уровня моря) для контроля гидрологических параметров. Необходимость постановки логгера связана с целью постоянного наблюдения за вариациями термических условий во время роста ламинарии в течение теплого сезона года, включавшего период спороношения и формирования молодой поросли. В настоящем исследовании используются данные инструментальных измерений температуры морской воды и придонного гидростатического давления (уровня моря), полученные с помощью логгера в теплый период года на следующих полигонах в прибрежной зоне юго-западного Сахалина (рисунок 2.1): Антоново (район с. Яблочное, 2020 и 2022 гг.), м. Богдановича (2022 г.), Шебунино в 2021 г. (в районе одноименного с. Шебунино).

Наблюдения проводились с первой декады мая по третью декаду октября, дискретность измерений составляла 10 мин. Приборы устанавливались в придонном слое на глубине 5–6 м и фиксировались при помощи бетонных блоков. Длина полученных рядов составила: Антоново в 2020 г – получено 23034 отсчета и 24767 отсчета в 2022 г.; м. Богдановича (2022 г.) – 24768 отсчетов; Шебунино 22460 в 2021 г.

## **2.5. Колебания уровня морей**

Для изучения характеристик колебаний уровня Охотского и Японского морей в районе пролива Лаперуза использовались ряды ежечасных наблюдений за уровнем воды в 1987 г., производившихся на трех береговых мареографах: Вакканай (северное побережье о. Хоккайдо, Япония), Невельск (на япономорском) и м. Крильон на охотоморском побережье п-ова Крильонский. Расчет приливной составляющей выполнялся методом наименьших квадратов по готовой программе, определялись гармонические постоянные для 8 главных приливных волн, 4 суточного (Q1, O1, K1, P1) и 4 полусуточного (N2, M2, S2, K2) диапазона.

Аналогичная методика использовалась для расчета амплитуд и фаз главных составляющих скорости приливных течений по наблюдениям на АБС «Астарта» (ранее эти характеристики анализировались в работе (Шевченко и др., 2005)). В этой работе было показано, что скорости приливного потока увеличиваются к северу от места постановки АБС и достигают максимума вблизи м. Крильон, и убывают в южном направлении. В данной работе для определения влияния приливного потока на вертикальные распределения температуры и солености, на период проведения съемок осуществилось предвычисленные рядов скорости приливного течения (главное внимание уделялось зональной составляющей). Полученные значения характеризуют приливной поток в центральной части пролива, вблизи побережья Японии он может быть несколько слабее, хотя также достаточно интенсивен (Odamaki, 1994; Ebuchi et al., 2006).

## **2.6. Материалы спутниковых наблюдений**

В работе также использовались данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря в южной части Татарского пролива и в проливе Лаперуза за период с 1998 по 2022 гг., полученные с установленной в «СахНИРО» спутниковой приемной станции TeraScan. С помощью этой аппаратуры накоплен значительный объем данных спутниковых наблюдений с пространственным разрешением около 2 км. Эти материалы анализировались визуально, отбирались ситуации, когда изучаемый район был хорошо

виден (из-за облачности, на которых четко просматривался изучаемый район, и, в частности, холодное пятно Макарова, количество изображений было невелико).

## **2.7. Данные метеорологических наблюдений**

Для определения погодных условий в период наблюдения за полями ламинарии, а также при выполнении работ по оценке приемной емкости прибрежных акваторий, привлекались данные о скорости и направлении ветра на береговых гидрометеорологических станциях Холмск, Невельск и м. Крильон. Данные были взяты с сайта общего доступа [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru) (дата обращения 10.06.2025 г.). По станции Невельск для характеристики сезонных изменений ветра непосредственно был взят массив данных за 15-летний период (2010–2024). Для этой цели также использовались данные реанализа ERA5 в двух точках с координатами 46.7° с. ш и 141.7 ° в. д., а также 45.9° с. ш и 141.9 ° в. д. за период с 1998 по 2024 гг. (средние месячные значения проекций на параллель и на меридиан). Для определения метеорологических условий в моменты резкого понижения температуры морской воды вблизи западного берега п-ова Крильонский, использовались карты пространственного распределения приземного атмосферного давления в северо-западной части Тихого океана, предоставленные на сайте <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access> (дата обращения 18.12.2022 г.). При обработке материалов наблюдений использовались стандартные методы статистического анализа.

### ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА СТАНДАРТНЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗАХ

Рассмотрены основные особенности сезонной изменчивости гидрологического режима юго-западного побережья о. Сахалин. На изучаемый район оказывают влияние такие факторы, как распространение теплого Цусимского течения и отделение от него меандра, огибающего о. Монерон с востока; заток охотоморской водной массы через пролив Лаперуза, которая идентифицируется по более низким значениям температуры и солености; наличие ориентированного на юг холодного Западно-Сахалинского течения (Веселова, 1963; Юрасов, Яричин, 1991; Яричин, Покудов, 1982), воды которого выносятся в Охотское море через пролив Лаперуза (Tanaka, Nakata, 1999).

В качестве материала использованы средние многолетние значения на стандартном океанологическом разрезе п. Перепутье – о. Монерон (далее по тексту – разрез ПМ) и данные отдельных судовых гидрологических съемок, выполненных на данном разрезе, а также на разрезах Т1 и Т2 (рисунок 2.1).

Для понимания особенностей гидрологического режима акватории, прилегающей к п-ову Крильонский, необходимо напомнить о разнице уровней Охотского и Японского морей (глава 1.5).

На рисунке 3.1 представлены среднемесячные значения уровня моря за 1987 г. на мареографных станциях Вакканай (северное побережье о. Хоккайдо, Япония), Невельск (на япономорском) и м. Крильон на охотоморском побережьях п-ова Крильонский, а также приливные колебания на этих станциях в первой половине июля того же года.

Как следует из рисунка 3.1, и это согласуется с результатами исследований (Aota et al., 1998; Saveliev et al., 2002), в теплый период года (с мая по октябрь) уровень в Японском море выше, чем в Охотском, в особенности на станции Вакканай, где отмечен типичный для Японского моря годовой ход уровня с максимумом летом (на станции Невельск он имеет смешанный характер со слабо выраженными максимумами и летом, и зимой). В зимние месяцы (декабрь – март) сезонный максимум уровня наблюдается в Охотском море, в Японском он существенно ниже.

В апреле и ноябре значения уровня по обе стороны пролива Лаперуза близки. Таким образом, в соответствии с теорией С. О. Макарова, в теплый период наблюдается поток япономорской водной массы в Охотское море, что подтверждается многочисленными наблюдениями течения Соя (Бобков, 1989; Tanaka, Nakata, 1999; Danchenkov et al., 1999; Шевченко и др., 2005; Ebuchi et al., 2006), в холодный период

ситуация обратная. Наличие потока охотоморской водной массы (более холодной и менее соленой) вдоль берега п-ова Крильонский в северном направлении подтверждается наблюдениями на стандартных разрезах юго-западного Сахалина (Шевченко и др., 2018). Полученные результаты согласуются с проведенными ранее исследованиями сезонных уклонов уровня моря в Японском и Охотском морях вблизи пролива Лаперуза и их влияния на водообмен через него (Aota et al., 1998; Saveliev et al., 2002).

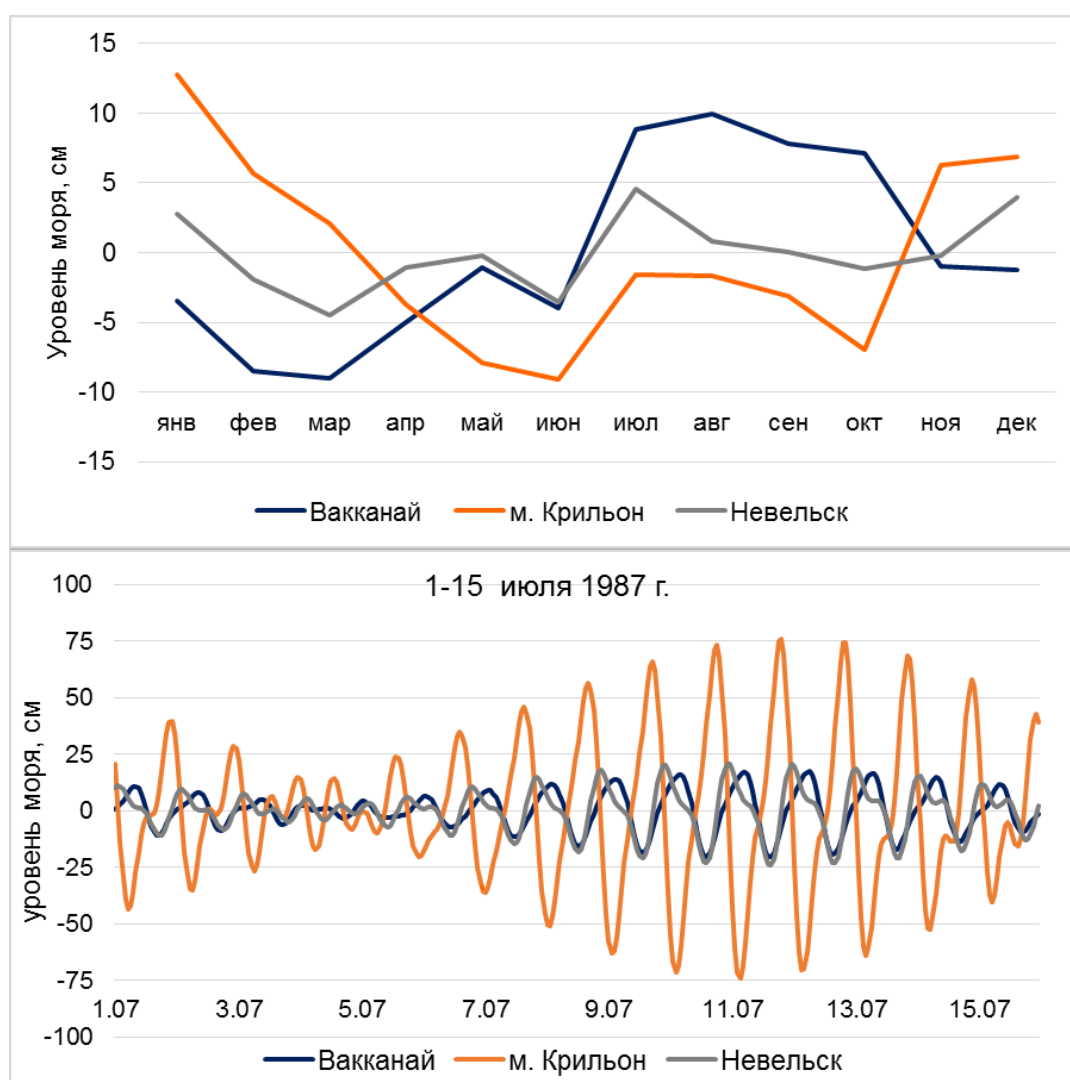


Рисунок 3.1 – Средние месячные значения уровня моря в 1987 г. на станциях Вакканай, м. Крильон и Невельск, а также приливные колебания на них в первой половине июля 1987 г. (фрагмент рисунка из работы (Шевченко, Марыжихин, 2024)).

Также на рисунке 3.1 представлены графики хода предвычисленного приливного уровня, рассчитанные на основе гармонических постоянных 8 главных приливных волн (отметим, что пространственная структура приливных колебаний исследовалась ранее в работах, как по береговым станциям, так и с привлечением данных спутниковой

альтиметрии (Odamaki, 1994; Романов и др., 2005)). В районе преобладают суточные приливы, отношение суммы амплитуд главных суточных волн O1 и K1 к сумме амплитуд полусуточных гармоник M2 и S2 составляло на станции Вакканай 3, на м. Крильон – 2 и в Невельске – 1.8. Для таких акваторий характерна выраженная полумесячная изменчивость (тропические и экваториальные приливы), чтобы это продемонстрировать, предвычисление было выполнено на 15 суток. Расчет производился на первую половину июля 1987 г., так как представлялось важным рассмотреть ситуацию для теплого периода года. Из рисунка видно, что приливная волна в Охотском море имеет высоту существенно большую, чем на япономорских станциях.

Максимальная на изучаемом отрезке времени разность приливного уровня между станциями м. Крильон и Вакканай составляла около 85 см на фазе прилива и 90 см на отливе (в Охотском море приливной уровень соответственно выше в первом и ниже во втором случае). Близкие значения имела также разность величины приливов на станциях м. Крильон и Невельск (83 см на приливе и 82 см при отливе). Это намного больше разности средних месячных уровней, которые выше на японской мареографной станции. Это означает, что под влиянием прилива даже в теплый период года может формироваться поток охотоморской водной массы в северной части пролива в юго-восточную часть Татарского пролива. А на фазе отлива происходит существенное усиление залива япономорской водной массы в Охотское море, причем не только в южной части пролива Лаперуза, но и в северной, вне зоны влияния течения Соя, которое очень четко идентифицируется по более высоким значениям температуры морской воды (Леонов, 1948; Пищальник, Архипкин, 2000). Это проявляется, помимо данных судовых исследований, и по спутниковым данным (Цхай, Шевченко, 2005). Причем это может быть вода холодного Западно-Сахалинского течения, которое направлено в зону дивергенции Цусимского течения, разделяющегося вблизи пролива Лаперуза на две ветви, идущие на север и на восток (Kantakov, Shevchenko, 1999). Вопросы влияния приливов на гидрологические условия зоны шельфа у западного побережья п-ова Крильонский рассматриваются ниже в главе 4.

### **3.1. Сезонные вариации океанологических условий на стандартном разрезе п. Перепутье — о. Монерон**

В марте (рисунок 3.2), характеризующем зимние условия в юго-восточной части Татарского пролива, влияние теплого Цусимского течения минимально, оно проявляется главным образом с западной стороны о. Монерон на глубине более 50 м. Для характеристики воды в основной струе теплого течения мы используем станцию 8

(141.03° в. д.) разреза ПМ. Среднее значение температуры морской воды на данной глубине составляло 3,39 °С, солёности 34,04 psu. Вблизи берега о. Сахалин отмечена холодная вода (самая низкая температура на прибрежной станции составила 0,34 °С) со сравнительно низкой солёностью (33,21 psu). Холодные воды с низкой солёностью связаны с затоккой вод из Охотского моря – помимо приливов, на этот процесс влияет повышение уровня в Охотском море в зимний период (при понижении в Японском море). В этот район через пролив Лаперуза неоднократно происходил вынос льда; в марте 1999 г. наблюдался случай, когда под влиянием проходившего над о. Хоккайдо глубокого циклона и связанных с ним сильных восточных ветров было зафиксировано «обращение течения Соя» (Tanaka, 1999, Шевченко и др., 2005). Низкая солёность вод вблизи о. Сахалин является причиной более низкой их плотности, что указывает на наличие выраженного прибрежного потока, ориентированного на север. Его скорость, рассчитанная динамическим методом, составляет 15 – 20 см/с, при этом Западно-Сахалинское течение в данный период отсутствует.

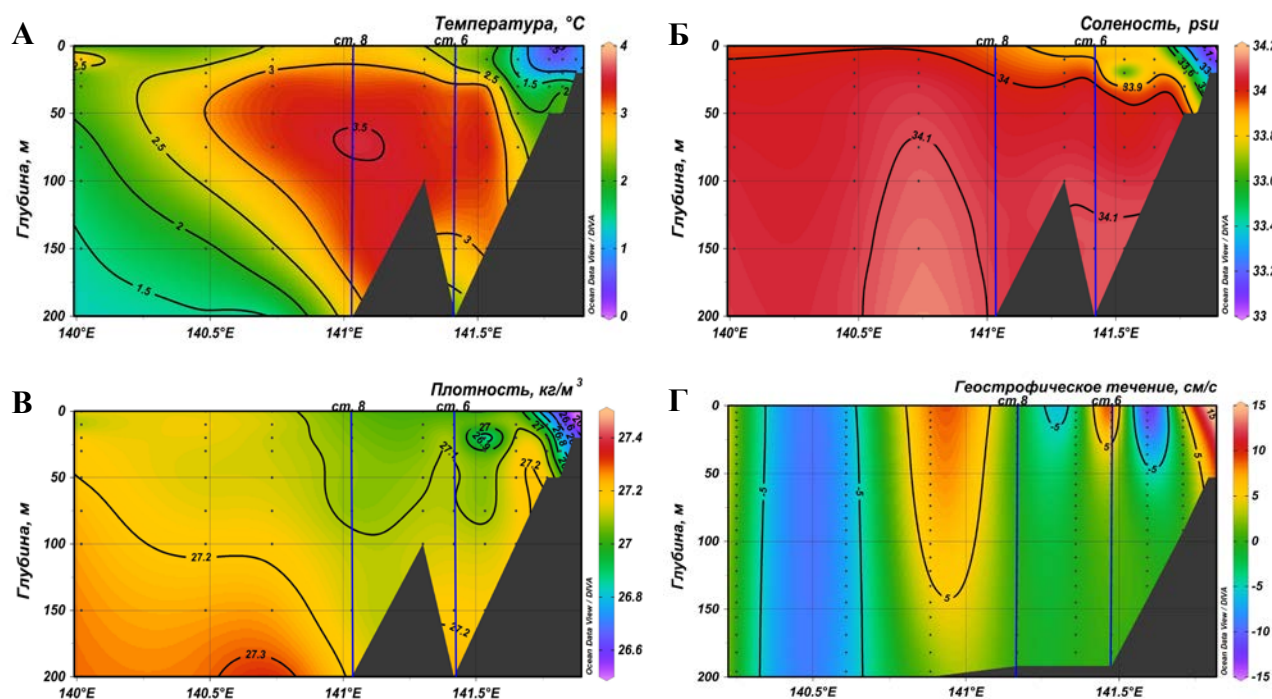


Рисунок 3.2 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в марте.

В апреле (рисунок 3.3) становятся заметны первые признаки активизации теплового Цусимского течения. Наиболее теплая вода отмечена в поверхностном слое с западной стороны о. Монерон, на станции 8 на горизонтах 0 и 10 м температура была 4,32 °С, солёность 34,06 psu. При этом уже проявляется ветвь течения, огибающая о. Монерон с

восточной стороны (восточный меандр). Для характеристики его воды мы использовали значения океанологических параметров на станции 6 (141.42° в. д.) разреза ПМ. В этом месяце характерное значение температуры на горизонте 10 м составило 3,98 °С и солёности 34,02 psu, что лишь немногим меньше, чем в основной струе Цусимского течения. Прибрежный поток вод с низкой солёностью (на прибрежной станции 33,58 psu) ослабевает, его скорость снижается до 4 – 5 см/с. Западно-Сахалинское течение по-прежнему отсутствует.

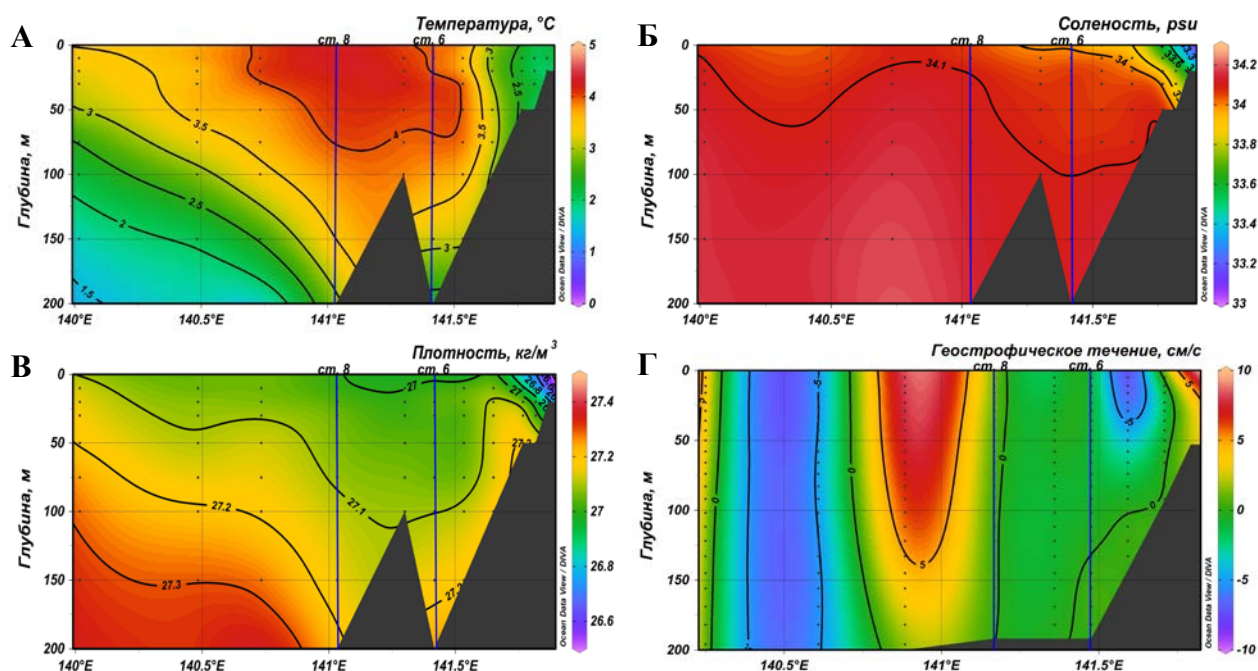


Рисунок 3.3 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в апреле.

В мае (рисунок 3.4) наблюдается заметное повышение температуры морской воды (прежде всего в поверхностном слое в области основной струи Цусимского течения) — до 6 – 7 °С. На горизонте 10 м на станции 8 значения океанологических параметров составили 6,18 °С и 34,04 psu. На станции 6, используемой для характеристик восточного меандра, были отмечены близкие значения 5,98 °С и 34,04 psu. В диапазоне долготы между 140.6 – 141.6° в. д. выделяется струя теплого Цусимского течения, развитая в глубину до 100 м. Вблизи берега о. Сахалин отмечен резкий подъем изотерм, указывающий на значительные градиенты температуры в прибрежной зоне. Аналогичных градиентов солёности не зафиксировано, здесь еще сохраняет некоторое влияние вода с низкой солёностью. В следствие достаточно равномерного распределения солёности, градиент плотности не выражен, что указывает на слабую выраженность в этот период

прибрежного потока, как в северном, так и в южном направлении. Это означает, что в мае возникают только первые признаки активизации Западно-Сахалинского течения, выраженные в распределении температуры воды и увеличении скорости течения южного направления до 5 – 8 см/с. Для характеристики океанологических параметров водной массы Западно-Сахалинского течения использована прибрежная станция 1 разреза ПМ, значения на горизонте 20 м, которые составили 2,69 °C и 33,74 psu.

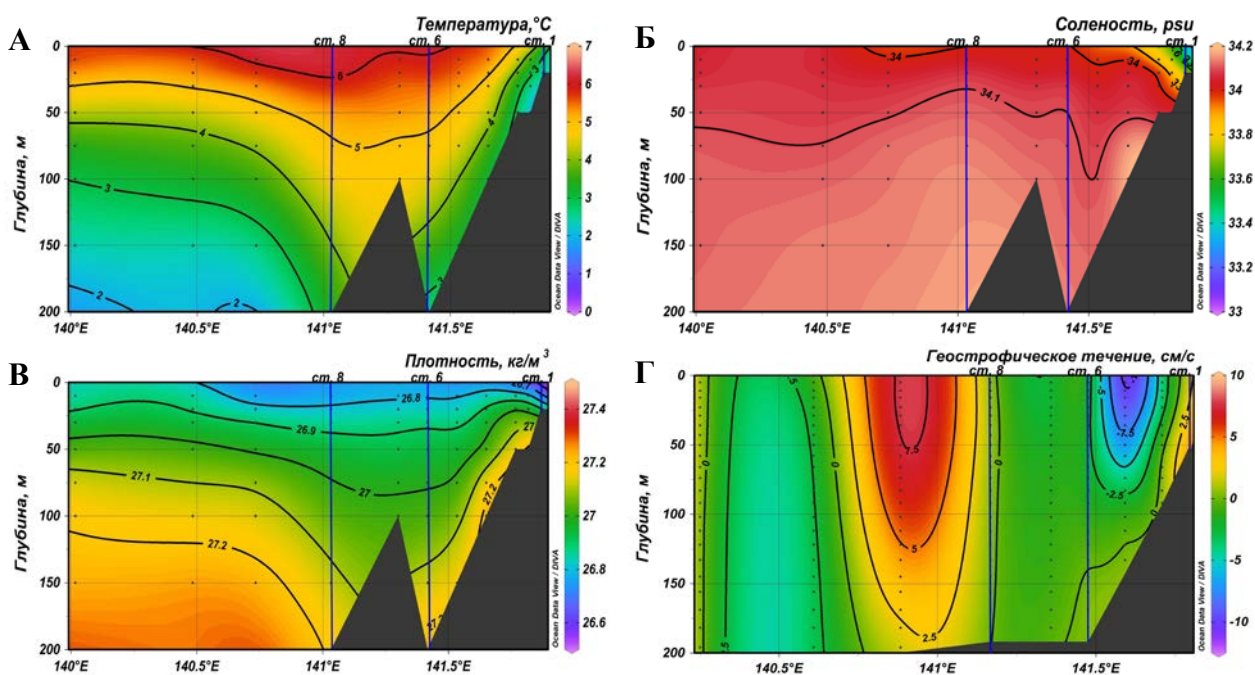


Рисунок 3.4 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в мае.

В июне (рисунок 3.5) продолжается интенсивный прогрев поверхностных вод, причем в отличие от рассмотренных выше случаев максимальные значения более 10 °C отмечены восточнее о. Монерон, что подтверждает ответвление струи от основного потока Цусимского течения. На горизонте 10 м на станциях 8 и 6 разреза ПМ значения океанологических параметров близки (температура воды 9,52 и 9,64 °C и солёность 33,86 и 33,87 psu, в то время как на 6 станции на поверхности моря вода более теплая – 10,34 °C (9,82 °C на станции 8, поверхность).

Вблизи острова теплая вода (с температурой выше 4 °C) наблюдалась на глубине до 150 м. Наклон изотерм у берега еще более выражен, при этом распределение солёности достаточно равномерное. Следствием этого является значительный градиент плотности в восточной части разреза с более плотной (из-за более низкой температуры) водой у берега. Это указывает на наличие узкого струйного, интенсивного (со скоростью 10—12 см/с на некотором удалении от берега) прибрежного потока, ориентированного на юг, и

свидетельствует о формировании в июне устойчивого потока холодного Западно-Сахалинского течения. На станции 1 на горизонте 20 м океанологические параметры мало отличались от наблюдавшихся в мае (2,74 °C и 33,86 psu).

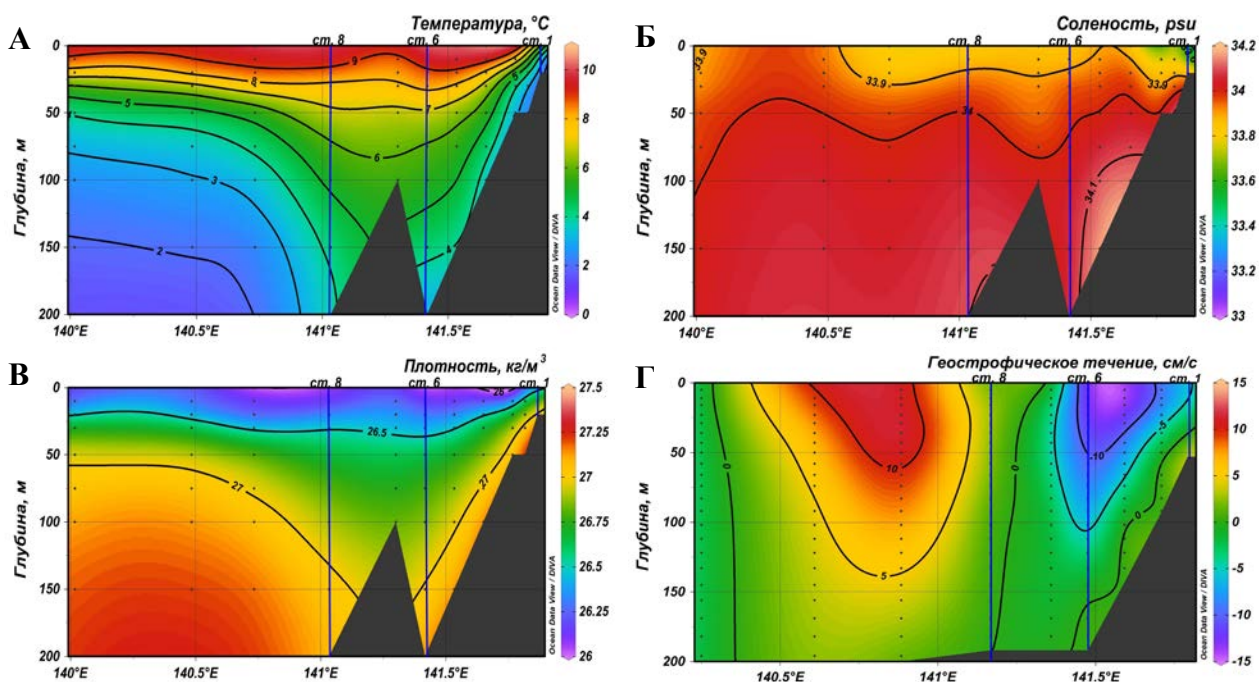


Рисунок 3.5 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в июне.

В июле и августе (рисунки 3.6, 3.7) распределение температуры и солёности аналогично, при этом наблюдается дальнейший прогрев воды в поверхностном слое (до 14 — 15 °C в июле и до 17 — 18 °C в августе), вблизи берега о. Сахалин по-прежнему на поверхности отмечаются существенно более холодные воды. Изотерма 4 °C достигает глубины 200 м с западной стороны о. Монерон. Распределение солёности достаточно однородное, при этом характерно значительное понижение плотности воды в поверхностном слое, за исключением прибрежных станций. Это свидетельствует о том, что Западно-Сахалинское течение продолжает набирать силу. По данным инструментальных измерений скорости водных потоков за период с 11 – 22 августа 2002 г., (данные получены с автономной буйковой станции, установленной в районе станции 6 разреза ПМ на горизонте 15 м), течение было ориентировано на юг с максимальной скоростью около 40 см/с (Kantakov, Shevchenko, 1999). Отметим, что преобладающие в тёплый период года ветры южного и юго-западного румбов (летний муссон) ускоряют движение теплых поверхностных вод к берегу о. Сахалин и ослабляют Западно-Сахалинское течение.

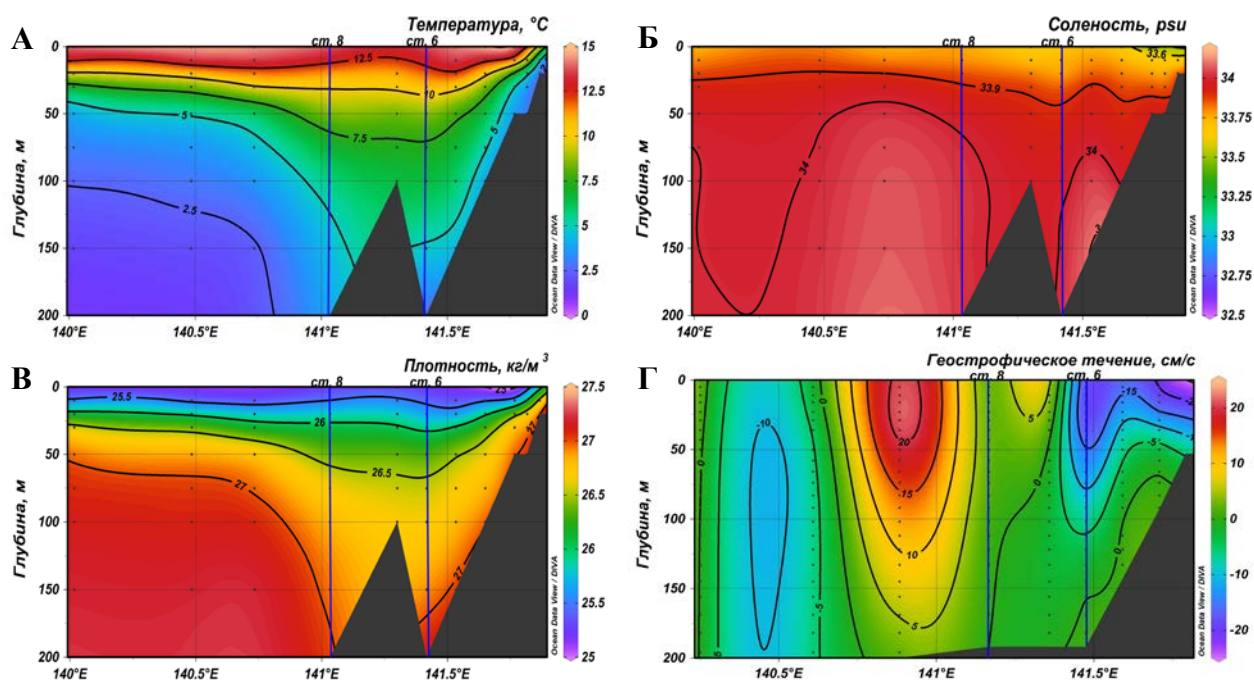


Рисунок 3.6 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе в июле.

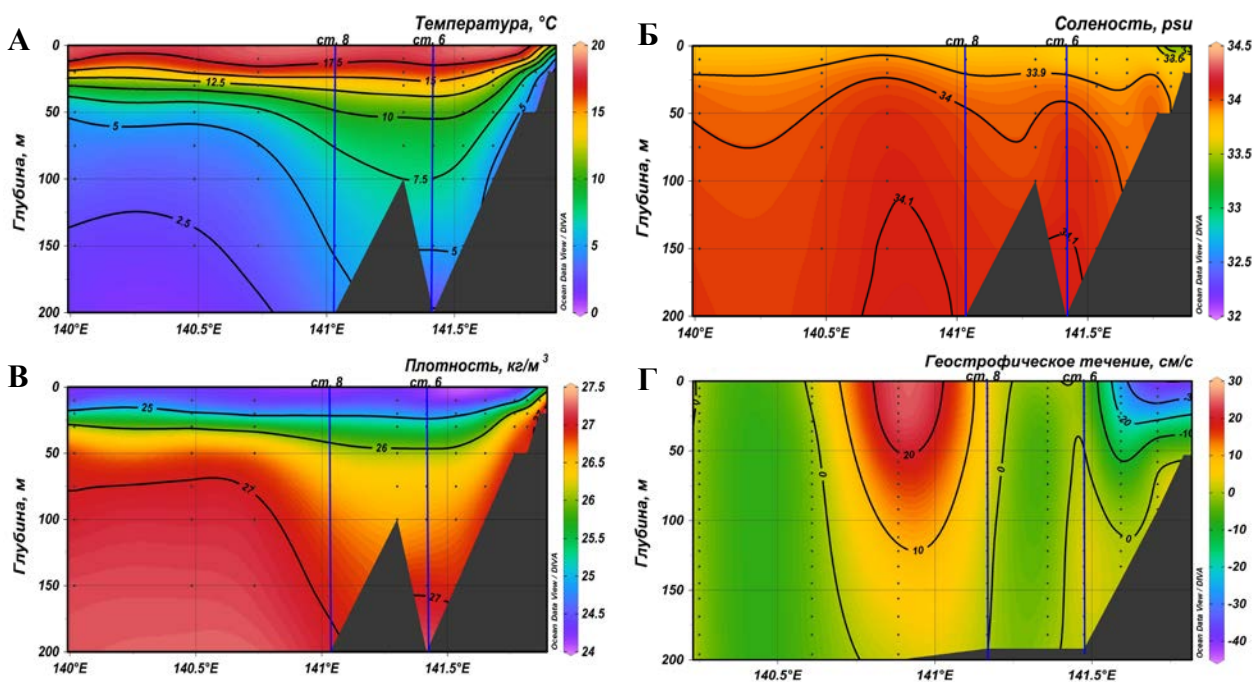


Рисунок 3.7 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в августе.

Характеристики воды основной струи Цусимского течения и его восточного меандра в июле были близкими: температура воды на станциях 8 и 6 на поверхности моря составляла 13,83 и 13,80 °С (на горизонте 10 м 12,95 и 12,94 °С), солёность 33,79 и 33,70 psu (на горизонте 10 м 12,95 и 12,94 °С, 33,79 и 33,75 psu). В августе различия были чуть

больше: температура и соленость воды на поверхности были чуть выше с западной стороны о. Монерон (18,45 против 18,22 °С, 33,75 и 33,68 psu). На горизонте 10 м ситуация была несколько иная, температура воды была выше уже с восточной стороны острова, 18,14 и 18,30 °С при солености 33,83 и 33,73 psu. В зоне влияния Западно-Сахалинского течения на глубине 20 м температура воды в июле составляла 3,08 °С, а в августе возросла до 4,13 °С, значения солености увеличились незначительно, с 33,88 до 33,90 psu. Максимальные скорости Западно-Сахалинского течения отмечались вблизи берега, в июле они достигали 20 см/с, а в августе 40 см/с, что хорошо согласуется с приведенной выше оценкой, полученной по данным инструментальных измерений.

В сентябре (рисунок 3.8) прогрев поверхностных вод достигает своего максимума (18–19 °С), а показатели плотности – минимальных значений. При этом на станции 1 (береговая станция разреза ПМ) температура воды изменялась от 4 (горизонт 20 м) до 14 °С на поверхности, что соответствует периоду максимальной интенсивности Западно-Сахалинского течения и согласуется с результатами работы Веселовой (1963).

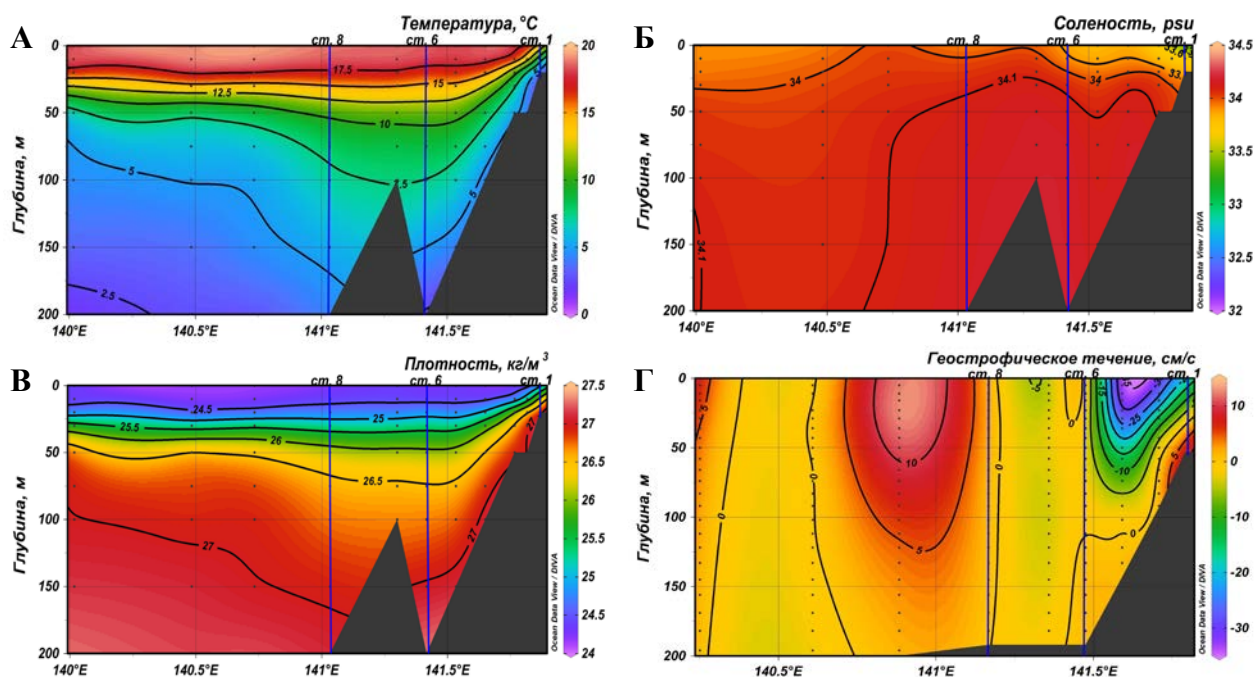


Рисунок 3.8 – Вертикальные распределения температуры (А), солености (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в сентябре.

В основной струе Цусимского течения (8 ст.) и его восточном меандре (6 ст.) значения температуры и солености на поверхности моря составили: 18,73 и 18,49 °С (на горизонте 10 м 18,43 и 18,26 °С), 33,93 и 33,87 psu (на глубине 10 м 34,00 и 33,90 psu). Как указано выше, на прибрежной станции на глубине 20 м значения океанологических

параметров составили 4,63 °C и 33,87 psu, различия в температуре воды между Западно-Сахалинским и Цусимским течениями достигают своего максимума. Максимальная скорость Западно-Сахалинского течения ниже, чем в августе (около 25 см/с), и его основная струя несколько смещается от берега.

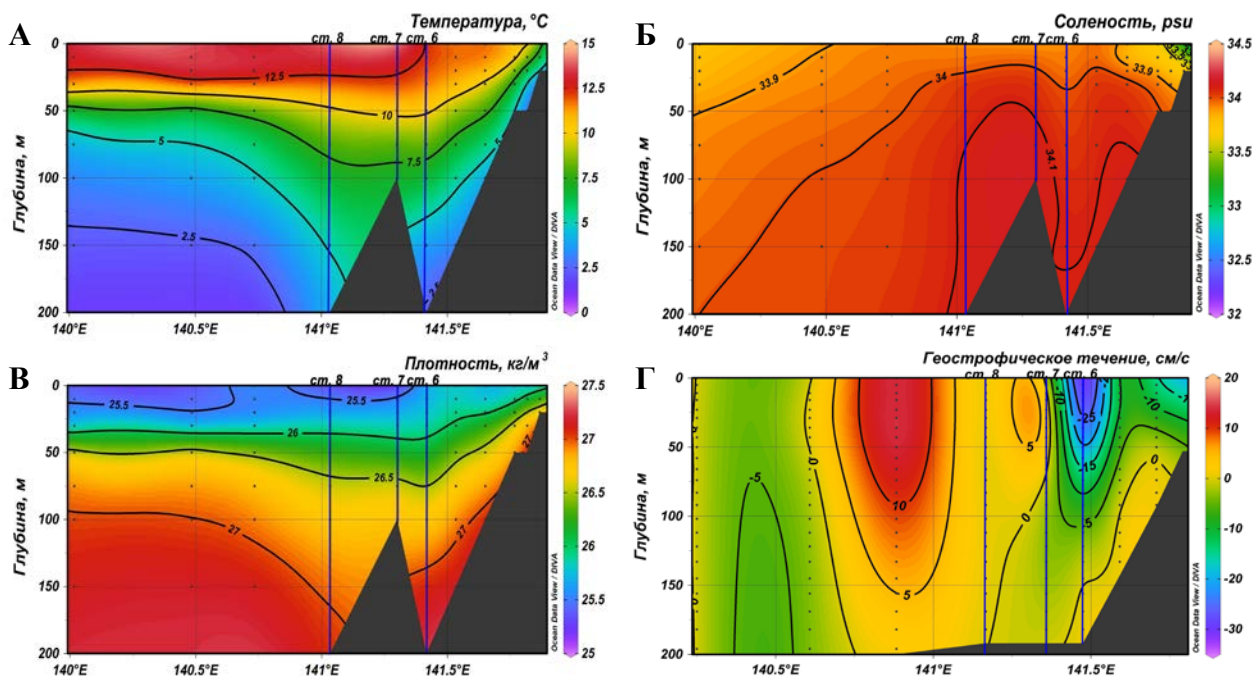


Рисунок 3.9 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в октябре.

В октябре (рисунок 3.9) под действием устанавливающихся в этот период ветров северного и северо-западного румбов (зимний муссон) теплые воды оттесняются от берега о. Сахалин в сторону Монерона. Температурный максимум по-прежнему наблюдается в поверхностном слое (14,07 на станции 8, 14,41 на станции 7 и 12,22 °C на станции 6), что нетипично для осенних процессов выхолаживания. Различия солёности незначительны: 33,92, 33,90 и 33,91 psu (станции 8, 7, 6 соответственно). На прибрежных станциях разреза начинает проявляться влияние вод низкой солёности, на прибрежной станции на поверхности моря значение параметра снижается до 33,15 psu. Градиент плотности вблизи берега о. Сахалин уменьшается, что указывает на ослабление Западно-Сахалинского течения до 15 см/с. При этом формируется еще одна струя, ориентированная на юг, но на большем удалении от берега, что указывает на большую сложность процессов в прибрежной области в период сезонной перестройки метеорологических полей. Вода Западно-Сахалинского течения достигает в это период сезонного максимума температуры

(5,28 °C, горизонт 20 м), вероятно, это повышение обусловлено заглублением воды под действием прижимного северо-западного ветра.

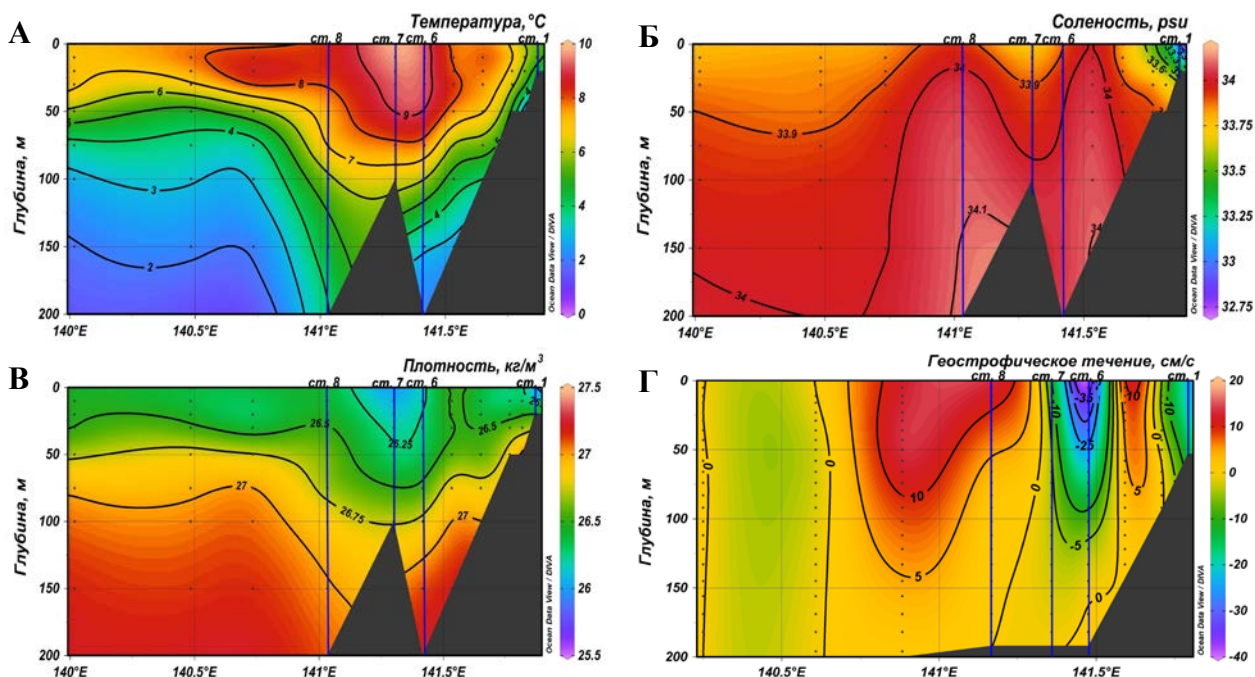


Рисунок 3.10 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на разрезе ПМ в ноябре.

В ноябре (рисунок 3.10) происходит существенное выхолаживание вод поверхностного слоя, максимальные значения температуры воды снижаются до 9 °C. Более теплая вода отмечена в восточном меандре: на станциях 6 и 7 значения температуры на поверхности составляют 6,33 и 9,91 °C, на горизонте 10 м – 9,50 и 9,69 °C соответственно. С западной стороны Монерона максимум находился на горизонте 10 м (8,34 °C). Концентрация теплых вод на горизонте 10 м может указывать на сезонное заглубление теплого Цусимского течения.

У берега о. Сахалин усиливается влияние охотоморской водной массы низкой солёности (значение параметра становится ниже 33 psu), начинает формироваться прибрежный поток северного направления, однако, вероятно, его формированию препятствует воздействие ветра северо-западного румба. Западно-Сахалинское течение продолжает ослабевать и отходить от берега. На глубинах более 50 м процесс охлаждения еще не заметен. На станции 1 на горизонте 20 м температура воды сохраняется на сравнительно высокой отметке, 4,56 °C при солёности 33,48 psu. Хотя градиент температуры еще достаточно существенен по сравнению с мористой частью разреза,

понижение солёности является главной причиной деградации Западно-Сахалинского течения.

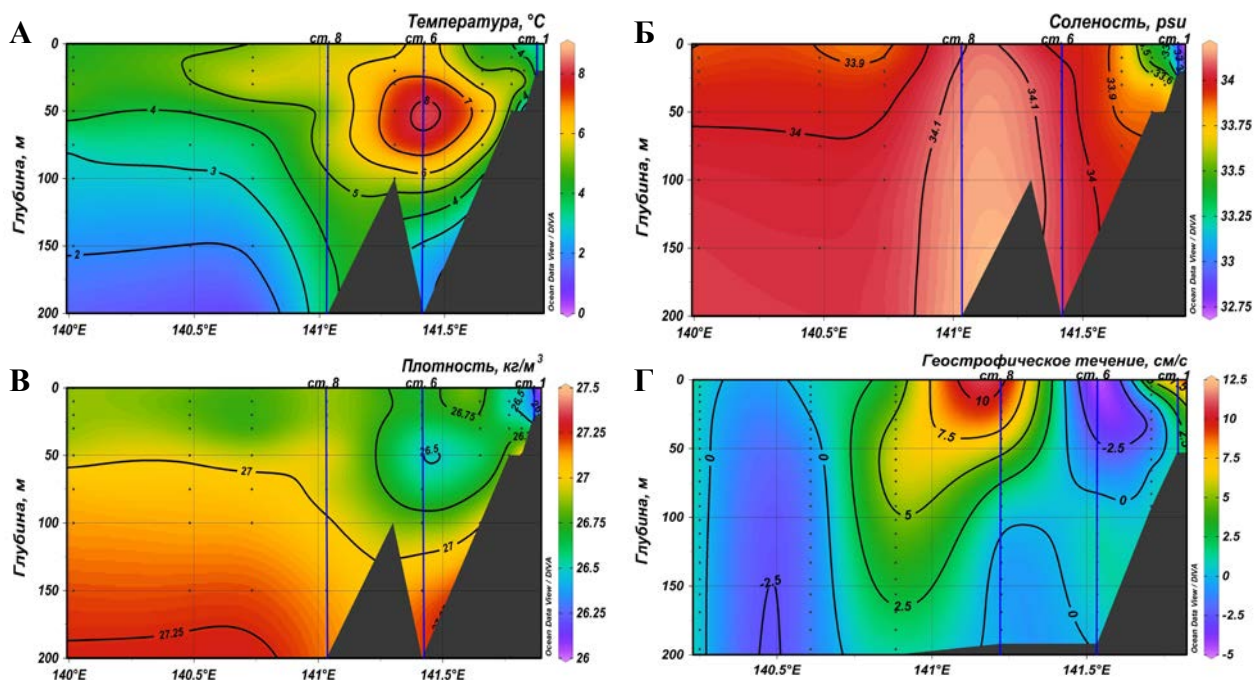


Рисунок 3.11 – Вертикальные распределения температуры (А), солёности (Б), плотности (В) и геострофического течения (Г) на ПМ разрезе в декабре.

В декабре (рисунок 3.11) продолжается процесс выхолаживания вод поверхностного слоя, в результате которого наиболее теплые воды наблюдаются на глубинах более 20 м. На станции 8 наиболее теплая вода отмечена на горизонте 20 м (5,77 °С), а на станции 6 на глубине 50 м – 8,27 °С. Таким образом, распределение температуры в декабре указывает на перемещение ядра наиболее теплых вод к востоку от о. Монерон.

Солёность на крайней восточной станции (станция 1) снижается до значений менее 33 psu. Ориентированный на север поток охотоморской водной массы набирает силу (скорость 7 – 8 см/с). Скорее всего, он достигает максимального развития в январе, когда отмечен сезонный максимум уровня моря на мареографных пунктах м. Крильон, Невельск, Холмск (Поезжалова, 1997, Шевченко, 2005). Однако подтвердить это предположение на основании средних многолетних распределений океанологических параметров на разрезе ПМ не представляется возможным. На глубине 20 м температура воды сохранялась на низких отметках (3,69 °С), солёность снизилась до 33,15 psu.

Как отмечалось выше, до настоящего времени характеристики воды Западно-Сахалинского течения не приводились в научной литературе. Для выявления характеристик воды Западно-Сахалинского течения использовались средние многолетние

значения температуры и солености на станции 1 (прибрежной) стандартного разреза п. Перепутье – о. Монерон на горизонтах 0, 10 и 20 м. Использовались данные с мая по октябрь, в период максимальной активности Западно-Сахалинского течения (Пищальник, Бобков, 2000; Шевченко и др., 2018) (рисунки 3.12-3.13, таблица 3.1). Температура воды в зоне влияния Западно-Сахалинского течения может быть очень низкой, в мае – июле она возрастает от 2,7 до 3 °С, и только в августе она достигает 4 °С. Более высокие значения отмечены в сентябре и октябре, когда происходит перестройка поля ветра от летнего муссона к зимнему, что приводит к существенным изменениям океанологических условий в прибрежных акваториях (рисунок 3.12, таблица 3.1).

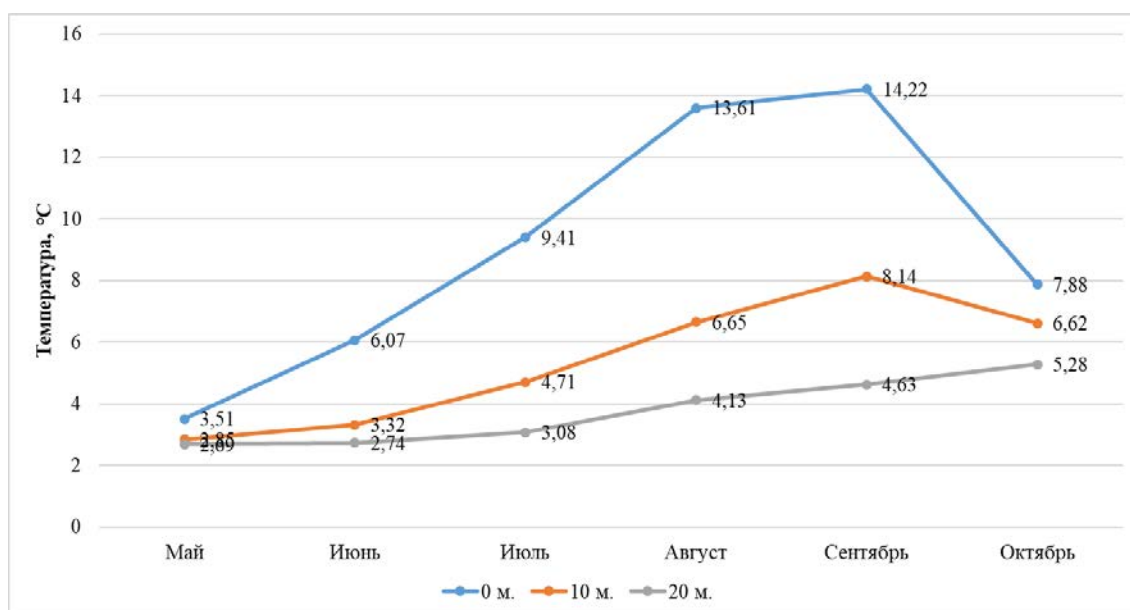


Рисунок 3.12 – Средние многолетние значения температуры (Т, °С) на горизонтах 0, 10 и 20 м на станции 1 стандартного океанологического разреза п. Перепутье – о. Монерон (Пищальник, Бобков, 2000).

Вода Западно-Сахалинского течения не только холодная, но и соленая, значения параметра возрастают от мая к августу от 33,74 до 33,90 psu, а в октябре возвращаются к исходному значению (рисунок 3.13, таблица 3.1).

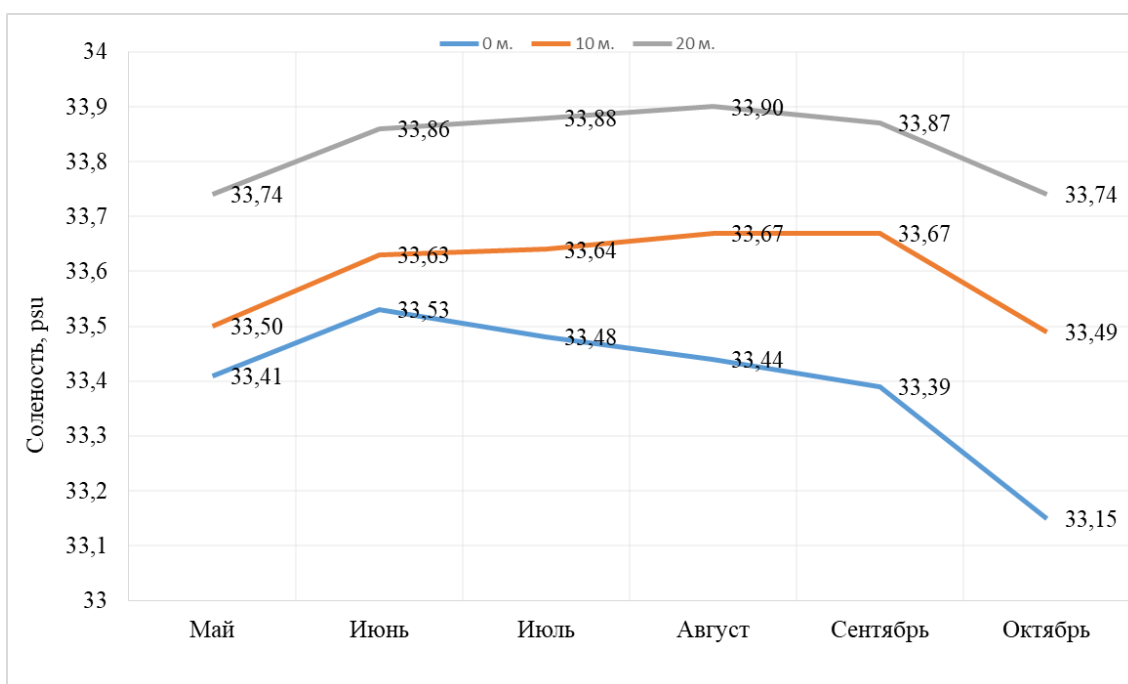


Рисунок 3.13 – Средние многолетние значения солёности (S, psu) на горизонтах 0, 10 и 20 м на станции 1 стандартного океанологического разреза п. Перепутье – о. Монерон (Пищальник, Бобков, 2000).

Таблица 3.1 – Средние многолетние значения температуры (T, °C) и солёности (S, psu) на горизонтах h=0, 10 и 20 м на станции 1 стандартного океанологического разреза п. Перепутье – о. Монерон (Пищальник, Бобков, 2000).

| h         | T           | S            |
|-----------|-------------|--------------|
| Май       |             |              |
| 0         | 3,51        | 33,41        |
| 10        | 2,85        | 33,5         |
| <b>20</b> | <b>2,69</b> | <b>33,74</b> |
| Июнь      |             |              |
| 0         | 6,07        | 33,53        |
| 10        | 3,32        | 33,63        |
| <b>20</b> | <b>2,74</b> | <b>33,86</b> |
| Июль      |             |              |
| 0         | 9,41        | 33,48        |
| 10        | 4,71        | 33,64        |
| <b>20</b> | <b>3,08</b> | <b>33,88</b> |
| Август    |             |              |
| 0         | 13,61       | 33,44        |
| 10        | 6,65        | 33,67        |
| <b>20</b> | <b>4,13</b> | <b>33,9</b>  |
| Сентябрь  |             |              |
| 0         | 14,22       | 33,39        |
| 10        | 8,14        | 33,67        |
| <b>20</b> | <b>4,63</b> | <b>33,87</b> |

| Октябрь   |             |              |
|-----------|-------------|--------------|
| 0         | 7,88        | 33,15        |
| 10        | 6,62        | 33,49        |
| <b>20</b> | <b>5,28</b> | <b>33,74</b> |

### 3.2. Сезонные вариации океанологических условий на стандартном разрезе

#### п. Перепутье — о. Монерон по результатам отдельных судовых съемок

В разделе рассмотрены данные отдельных океанологических съемок, выполненных на данном разрезе в ходе морских экспедиций «СахНИРО» в период с 1988 по 2013 гг. Рассмотренные выше усредненные распределения температуры и солености, позволяют выделить общие, повторяющиеся свойства гидрологического режима изучаемого района. В то же время, при анализе результатов отдельных съемок можно выявить особенности, присущие отдельным годам или сезонам. К тому же усредненные значения температуры и солености были рассчитаны только для одного разреза, тогда как на разрезах Т1 и Т2 для этого было выполнено недостаточное количество съемок.

**Весна.** В конце марта 2010 года раньше обычных сроков наблюдались первые признаки активизации Цусимского течения – его теплые воды отмечены как с западной (станции 7, 8), так и с восточной (станция 6) стороны о. Монерон. У берега о. Сахалин четко выделяется прибрежный поток холодных вод низкой солености, обусловленный затоком из Охотского моря (рисунок 3.14).

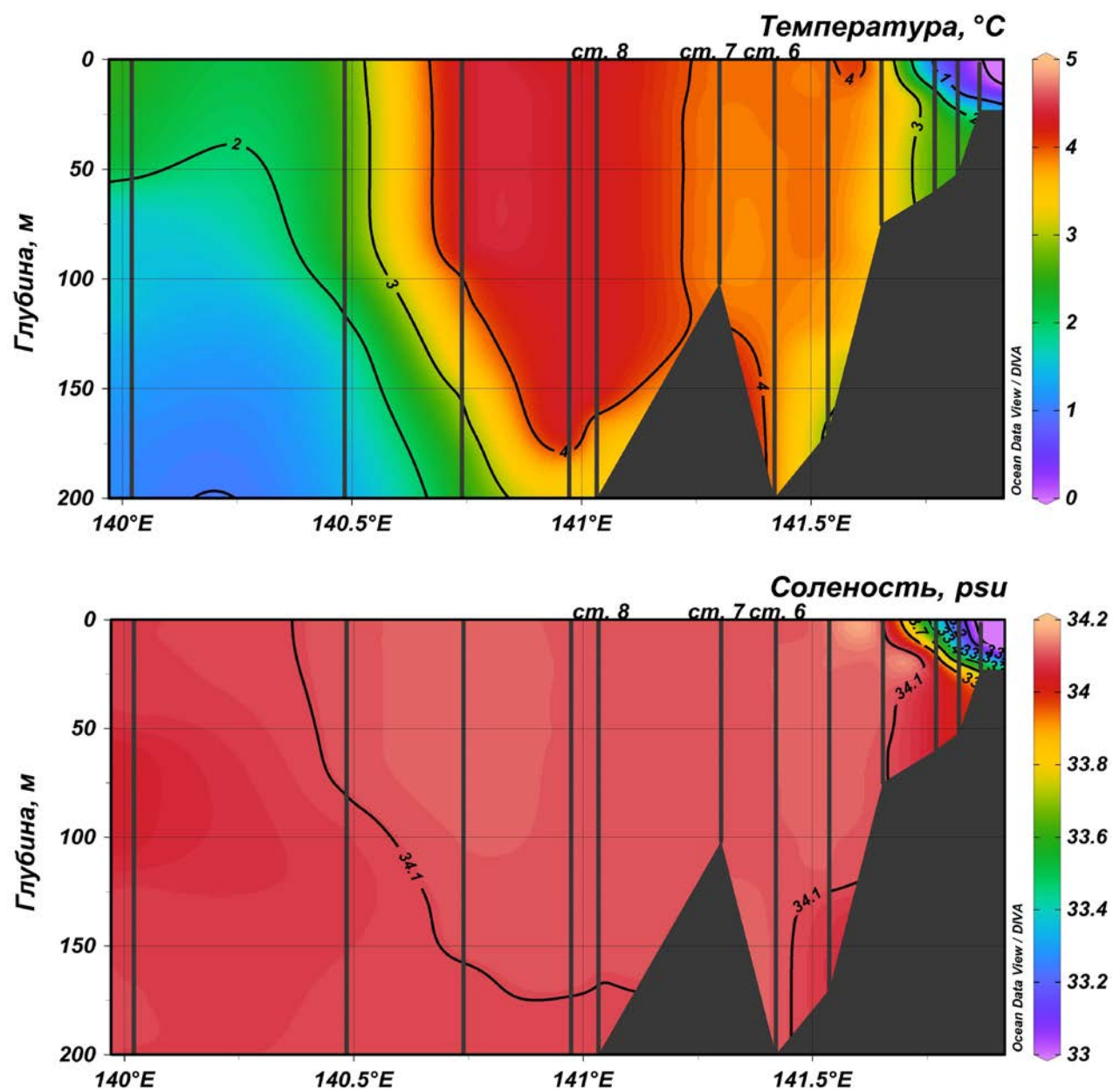


Рисунок 3.14 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе ПМ в марте 2010 г.

**Лето.** В июне 1992 года Цусимское течение разделилось на несколько ветвей, наиболее активная отмечена в мористой части разреза. Вблизи о. Сахалин практически вся зона шельфа занята холодной водой низкой солёности. Наиболее вероятно, это связано с влиянием приливного течения (рисунок 3.15).

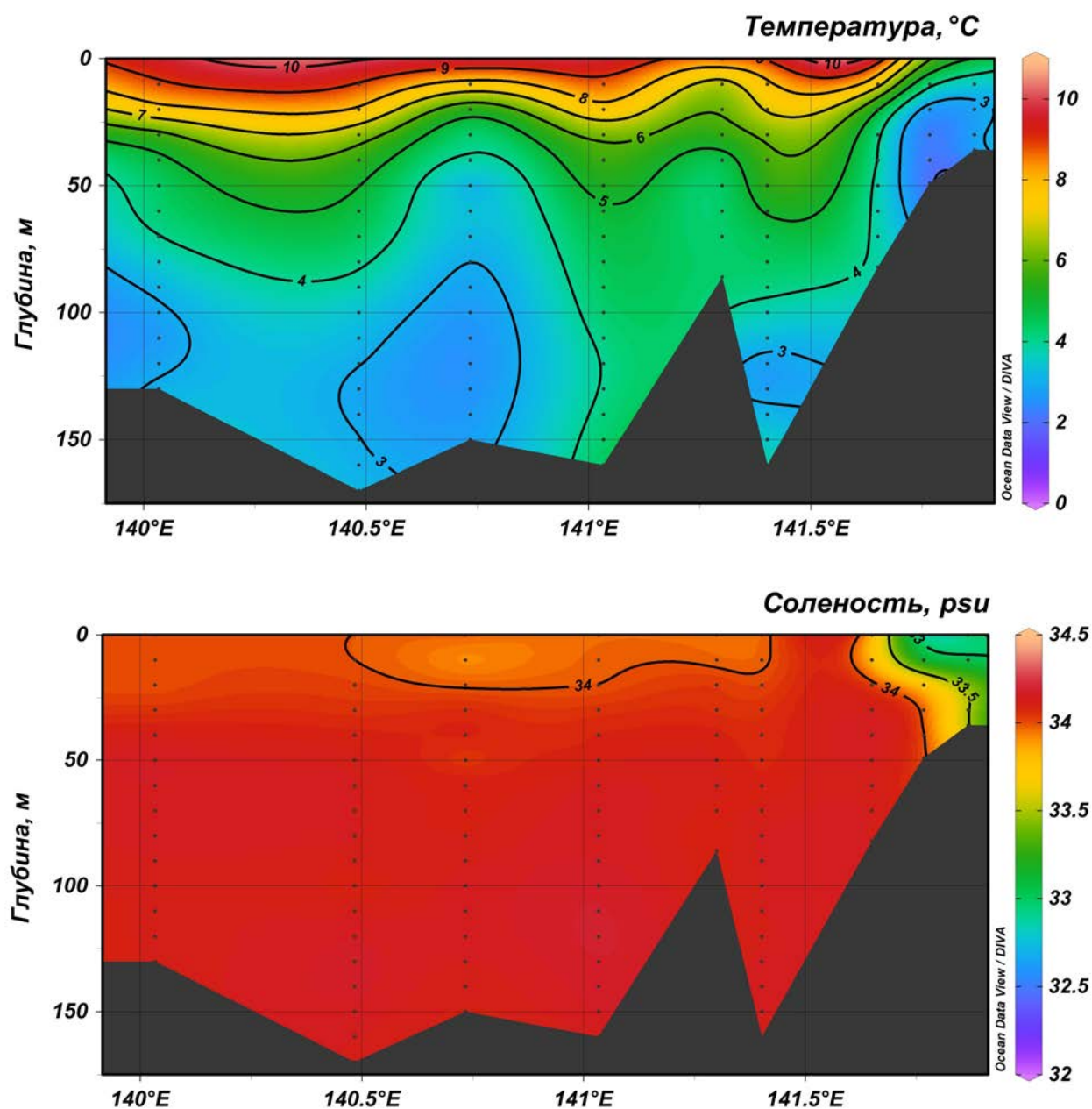


Рисунок 3.15 – Вертикальные распределения температуры и солёности на разрезе ПМ 16.06.1992 г.

В начале июня 1994 года распределение океанологических параметров типично для средних многолетних значений – максимальный прогрев в зоне Цусимского течения (до 9 °С), у берега выраженный узкий прибрежный поток холодного Западно-Сахалинского течения (рисунок 3.16).

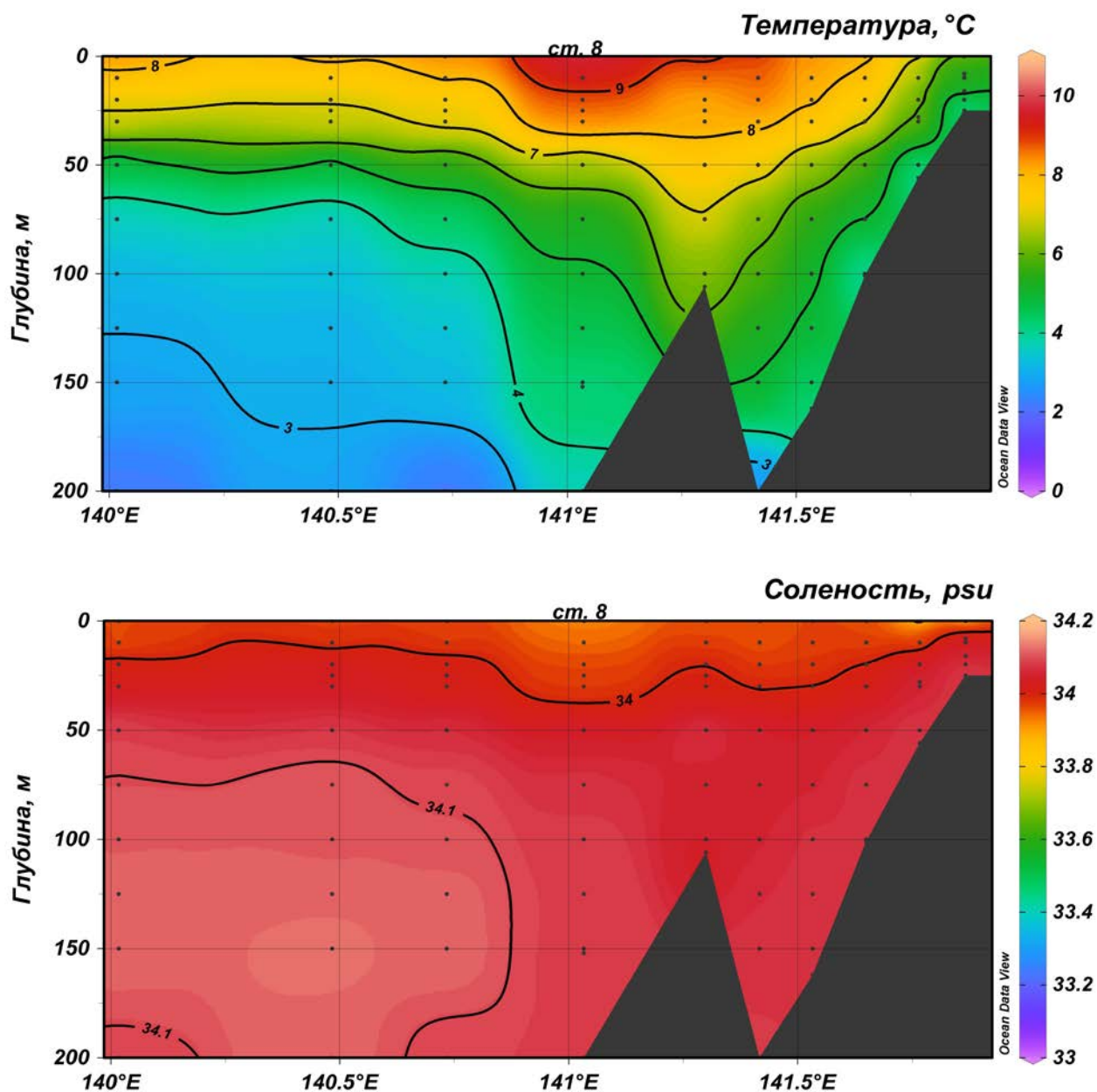


Рисунок 3.16 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе ПМ 04-05.06.1994 г.

**Осень.** По данным судовых съемок, выполненных, например, в начале сентября 2011, в начале октября 1990, в конце сентября 2013 гг. наблюдались ситуации, типичные для данного времени года с активным Западно-Сахалинским течением.

Весьма необычная и примечательная ситуация сложилась в начале октября 1992 года. С одной стороны, распределение температуры на разрезе типично для развитого Западно-Сахалинского течения, однако область холодных вод заметно шире, чем обычно, и охватывает всю шельфовую зону. В этом верхнем 15-метровом слое отмечены воды низкой солености, которые, очевидно, транспортируются с юга приливным течением (рисунок 3.17). Это указывает на то, что взаимодействие с приливным потоком приводит к расширению области холодных вод, что хорошо заметно на спутниковых снимках (Dubina, 2004).

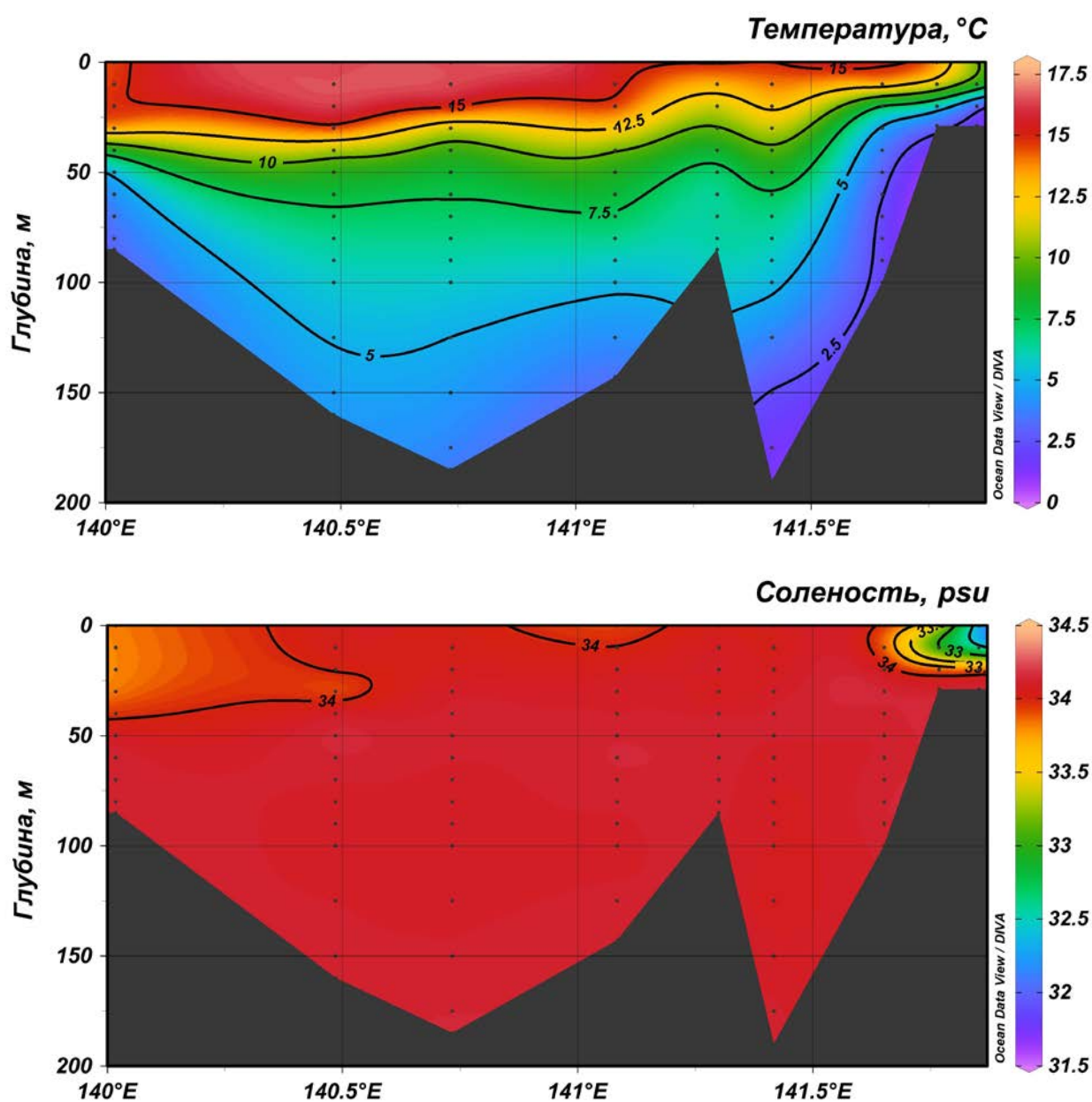


Рисунок 3.17 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе ПМ 02.10.1992 г.

В целом, результаты отдельных съемок (рис. 3.14-3.17), несмотря на заметные отклонения от средних многолетних распределений гидрологических показателей, показывают устойчивый характер сезонных вариаций гидрологических условий. Наиболее существенные отклонения связаны со смещениями оси Цусимского течения на запад и наличием на шельфе о. Сахалин холодной водной массы с низкой соленостью в нехарактерный для этого период года, что подтверждает предположение о затоке охотоморской водной массы приливным течением в южную часть Татарского пролива.

### **3.3. Результаты океанологических съемок на разрезе Т1**

Разрез Т1 расположен южнее стандартного океанологического разреза п. Перепутье – о. Монерон – м. Олимпиады. Всего было выполнено 26 съемок в период с 1995 по 2013 гг. На разрез Т1 наиболее отчетливо проявляется влияние залива охотоморской водной массы и его взаимодействия с Западно-Сахалинским течением. Рассмотрим кратко вертикальные распределения температуры и солености. На распределениях рельеф дна выглядит существенно по-разному. Это связано с тем обстоятельством, что значительная часть съемок выполнялась зондом Alec Electronics, который не позволяет контролировать глубину погружения прибора в автоматическом режиме в точке проведения зондирований. По этой причине при работе до небольшой глубины нижняя граница погружения прибора (на рисунках выглядит как дно) сильно изменялась, это обстоятельство приходится принимать во внимание.

**Весна.** 24 мая 2002 года Цусимское течение было весьма активно, максимальные значения температуры в районе станции 8 (141 меридиан) превышали 13 °С. Отмечены признаки активизации Западно-Сахалинского течения. Распределение солености однородно, воды низкой солености не наблюдались (рисунок 3.18).

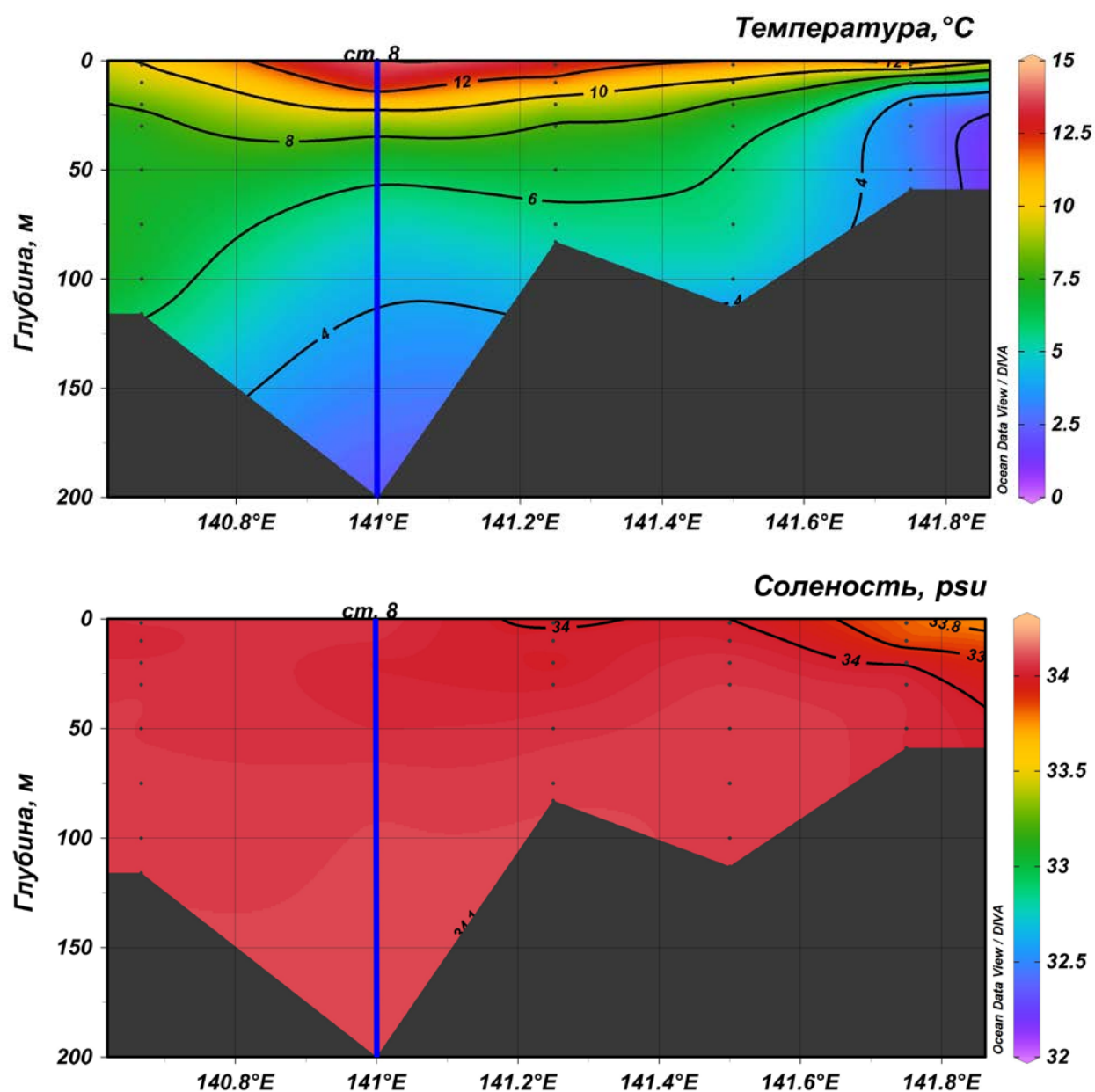


Рисунок 3.18 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе Т1 24.05.2002 г.

**Лето.** 27 июня 2006 года Цусимское течение сравнительно хорошо развито, максимальные значения температуры в поверхностном слое составляли около 13 °С. Западно-Сахалинское течение было активным, распределение солености – однородным.

В конце первой декады августа 1995 года наблюдалась весьма примечательная ситуация. С одной стороны, поверхностные воды были хорошо прогреты и в восточной части разреза наблюдались наклоны изотерм, характерные для развитого Западно-Сахалинского течения. С другой – в распределении солености на шельфе отмечены воды низкой солености. Скорее всего, имело место взаимодействие приливного потока,

несущего на север воды низкой солёности, с узкой струей Западно-Сахалинского течения, которая в результате была оттеснена от берега (рисунок 3.19).

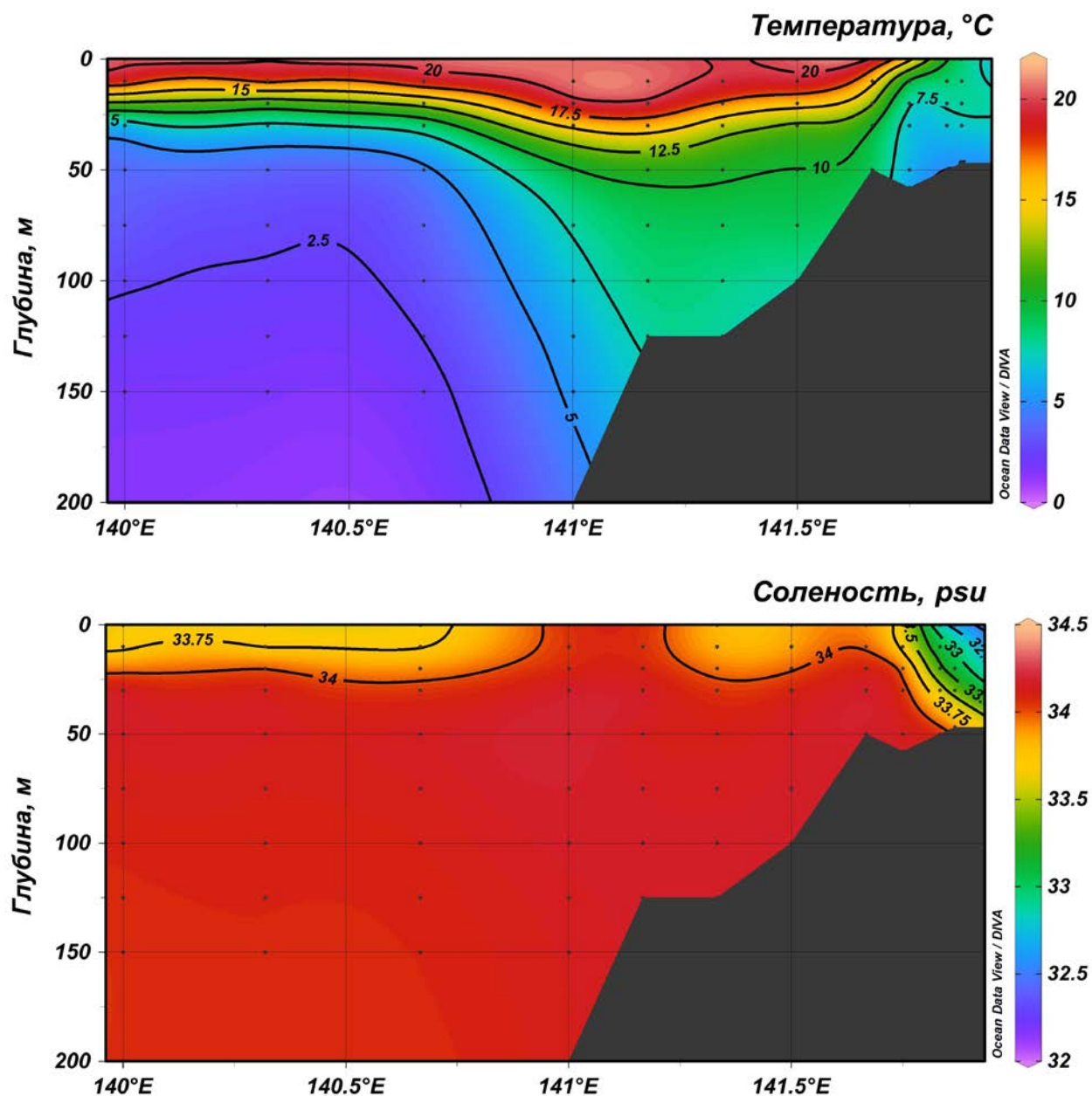


Рисунок 3.19 – Вертикальные распределения температуры и солёности на разрезе Т1 09-10.08.1995 г.

**Осень.** В первой декаде декабря 1997 года с интервалом около суток были выполнены съемки на разрезах Т1 и Т2. На разрезе Т1 Цусимское течение еще сохраняло свое обогревающее влияние на гидрологические условия в данном районе, максимальные значения температуры вблизи 141 меридиана составляли 9 °С. Вблизи берега наблюдался ориентированный на север поток охотоморской водной массы с низкой солёностью (до

32,5 psu) и сравнительно низкой температурой, около 5 °С (рисунок 3.20). В районе станции 8 (141 меридиан) отмечена линза распресненной воды, происхождение которой по данным этой съемки объяснить сложно.

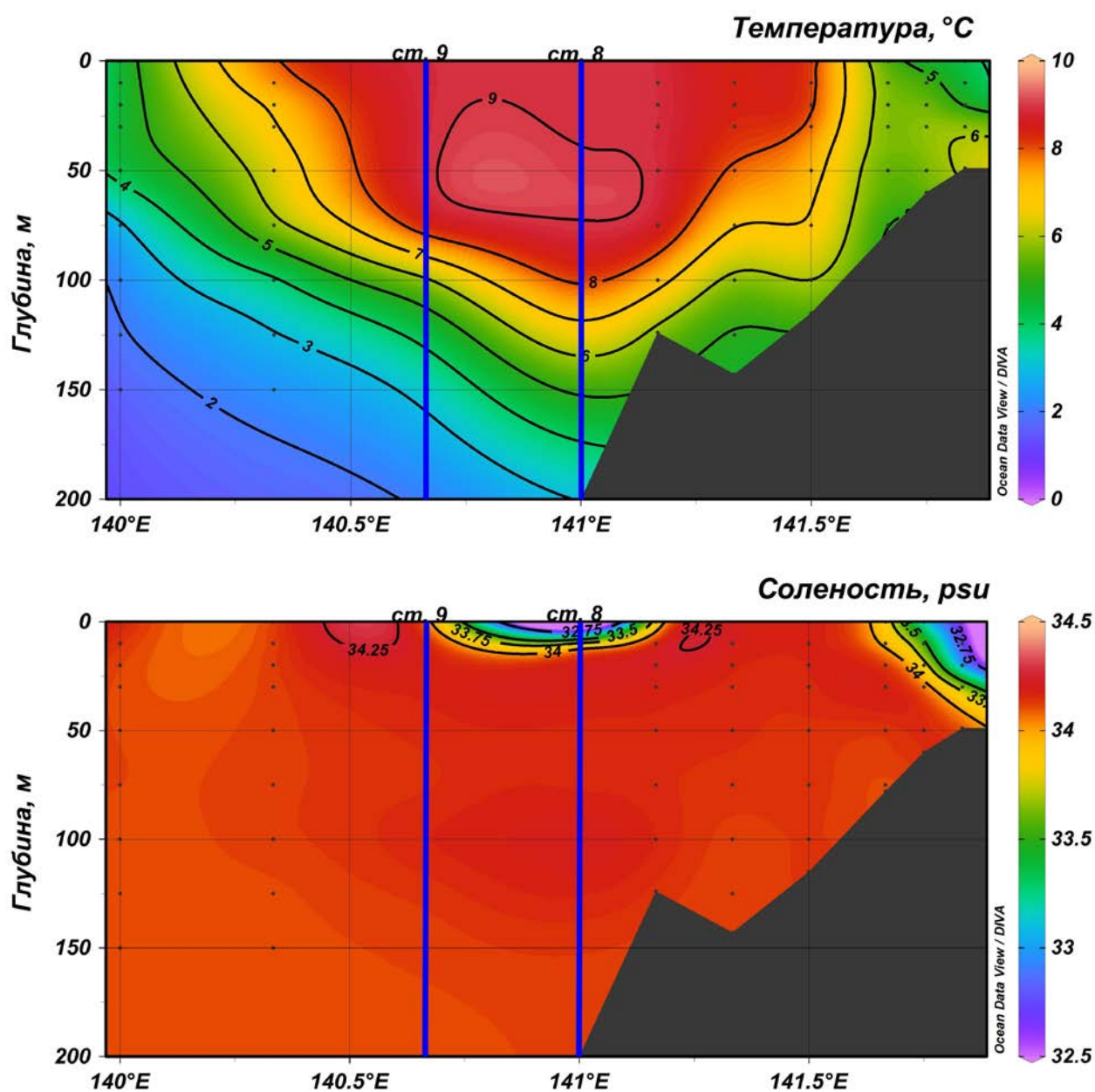


Рисунок 3.20 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе Т1 07.12.1997 г.

Подводя итоги выполненного анализа океанологических съемок на разрезе Т1 можно констатировать следующее:

Главными особенностями гидрологического режима на разрезе Т1 являются: влияние теплого Цусимского течения (рис. 3.18-3.20), основная струя которого весьма устойчива и проходит в районе 141 меридиана (станция 8); наличие в теплый период года

узкого струйного холодного Западно-Сахалинского течения; значительное влияние в шельфовой зоне о. Сахалин холодных вод низкой солености, попадающих в район разреза через пролив Лаперуза под влиянием приливного течения и благодаря разности уровней между Японским и Охотским морями. Эти воды способны оттеснить струю Западно-Сахалинского течения от берега в сторону свала глубин.

### **3.4. Результаты океанологических съемок на разрезе Т2**

Разрез Т2 расположен немного севернее стандартного океанологического разреза Перепутье – о. Монерон – м. Олимпиады, вблизи границы изучаемого района. Исследования проводились с целью выявления определения границы распространения охотоморской водной массы. Всего было выполнено 13 съемок в период с 1996 по 2001 гг. Рассмотрим кратко вертикальные распределения температуры и солености.

**Весна.** 12 марта 1998 года заметно лишь очень слабое проявление Цусимского течения над подводной возвышенностью (станция 6). На прибрежной станции отмечено незначительное влияние охотоморской водной массы (рисунок 3.21).

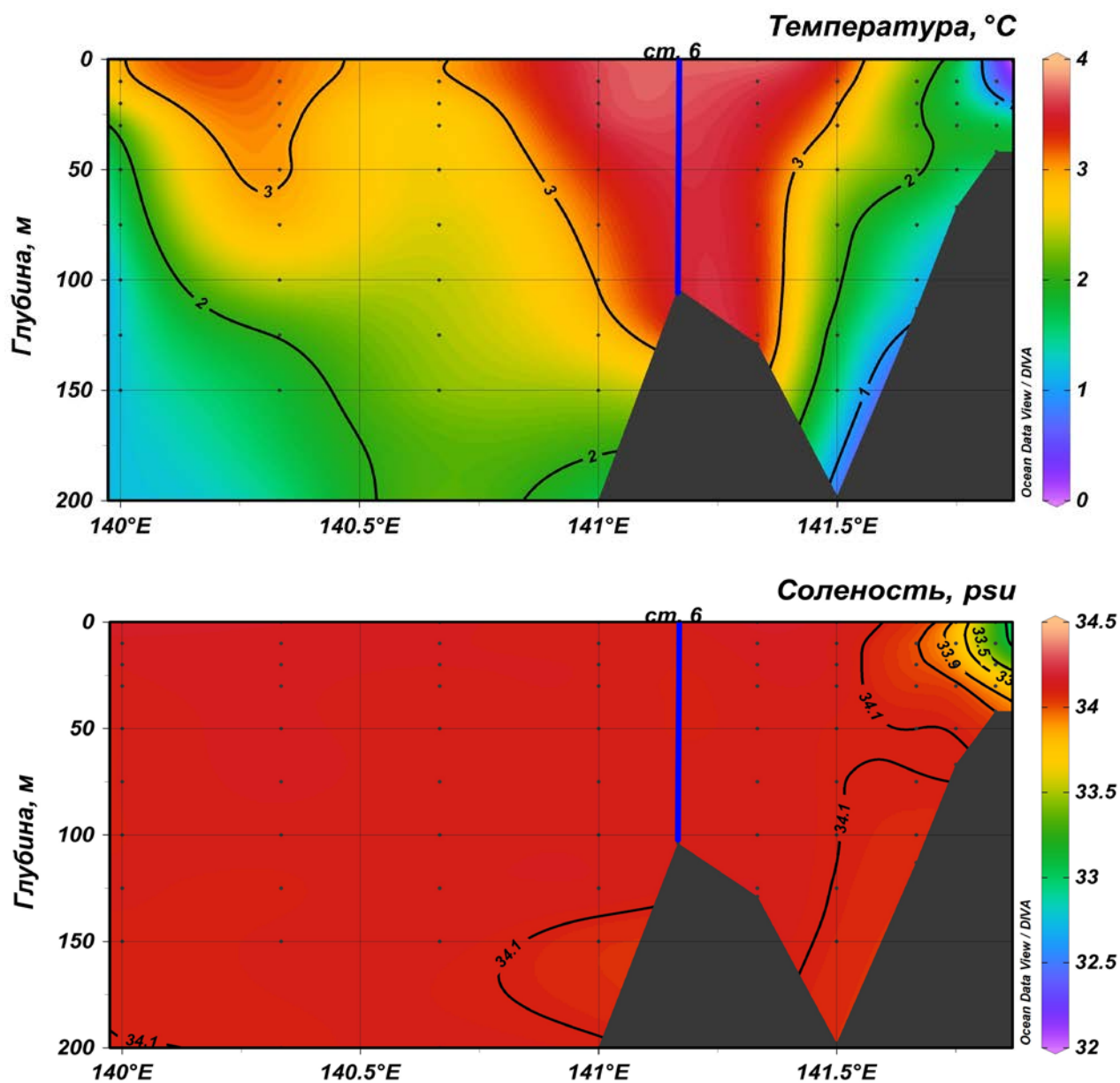


Рисунок 3.21 – Вертикальные распределения температуры и солёности на разрезе Т2 11-12.03.1998 г.

14 июня 1996 года вода в поверхностном слое была прогрета до 9 – 10 °C, достаточно крутые наклоны изотерм и однородное распределение солёности говорит о развитии потоке Западно-Сахалинского течения (рисунок 3.22).

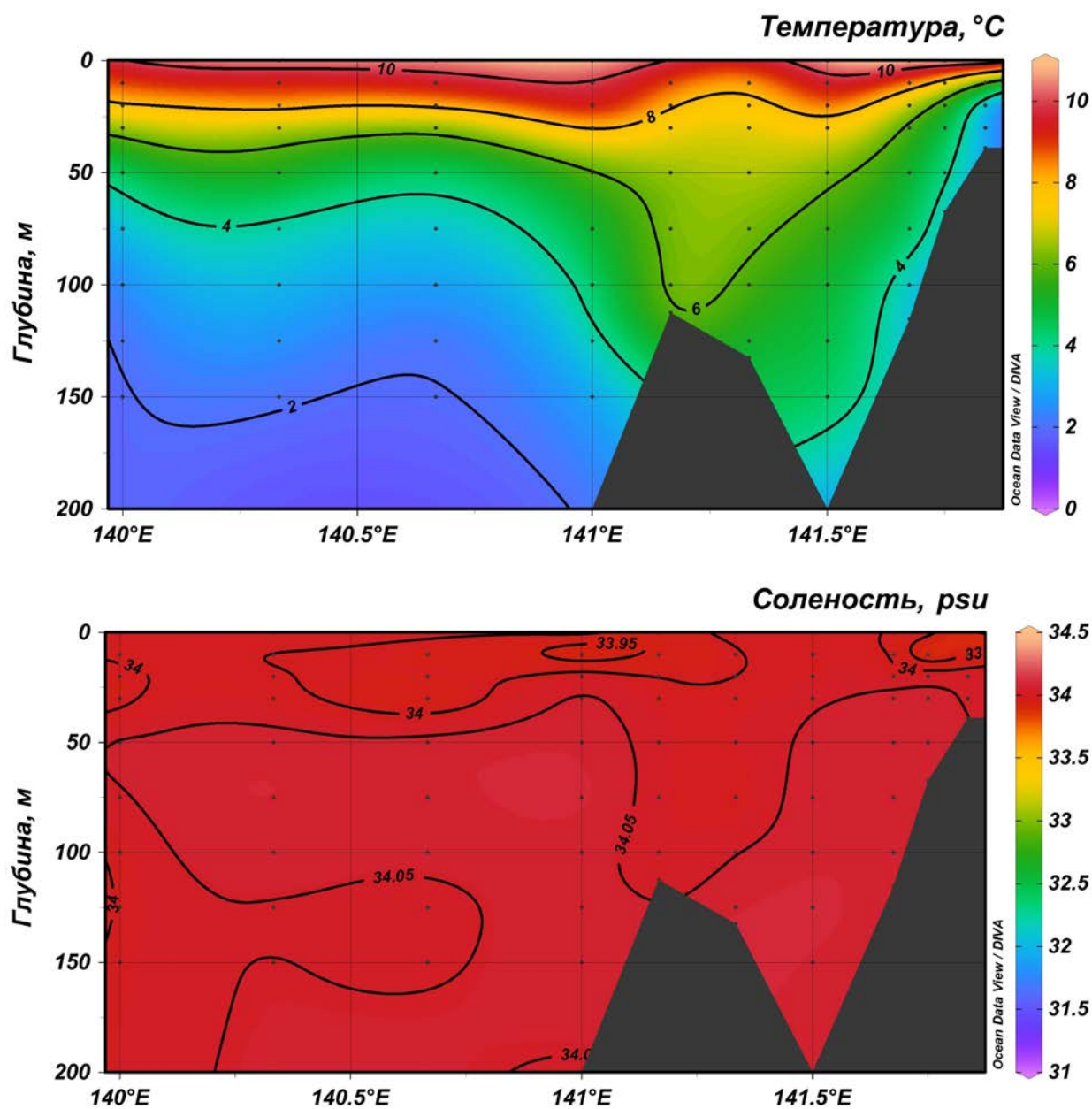


Рисунок 3.22 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе T2 14.06.1996 г.

**Лето.** 21–22 августа 1996 г. воды поверхностного слоя были прогреты до 17–19 °C. На шельфе о. Сахалин наблюдалось хорошо развитое Западно-Сахалинское течение. Распределение солености на глубинах более 20 м было однородным (рисунок 3.23).

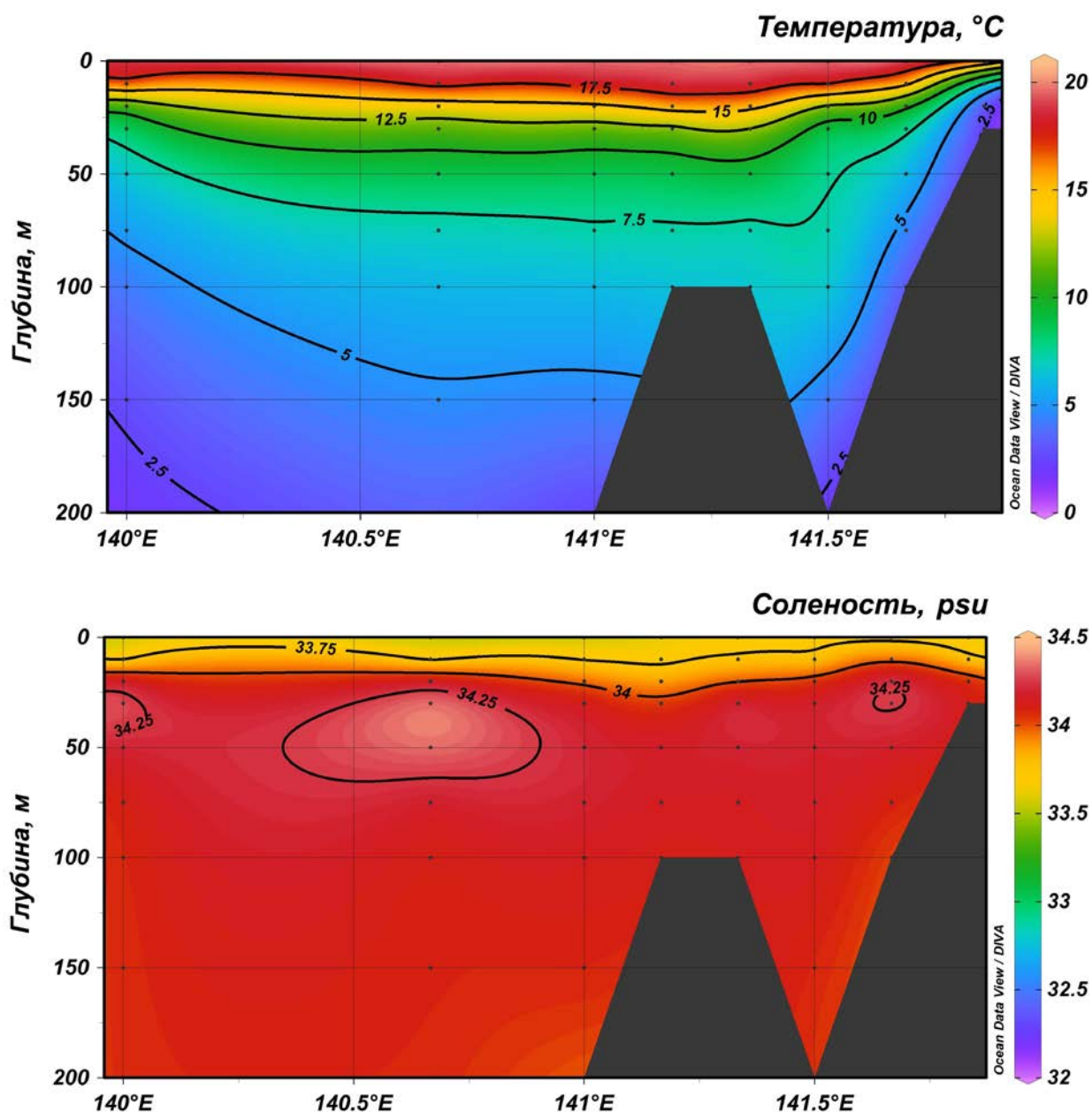


Рисунок 3.23 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе T2 21-22.08.1996 г.

**Осень.** 22 ноября 1999 года распределение температуры соответствовало представлению о развитом апвеллинге, возникающем у западного берега о. Сахалин под действием ветров северного румба. Зона холодных вод расширена по сравнению с летним сезоном, наиболее теплые воды (до 9 °C) находились над подводной возвышенностью. Распределение солености было более однородным, с некоторым снижением значений параметра вблизи берега (рисунок 3.24).

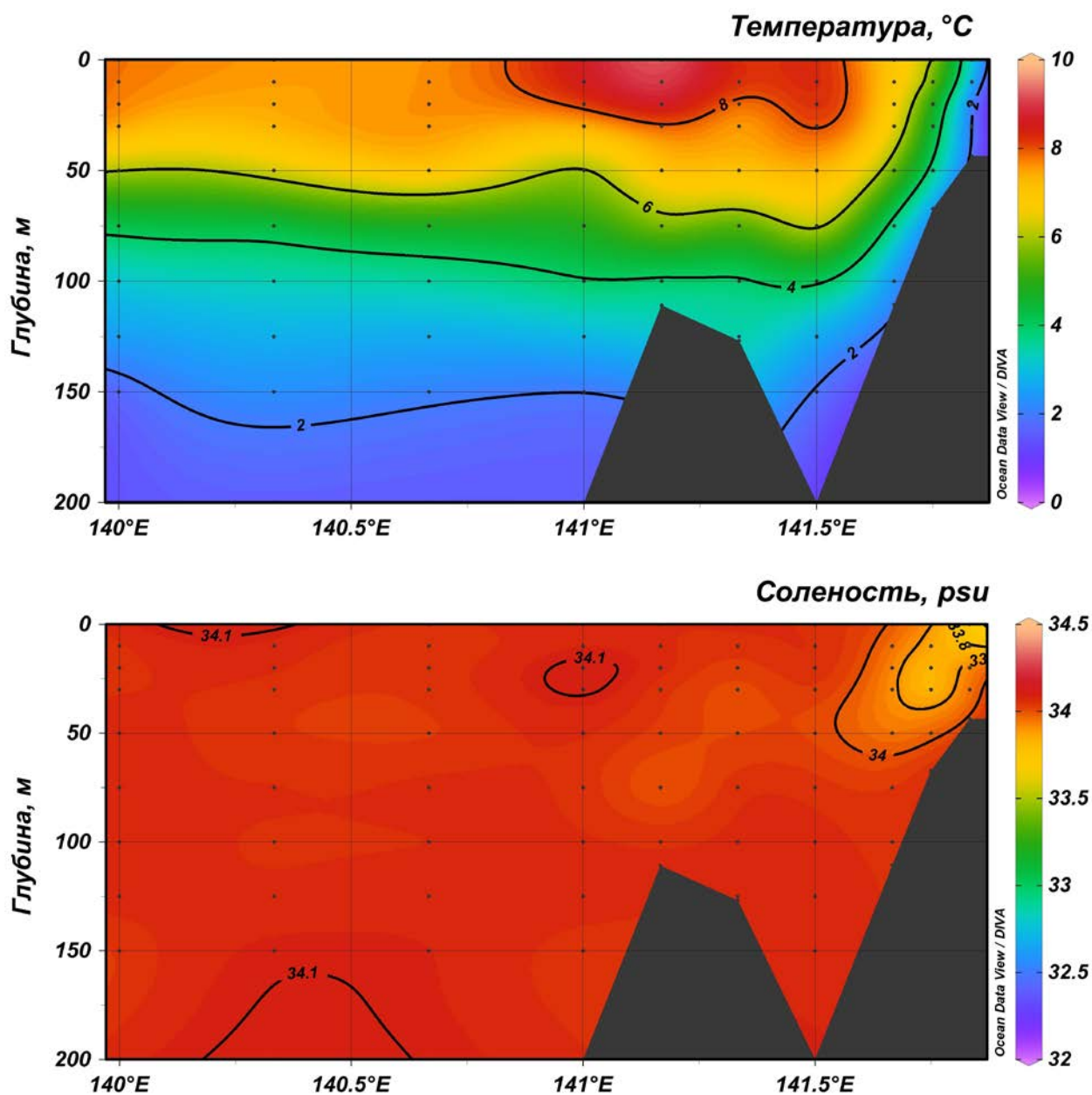


Рисунок 3.24 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе T2 22.11.1999 г.

В начале декабря 1997 г. на разрезе T2 струя Цусимского течения более узкая и менее развита в глубину по сравнению с разрезом T1. Температура воды в зоне его влияния также более низкая – около 7 °C. Влияние залива охотоморской водной массы также заметно, хотя оно более слабое, чем на более южных разрезах, что указывает на близость данного разреза к северной границе ее проникновения (рис. 3.25).

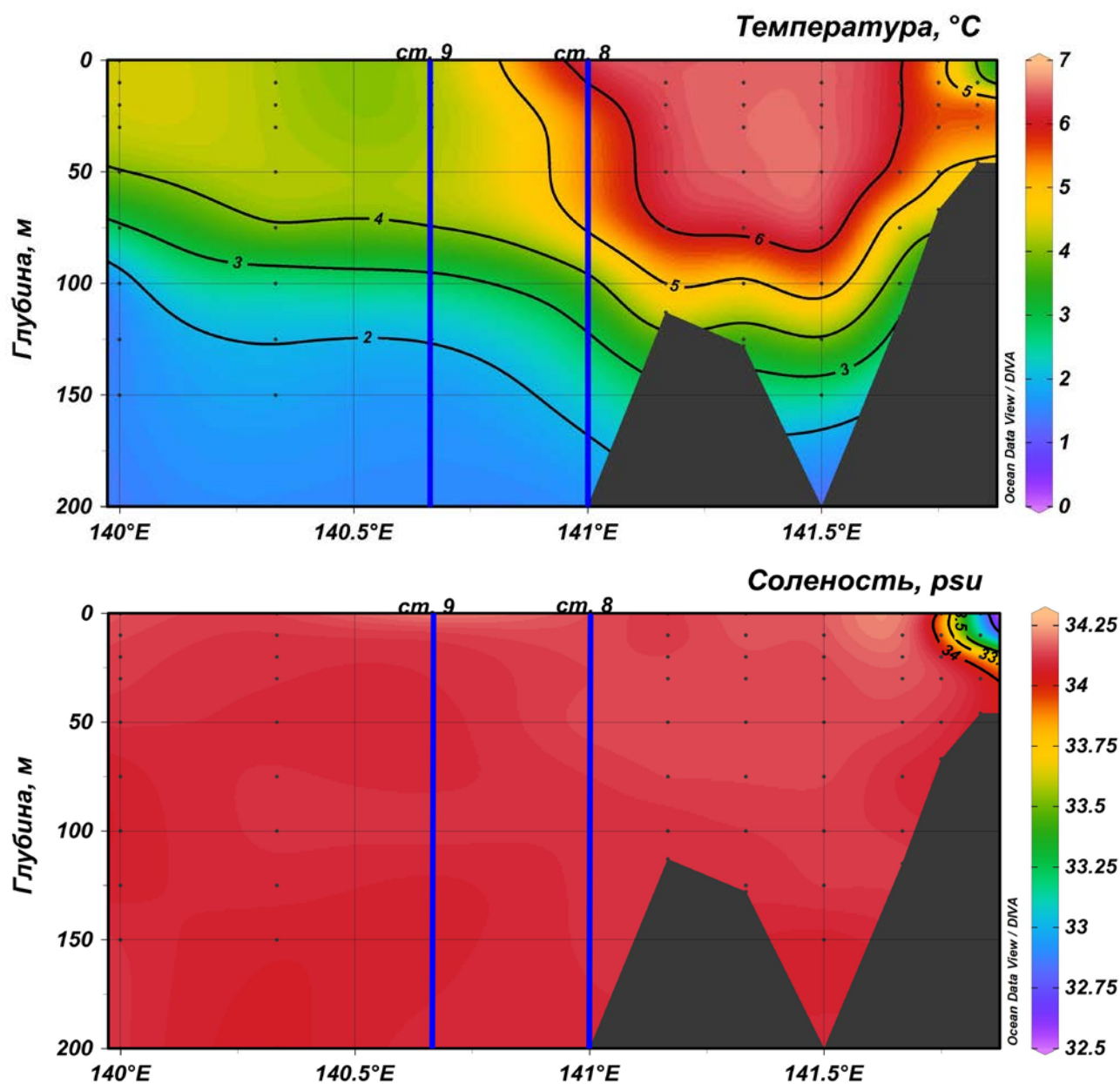


Рисунок 3.25 – Вертикальные распределения температуры и солености на разрезе Т2 06-07.12.1997 г.

Таким образом, на основании проведенного анализа океанологических съемок на разрезе Т2 можно выделить главные особенности гидрологического режима: акватория в районе разреза Т2 является северной границей распространения охотоморской водной массы вдоль побережья о. Сахалин в холодный период года (на более северных океанографических станциях эти воды не обнаруживаются). В период максимального проникновения этих вод (январь-февраль) съемок не было, но сравнение результатов декабрьских и мартовских съемок на данном разрезе и на разрезе Перепутье – о. Монерон позволяет сделать подобный вывод.

На рисунке 3.26 представлены пространственные распределения температуры и солености на поверхности моря в марте 1999 г. на разрезах T1 и T2 в Татарском проливе и разрезах S1 в проливе Лаперуза и S3 в заливе Анива (Пропп, Гаврина, 2019).

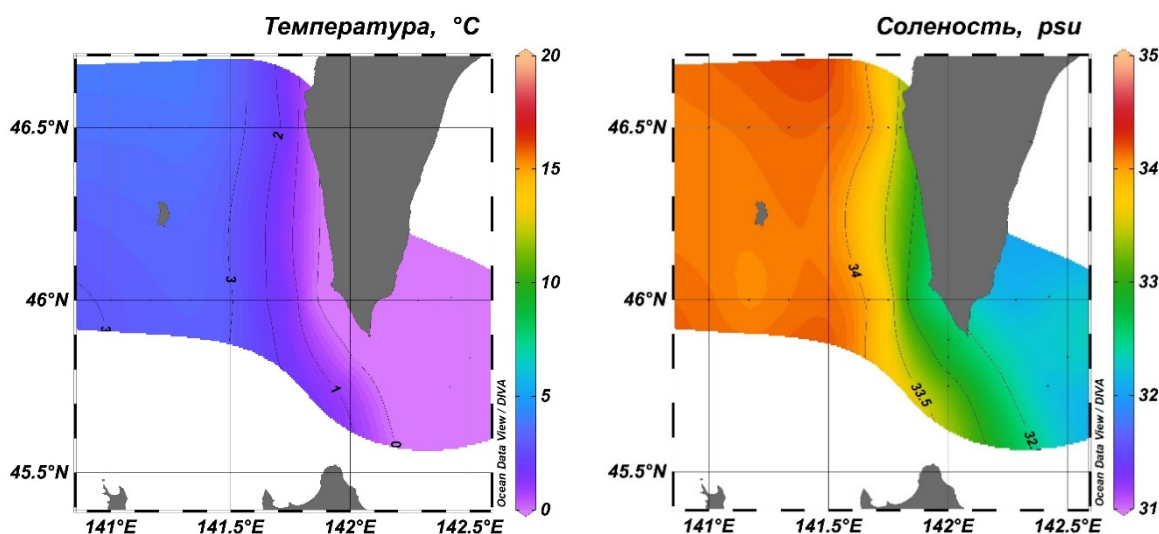


Рисунок 3.26 – Пространственное распределение температуры (слева) и солености (справа) морской воды на поверхности на моря по данным океанологической съемки в марте 1999 г.

Япономорская водная масса в марте теплее охотоморской благодаря остаточному влиянию теплого Цусимского течения: в заливе Анива вода заметно холоднее (около 0 °C) чем в районе о. Монерон (более 3 °C). Пространственные различия солености также значительны – в Охотском море ее значения не превышают 32 psu, за пределами шельфа у западного берега п-ова Крильонский около 34 psu. Полоса охотоморской водной массы вытянута вдоль побережья полуострова и сужается к северу и, вероятно, не проявляется севернее м. Лопатина. Океанологическая съемка в марте 1999 г. наглядно показывает пространственную структуру водных масс в период существования квазистационарного потока из Охотского моря в холодный период года. Аналогичная картина наблюдалась и в первой декаде декабря 1997 г (рис. 3.23).

Следует отметить, что в теплый период года такой наглядной картины распространения охотоморской воды вдоль западного побережья п-ова Крильонский получить не удалось. Вероятно, это связано с тем, что летом океанологические зондирования на разных разрезах проводились на различных фазах прилива, а также с тем, что эта вода не достигает разреза T2. Эти обстоятельства не позволили получить пространственные распределения океанологических параметров, аналогичные

представленным на рисунке 3.24. Однако в холодное время года эти распределения представляют значительный интерес.

### **Выводы по главе 3**

Анализ данных многолетних наблюдений на трех стандартных океанологических разрезах позволил изучить весьма сложный характер сезонной изменчивости океанологических условий у юго-западного побережья о. Сахалин и выделить его главные особенности. К ним можно отнести следующие:

1. Сезонные вариации гидрологического режима изучались на основе средних многолетних распределений температуры и солености, накопленных на стандартном океанологическом разрезе п. Перепутье – о. Монерон – м. Олимпиады. На основе этих данных подробно изучен сезонный характер изменчивости Западно-Сахалинского течения. Установлены четкие временные рамки его существования: течение формируется в мае и прекращает свое действие в ноябре, достигая максимума своей интенсивности в августе-сентябре. Для акватории данного разреза дана характеристика сезонной изменчивости Цусимского течения, влияющее на океанологические условия изучаемого района.

2. На осредненных распределениях в шельфовой зоне о. Сахалин в ноябре, декабре и марте присутствует охотоморская водная масса, идентифицируемая по более низким значениям температуры и солености по сравнению с япономорской. Более низкие значения плотности у берега указывают на формирование в холодный период года ориентированного на север течения этих вод. Предельной границей их распространения является акватория в районе разреза Т2.

3. Влияние охотоморской водной массы на южную оконечность п-ова Крильонский (разрез Т1) значительно и может проявляться даже в теплый сезон (под влиянием приливных течений), причем струя Западно-Сахалинского течения оттесняется этой водой от берега (согласуется с направлением течения по результатам инструментальных наблюдений).

## ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПРИЛИВОВ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО САХАЛИНА

В главе рассмотрено влияние приливных явлений на гидрологические особенности юго-западного побережья о. Сахалин, включая пролив Лаперуза, через который в изучаемый район поступает охотоморская водная масса. Впервые тема особенностей водообмена между Японским и Охотским морями через пролив Лаперуза, соединяющий две области воды разной солености и температуры, была описана адмиралом С. О. Макаровым (1894). Макаров установил, что вследствие разностей уровня моря, имеет место постоянный поток из Японского моря в Охотское, при этом, в ходе измерения температуры морской воды с борта судна в районе скалы Камень Опасности и м. Крильон, было отмечено ее значительное снижение в течение нескольких часов. Это явление он связал с взаимодействием приливной волны на фазе прилива (то есть когда приливной поток ориентирован на запад) с подводной возвышенностью в районе скалы Камень Опасности и м. Крильон, в результате чего происходит подъем холодной воды из глубоких слоев и вынос ее на поверхность. Наличие именно этих особенностей донного рельефа, по мнению С. О. Макарова, и является причиной подъема холодной воды при движении на нее приливной волны. Несмотря на низкую температуру, охотоморская водная масса за счет более низкой солености поворачивает после прохождения пролива Лаперуза направо, на север, в соответствии с обычными геострофическими соотношениями. Это приводит к формированию у западного побережья п-ова Крильонский пояса холодной воды, называемого многими специалистами «пятном Макарова». Данное явление связано с аномально сильными приливными течениями в проливе Лаперуза, скорости которых достигают очень высоких показателей (до 5-6 узлов (Odamaki, 1994; Шевченко и др., 2005)). В работе в результате анализа данных измерений температуры морской воды, полученных путем закрепления измерителя на ставной невод в районе м. Кузнецова, были выявлены значительные колебания параметра, обусловленные приливами (Митник и др., 2006). В указанной работе, также, как и в работе Бобкова и Фукса (Bobkov, Fux, 1997), была установлена зависимость размеров пояса холодной воды у западного побережья п-ова Крильонский под влиянием прилива, в частности, увеличение его размеров при тропических приливах и уменьшение при экваториальных. Для районов с преобладанием суточных приливов полумесячные вариации их величины связаны не с взаимным положением Луны и Солнца, как при сизигии и квадратуре, а с увеличением склонения Луны при ее положении в районе тропиков, и обратной картине при ее прохождении через экватор.

Однако каковы распределения океанологических параметров в проливе Лаперуза на фазе прилива и отлива, как конкретно распространяется охотоморская водная масса вдоль юго-западного побережья о. Сахалин под влиянием прилива, какие она имеет характеристики и насколько они отличаются от окружающей япономорской водной массы – ответы на эти вопросы до настоящего времени не были получены. Некоторые из этих вопросов стали более понятными благодаря материалам океанологических съемок на стандартном разрезе S1 (рисунок 2.1), а также измерений скорости морских течений, температуры и солености воды, проводившихся «СахНИРО» в мае – октябре 2024 г. вблизи устья р. Горбуша (рисунок 2.1, 2.2). Таким образом, изучено влияние залива охотоморской водной массы через пролив Лаперуза, формирующегося в теплый период года под влиянием приливов, на гидрологические условия у западного берега п-ова Крийонский (юго-западный Сахалин).

Для этого решались следующие задачи:

Сгруппировать вертикальные распределения температуры и солености, полученные по результатам океанологических съемок на разрезе S1, для фазы прилива и отлива, и определить влияние охотоморской водной массы (характеризующейся более низкими значениями температуры и солености по сравнению с япономорской) при приливном течении, ориентированном на запад (прилив) и на восток (отлив).

Проанализировать материалы инструментальных измерений колебаний уровня моря и скорости морских течений в районе устья р. Горбуша (западное побережье п-ова Крийонский), определить роль приливной составляющей в их изменчивости.

Исследовать вариации температуры и солености при отливе и приливе по данным инструментальных измерений и прибрежных океанологических съемок, выявить роль охотоморской водной массы в формировании гидрологических условий в этом районе.

Изучить влияние приливных течений на вариации температуры морской воды по данным инструментальных измерений и результатов комплексных гидрологических и гидрохимических исследований на стандартном океанологическом разрезе T1 вблизи о. Монерон (рисунок 2.1).

#### **4.1. Влияние прилива на распределение температуры и солености на разрезе S1**

В этой части работы рассмотрены результаты океанологических съемок, выполненных на стандартном разрезе S1. Данные были сгруппированы по разным фазам приливного цикла в теплый и холодный периоды года, что позволило выявить влияние приливного потока на распределение температуры и солености.

Материалами для настоящего исследования послужили главным образом результаты океанологических СТД-зондирований, выполненных «СахНИРО» в проливе Лаперуза на разрезе S1. Использовались также ряды ежечасных наблюдений за уровнем моря. Для расчета скорости приливных течений использовались гармонические постоянные (для проекции на параллель и на меридиан для упомянутых 8 главных волн), полученные в результате анализа данных наблюдений на АБС «Астарта» (Шевченко и др., 2005). В этой работе было показано, что в проливе Лаперуза течения носят правильный суточный характер. Скорости приливного потока увеличиваются к северу от места постановки АБС и достигают максимума вблизи м. Крильон, и убывают в южном направлении. Поэтому предвычисленные на основе этих постоянных ряды зональной компоненты приливного потока характеризуют его в центральной части пролива, вблизи побережья Японии он может быть несколько слабее, хотя также достаточно интенсивен (Odamaki, 1994; Ebuchi et al., 2006, 2009). Также привлекались материалы спутниковых наблюдений за ТПМ в районе пролива Лаперуза.

#### **4.1.1. Распределение температуры и солености на фазе прилива в теплый период года**

Рассмотрим результаты измерений, выполненных на разрезе S1 в теплый период года как на фазе прилива, то есть когда приливная волна распространяется из Охотского моря в Японское, так и на отливе. В первом случае наблюдается вынос более холодной и менее соленой охотоморской водной массы в юго-восточную часть Татарского пролива. Приведем два характерных примера.

На рисунке 4.1 приведены вертикальные распределения температуры и солености на разрезе S1 в июле 1997 г. на фазе прилива. Обращают на себя внимание значительные различия в значениях океанологических параметров в северной и южной части разреза. Так, температура вблизи м. Крильон составляла около 6 °С, а у м. Соя в три раза выше, 17–18 °С. Соленость на самой северной станции была также очень низкой, менее 32 psu, в то время на юге максимальное значение достигало 33,8 psu. Подобное распределение океанологических параметров может создать впечатление о наличии двух противоположно направленных потоков в проливе Лаперуза, в южной части на восток за счет более высокой температуры, в северной – на запад на счет более низкой солености.

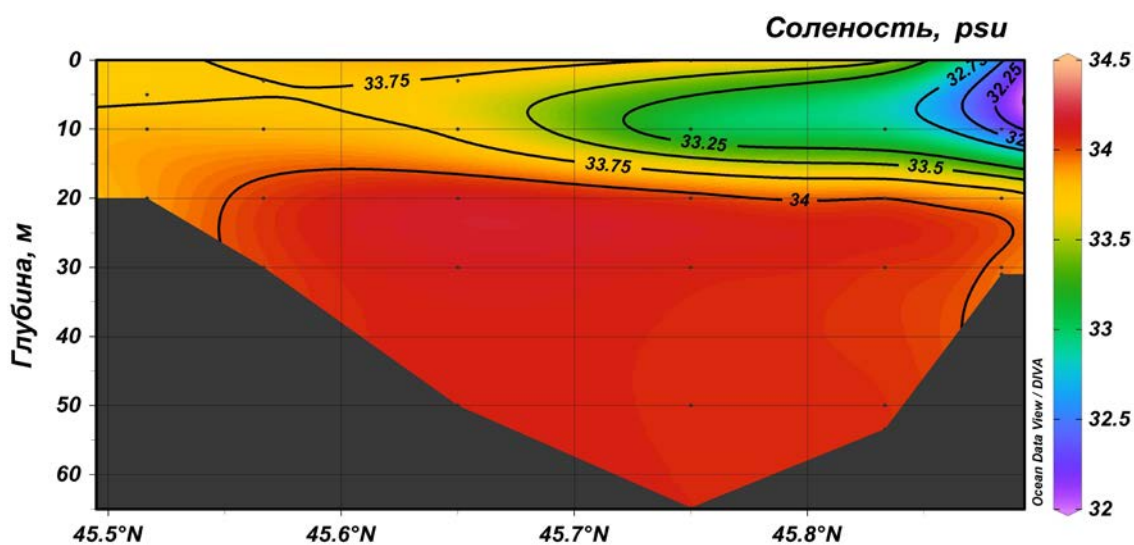
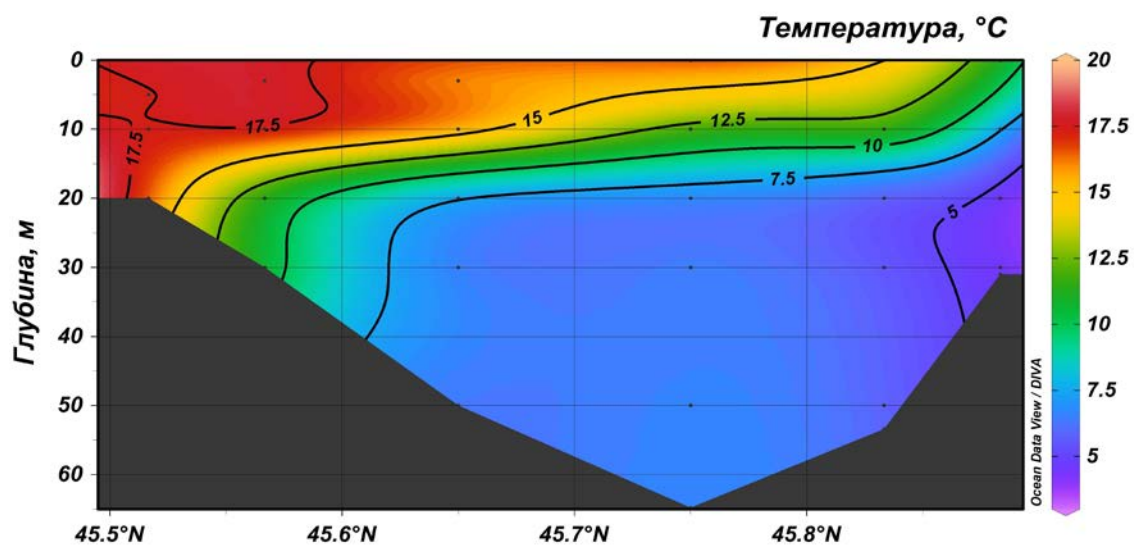


Рисунок 4.1 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °C), солености (центральный рисунок, в psu), предвычисленная зональная составляющая приливного течения и схема выполнения океанографических станций (нижний рисунок) на разрезе S1 в июле 1997 г.

В распределении плотности имели место менее существенные градиенты, так как влияние температуры и солёности на их формирование имело противоположный характер. По этой причине расчет геострофических течений дал невыразительную картину – относительно слабый поток течения Соя (около 20 см/с вблизи берега о. Хоккайдо) и совсем незначительные скорости, менее 5 см/с в северной части пролива, в обоих случаях направление на восток. Океанологические зондирования выполнялись с разрывом в двое суток, 29 июля станции 101–103 в южной и 31 июля 104–106 в северной части пролива, но примерно на одной фазе прилива. В обоих случаях приливной поток (расчет на точку установки АБС «Астарта» в центральной части пролива) был ориентирован на запад (отрицательные значения), в первом его скорость во время проведения измерений изменялась от 100 до 150 см/с, во втором от 150 до 200 см/с.

Съемка 7 августа 1995 г. (слабое влияние прилива) показала интересные результаты (рисунок 4.2). Так, минимальные значения температуры были отмечены не на северном краю разреза, а на станции S105 (около 8 °C). Максимальные значения солёности, в отличие от большинства съемок, отмечены не на самой южной станции, а на некотором удалении от берега о. Хоккайдо. Вероятно, эти особенности обусловлены влиянием приливных течений, которые имели максимальную величину как раз в то время, когда производилось зондирование на станции S101 (около 200 см/с в западном направлении). При работах в северной части пролива скорость приливного потока уменьшалась практически до нулевой отметки при выполнении самой северной станции, так что влияние прилива вблизи м. Крильон было существенно ослаблено.

Вероятно, по этой причине значения солёности менее 33 psu отмечены только на прибрежной станции в поверхностном слое, на других станциях российской части разреза они были сравнительно высокими. Тем не менее, даже в этом случае, который можно отнести к сравнительно слабому влиянию прилива (в некотором смысле его можно назвать остаточным, так как приливной поток на запад уже прекратился) на гидрологические условия в северной части пролива Лаперуза, солёность была примерно на 1 psu ниже, чем в южной, а температурные различия в поверхностном слое достигали 14 °C.

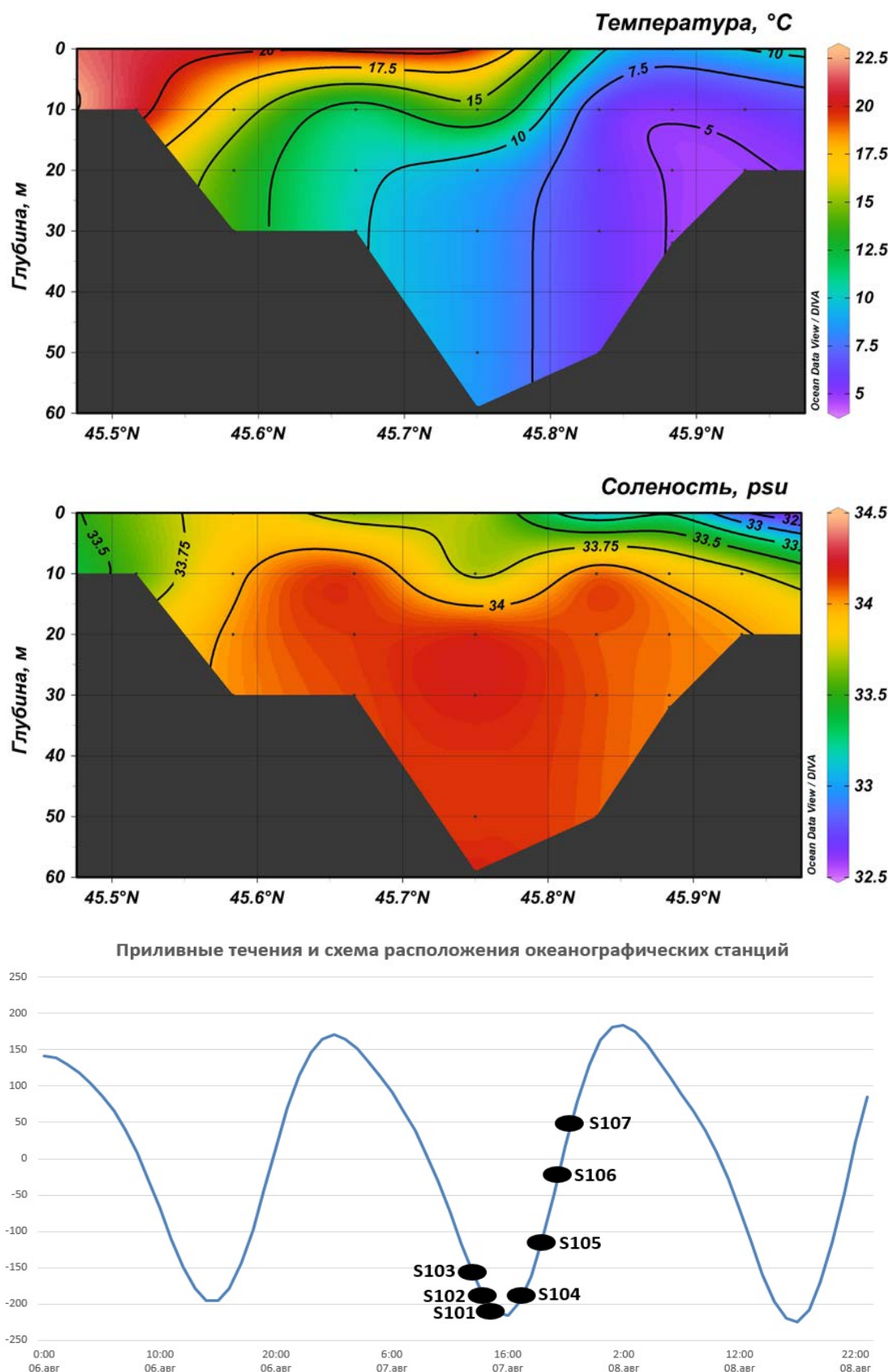


Рисунок 4.2 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °C), солености (центральный рисунок, в psu), предвычисленная зональная составляющая приливного течения и схема выполнения океанографических станций (нижний рисунок) на разрезе S1 в августе 1995 г.

#### **4.1.2. Распределение температуры и солености на фазе отлива в теплый период года**

Рассмотрим еще одну важную ситуацию, которая наблюдалась при выполнении океанологических зондирований на фазе отлива на разрезе S1 12 июня 1996 г. (рисунок 4.3). Японские специалисты начали работы несколько раньше российских, и выполнили станцию S103 до подхода НИС «Дмитрий Песков» («СахНИРО»), на фазе ослабевшего приливного течения, ориентированного на запад (около 70 см/с). Станции S102 и S104 были выполнены практически одновременно в российской и японской зонах при скорости приливного течения в центре пролива около 30 см/с, затем измерения выполнялись при набравшем силу течении, ориентированном на восток (S106 при скорости около 100 см/с, положительные значения).

Распределение температуры морской воды в целом не так сильно отличается от рассмотренных выше распределений при приливном потоке западного направления: в южной части разреза вода намного теплее (10 – 11 °С), чем в северной (4 – 5 °С). Однако холодная вода распространена на большей части разреза и охватывает всю водную толщу, а не только ее верхнюю часть.

Соленость вблизи п-ова Крильонский гораздо выше, чем в рассмотренных выше случаях (33,7 – 33,8 psu), и превышает значения на станции S101 у м. Соя, которая выполнялась на фазе слабеющего прилива. Такая соленая и холодная вода характерна для Западно-Сахалинского течения, которое активизируется в мае (Шевченко и др., 2018). Устойчивое разграничение по термическим условиям в северной и южной частях пролива Лаперуза, установленное по спутниковым данным (Цхай, Шевченко, 2005), согласуется с этим и рядом других наблюдений при измерениях на разрезе S1 на фазе отлива.

Основываясь на этих результатах, можно предположить, что проявления воды с высокими значениями солености в юго-западной части залива Анива, диагностированные как интрузии вод япономорского происхождения (Будаева и др., 2005), связаны с затоками водной массы Западно-Сахалинского течения, которая распространяется параллельно северному берегу о. Хоккайдо, но на большем удалении от него (и ближе к заливу Анива), чем теплое течение Соя. В указанной работе отмечено, что эти воды распространяются в заливе в придонном слое, что характерно для холодной воды с высокой соленостью.

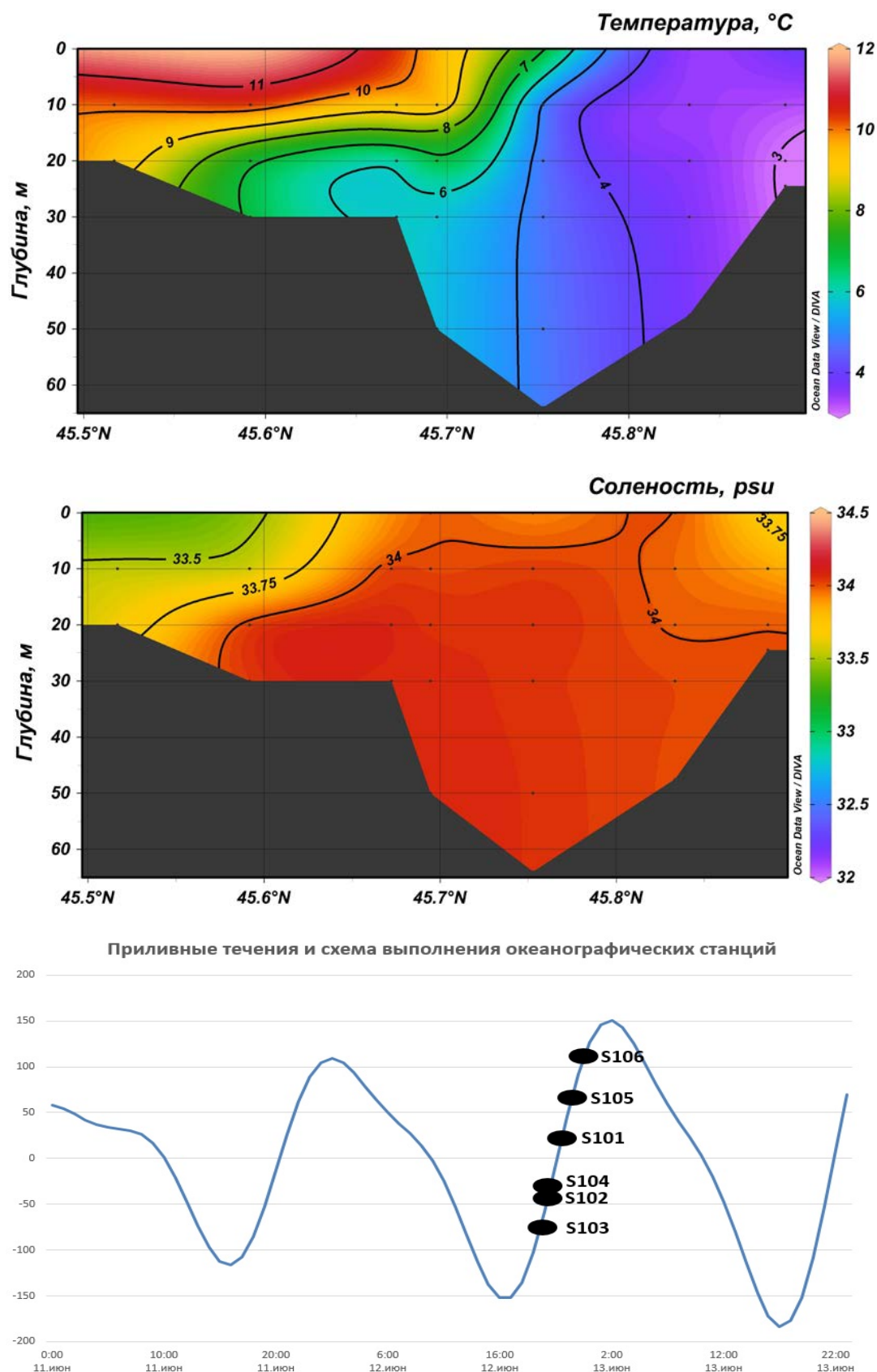


Рисунок 4.3 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °C), солености (центральный рисунок, в psu), предвычисленная зональная составляющая приливного течения и схема выполнения океанографических станций (нижний рисунок) на разрезе S1 в июне 1996 г.

#### 4.1.3. Распределение температуры и солености в холодный период года

Напомним (см. главу 3), что в холодный период года уровень Охотского моря выше, чем в Японском, поэтому существует сезонный поток охотоморской водной массы в юго-восточную часть Татарского пролива. Рассмотрим два примера, относящиеся к океанологическим съемкам на стандартном разрезе S1 в начале и в конце зимнего сезона.

Первая из них была выполнена 4 декабря 1996 г. (рисунок 4.4), океанологические зондирования были выполнены в период ослабления приливов (экваториальный прилив), южная часть при течении, ориентированном на запад, при скоростях 20 – 40 см/с, а северная при потоке восточного направления со скоростями от 5 до 20 см/с. Данную ситуацию можно отнести к случаям, когда гидрологические условия в проливе Лаперуза испытывают влияние прилива в незначительной степени, а сформированы преимущественно факторами сезонного характера (прежде всего, в различиях уровня между Охотским и Японским морями).

В начале декабря в южной части пролива Лаперуза еще сохраняется влияние теплого течения Соя. Температура морской воды характеризовалась высокими для этого времени значениями 7 – 8 °C при солености более 34 psu. В северной половине разреза на глубинах менее 25 м отмечена существенно более холодная (3 – 3,5 °C) и менее соленая вода (32,3 – 32,7 psu), что указывает на наличие сезонного потока охотоморской водной массы в Японское море вне зависимости от наличия или отсутствия приливного потока. В отличие от залива, обусловленного влиянием прилива в теплый сезон, поток охотоморской водной массы в холодный период отмечен на протяжении от м. Крильон до середины разреза и в большей степени развит в глубину.

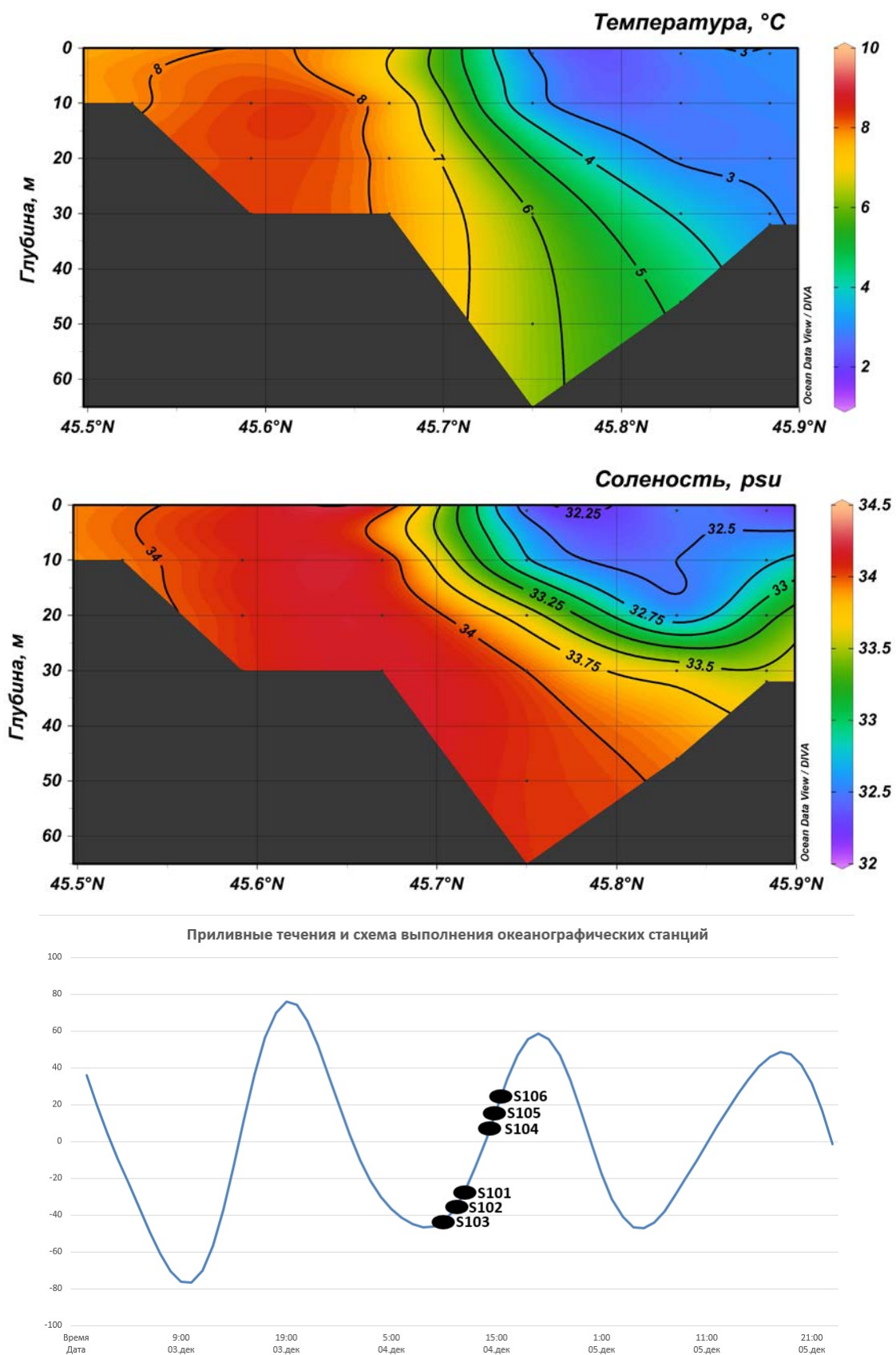


Рисунок 4.4 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °C), солености (центральный рисунок, в psu), предвычисленная зональная составляющая приливного течения и схема выполнения океанографических станций (нижний рисунок) на разрезе S1 в декабре 1996 г.

Второй пример основан на океанологической съемке, выполненной на разрезе S1 14 марта того же года (рисунок 4.5). Российские и японские специалисты начали работы практически одновременно в центральной части пролива при достаточно сильном течении, ориентированном на восток (около 100 см/с). Крайние станции выполнялись при уже слабеющем приливном потоке, скорость которого составляла около 30 см/с. Эта ситуация относится к случаям, когда на устойчивый сезонный поток охотоморской водной массы воздействует приливное течение восточного направления.

Различия в термических условиях в северной и в южной части разреза в период максимального выхолаживания не так велики, но они также имеют место: вблизи м. Крильон значения температуры морской воды отрицательные (минимум  $-1,41^{\circ}\text{C}$ ), а у м. Соя около  $3^{\circ}\text{C}$ . Вариации солености вдоль разреза более существенны, от 34 psu на юге до 32 psu на севере.

При этом можно сказать, что влияние приливного потока восточного направления заметно сужает зону проявления потока охотоморской водной массы, ориентированного на запад, в Японское море, но не останавливает его. На фазе прилива он заметно усиливается. Эта вода распространяется узкой струей вдоль юго-западного берега о. Сахалин, и может достигать м. Богдановича (широта около  $46^{\circ}33'$  с. ш.) (Шевченко и др., 2018), что определяет специфику гидрологических условий у западного побережья п-ова Крильонский в холодный период года.

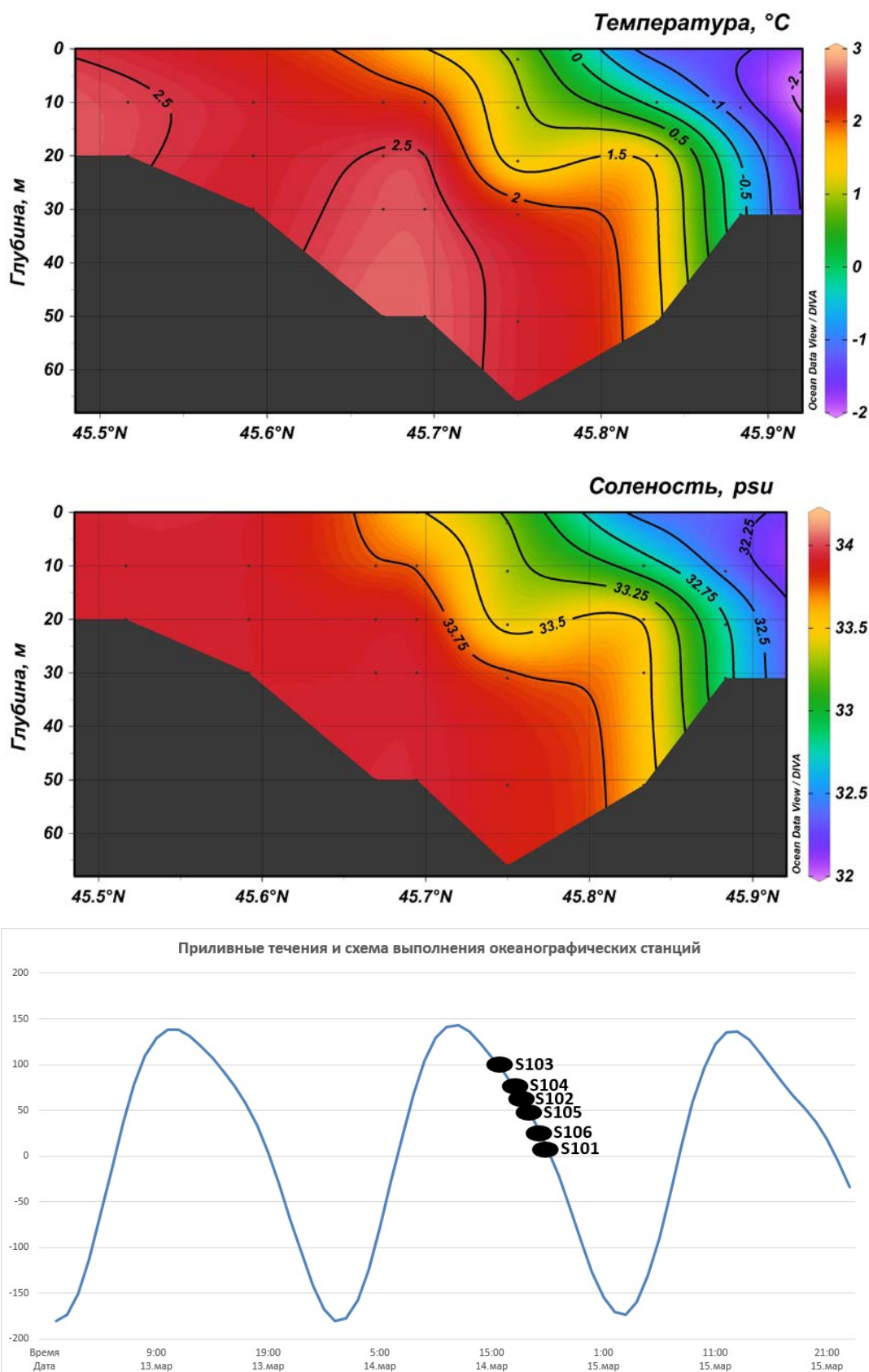


Рисунок 4.5 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, °C), солености (центральный рисунок, в psu), предвычисленная зональная составляющая приливного течения и схема выполнения океанографических станций (нижний рисунок) на разрезе S1 в марте 1996 г.

## 4.2. Спутниковые наблюдения за температурой поверхности моря

Для изучения особенностей термического режима вод в районе пролива Лаперуза привлекались также данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря.

На рисунке 4.6 представлены пространственные распределения ТПМ по пролетам искусственных спутников Земли (ИСЗ) над изучаемым районом в 2020 г. 3 июля в 3:02 (здесь и далее по тексту в этом разделе время приведено в UTC<sup>1</sup>) и 7 июля в 2:38.

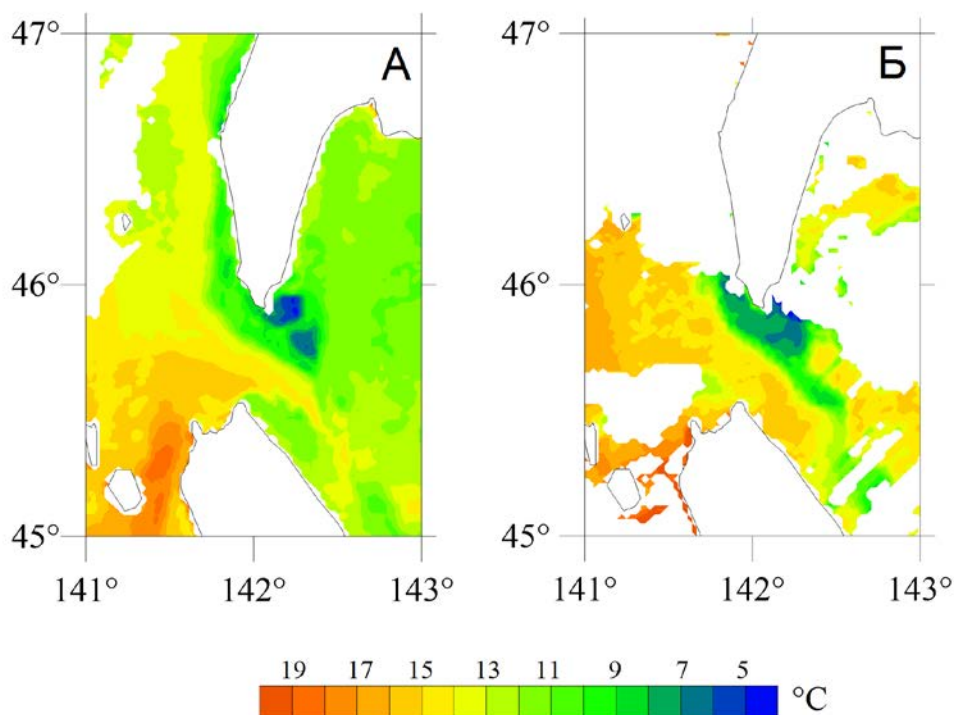


Рисунок 4.6 – Пространственные распределения температуры поверхности моря (в °C) в районе пролива Лаперуза 3 июля в 3:02 (А) и 7 июля в 2:38 (Б) 2020 г. по спутниковым данным.

Расчет приливного течения показал, что первый из этих снимков относится к достаточно сильному отливу (скорость приливного течения, ориентированного на восток, уже около 5 часов превышала 200 см/с, рисунок 4.7). Поток теплого течения Соя, остановленный приливом, начался в центральной части пролива, при этом на его южном участке, прилегающем к побережью о. Хоккайдо, температура воды более низкая. Ситуации, когда основной поток теплого течения идет не вблизи Японии, а в центральной части пролива, иногда наблюдались и по данным судовых измерений (например, в рассмотренном выше случае в августе 1996 г., рисунок 3.3). Еще более холодная вода

<sup>1</sup> UTC – Всемирное координированное время; стандарт времени UTC пришел на смену стандарту времени GMT – среднему времени по Гринвичскому меридиану.

отмечена в северной части пролива Лаперуза, причем отчетливо видно, что она движется из юго-восточной части Татарского пролива, из зоны влияния Западно-Сахалинского течения. Возможно, сделанный ранее вывод о том, что Западно-Сахалинское течение отклоняется от побережья п-ова Крильонский и ориентировано в зону дивергенции Цусимского течения (Kantakov, Shevchenko, 1999), справедлив для фазы прилива, при отливе вода этого течения движется вдоль берега и непосредственно попадает в пролив Лаперуза и в Охотское море.

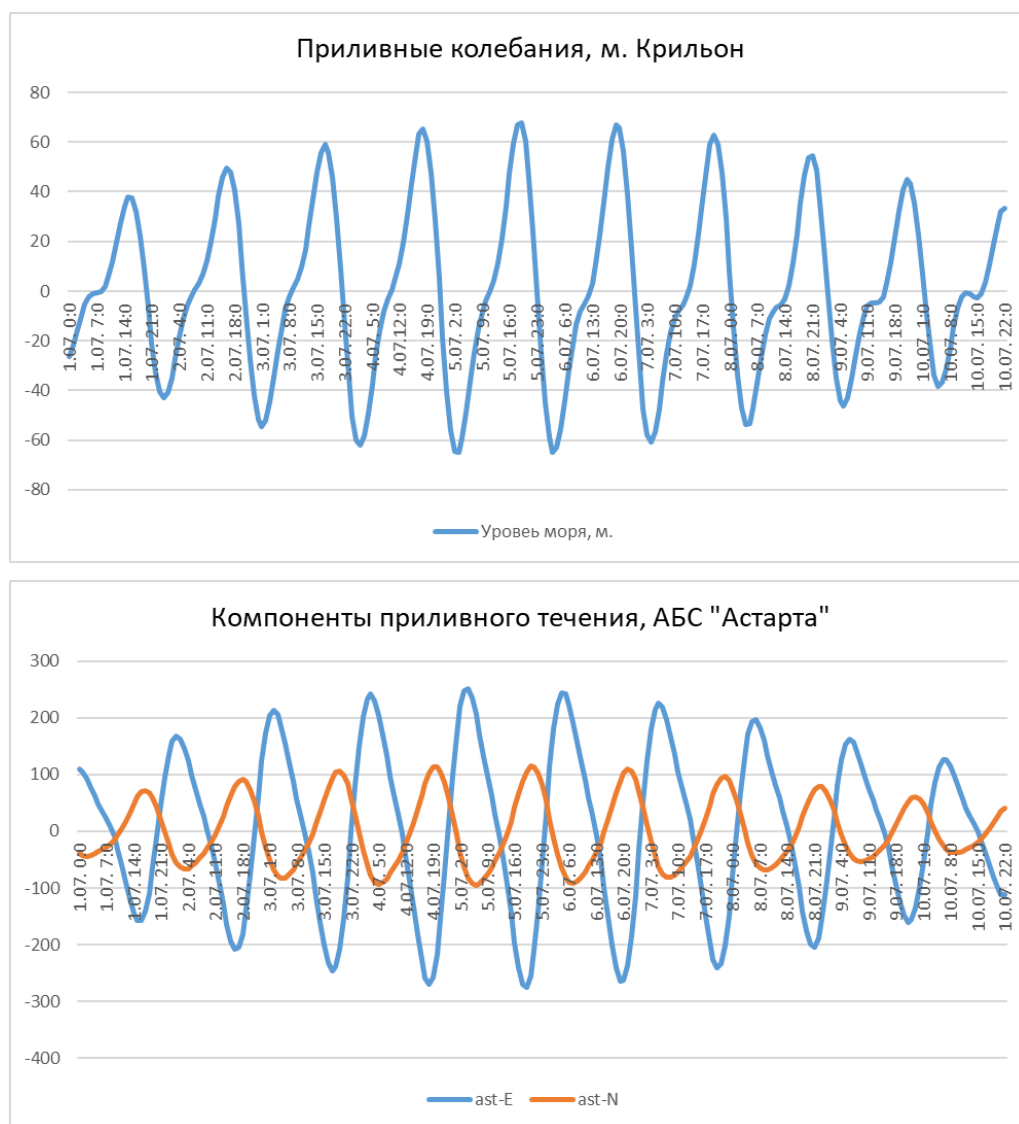


Рисунок 4.7 – Предвычисленные приливные колебания уровня моря на станции мыс Крильон (верхний рисунок) и составляющие приливного течения на АБС «Астарта» (нижний рисунок) на период с 1 по 10 июля 2020 г.

Наиболее холодная вода (3 – 4 °C) наблюдалась в юго-западной части залива Анива, вблизи скалы Камень Опасности (именно наличие этой особенности донного

рельефа, по мнению С.О. Макарова, и является причиной подъема холодной воды при движении на нее приливной волны), и вытягивалась полосой, проходившей параллельно потоку течения Соя. Аналогичное распределение было получено и при анализе спутниковых данных (Цхай, Шевченко, 2005), что указывает на его закономерный, повторяющийся характер. Второе пятно холодной воды указывает на его интрузию в залив Анива через пролив между п-овом Крильонский и скалой Камень Опасности. Если эта холодная вода характеризуется еще и высокой соленостью, то, вероятно, она опускается и распространяется в заливе в придонных слоях, что согласуется с результатами Будаевой с соавторами (2005).

Позднее, примерно через 5 часов (7:45), когда уже заканчивался отлив (рисунки 4.6, 4.7), пространственное распределение ТПМ существенно не изменилось, только заметно усилился заток теплых вод течения Соя, а температурные различия в целом в районе снизились. Обращает внимание уменьшение размеров пятна холодных вод у западного побережья п-ова Крильонский на фазе отлива. Зависимость величины пятна и контраста температуры в нем с окружающими водами было отмечено ранее (Bobkov, Fux, 1997). Несмотря на искажающее влияние облачности, приблизительно одинаковые значения ТПМ и размеров пятна холодной воды видны на карте района по данным пролета ИСЗ за 7 июля, который пришелся на начальную фазу отлива, изменение направления приливного потока произошло за 2 часа до этого, хотя его скорость быстро нарастала и уже превысила 1,5 м/с (рисунок 4.7). Однако эту ситуацию можно отнести к случаям слабого влияния прилива, холодное пятно, начинающееся от скалы Камень Опасности, тянется к м. Крильон и далее на север вдоль побережья одноименного полуострова, хотя эта часть уже прикрыта плотной облачностью. Полоса более холодной воды, вытянутая параллельно северному берегу о. Хоккайдо, выражена слабо, как и ее заток в юго-западную часть залива Анива. Течение Соя, идентифицируемое по более теплой воде, широкой полосой распространяется по северному шельфу этого острова.

Рассмотрим теперь пространственные распределения среднесуточных ТПМ в осенний период 2003 и 2004 г., они представлены на рисунке 4.8 (данные по отдельным пролетам за эти годы не сохранились). В октябре уровень воды в Японском море еще выше, чем в Охотском, хотя различия уже сравнительно невелики, ситуация близка к равновесной. Из рисунка 4.8А следует, что зоны влияния теплой (14–15 °С) и холодной (8–9 °С) воды четко разделяются, полоса холодной воды у западного побережья п-ова Крильонский, теплая вода Цусимского течения оттеснена от берега, что обычно наблюдается при перестройке поля ветра от летнего муссона к зимнему, когда преобладают сильные и устойчивые ветра северного и северо-западного румбов. Такая

картина воздушных потоков способствует формированию прибрежного апвеллинга у юго-западного берега о. Сахалин и усилению Западно-Сахалинского течения (Шевченко и др., 2023). Это, в свою очередь, приводит к усилению стока холодной соленой воды этого течения в Охотское море как за счет сохраняющегося уклона уровенной поверхности, так и в особенности на фазе отлива. В третьей декаде ноября сезонный уклон уровня морей уже способствует формированию потока холодной охотоморской водной массы с низкой соленостью к западному побережью п-ова Крильонский. Наблюдавшаяся картина пространственного распределения ТПМ 21 ноября 2004 г. (рисунок 4.8Б) хорошо согласуется с этим представлением. Причем отчетливо видно, что охотоморская водная масса не распространяется севернее м. Богдановича, что согласуется с ранее полученными результатами (Шевченко и др., 2018). К северу от указанного мыса также имеется область с низкими значениями ТПМ, но, очевидно, это вода иного происхождения. Это подчеркивает сложный характер взаимодействия вод с различными океанологическими характеристиками у юго-западного побережья о. Сахалин.

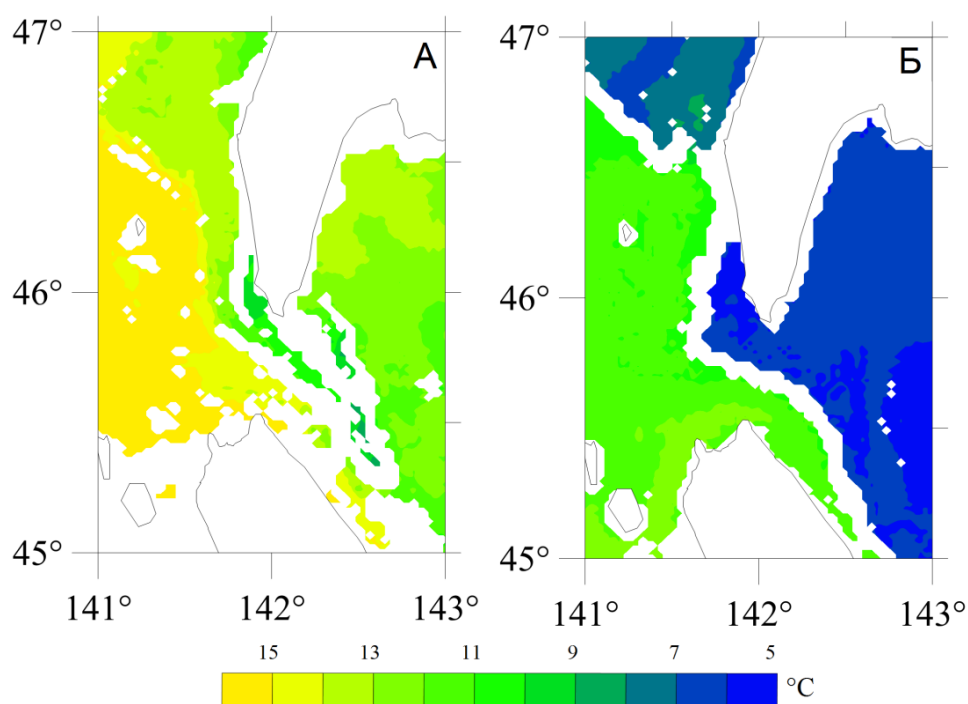


Рисунок 4.8 – Пространственные распределения среднесуточной температуры поверхности моря (в °C) в районе пролива Лаперуза 8 октября 2003 г. (А) и 21 ноября 2004 г. (Б) по спутниковым данным.

### **4.3. Влияние прилива на распределение температуры и солености вблизи устья реки Горбуша**

В связи с влиянием океанологических параметров на изменчивость и направление миграций молоди тихоокеанских лососей, специалистами «СахНИРО» в 2024 г. в рамках комплексных исследований приемной емкости прибрежных акваторий, была установлена АБС «Горбуша» и выполнены океанологические зондирования в прибрежной приустьевой зоне р. Горбуша.

Материалами для настоящего исследования послужили записи векторов скорости морских течений, придонного гидростатического давления (колебаний уровня моря), температуры и солености морской воды, полученные с АБС «Горбуша», материалы STD-зондирований в приустьевой прибрежной зоне р. Горбуша. Для определения метеорологических условий в период проведения измерений привлекались данные наблюдений на береговой метеостанции в г. Невельск за период май – октябрь 2024 г. (данные были взяты с сайта открытого доступа [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru))

#### **Вариации гидрофизических параметров в районе устья р. Горбуша**

На рисунке 4.9 представлены графики вариаций суммарного (измеренного) уровня моря и его непериодической составляющей, полученной путем вычитания из исходного ряда предвычисленного прилива. Приливы играют основную роль в колебаниях уровня моря – на их долю приходится более 76% дисперсии (энергии) вариаций измеренного ряда. Амплитуды и фазы 8 главных приливных волн (4 суточного и 4 полусуточного диапазона) приведены в таблице 4.1. В районе измерений преобладают суточные приливы: показатель характера прилива, равный отношению сумм двух главных суточных и двух полусуточных волн

$$R=(HO1+HK1)/(HM2+HS2) = 2,1$$

Максимальные возможные приливные колебания оценивались путем предвычисления 100-летнего приливного ряда. Максимальное положительное отклонение от нулевого среднего уровня составило +49 см, минимальное –30 см. Эта асимметрия между положительными (приливом) и отрицательными (отлив) значениями означает, что прилив длится более короткий промежуток времени, чем отлив. Обращает на себя внимание то, что амплитуда главной суточной волны K1 меньше, чем другой важной суточной волны O1, что наблюдается редко.

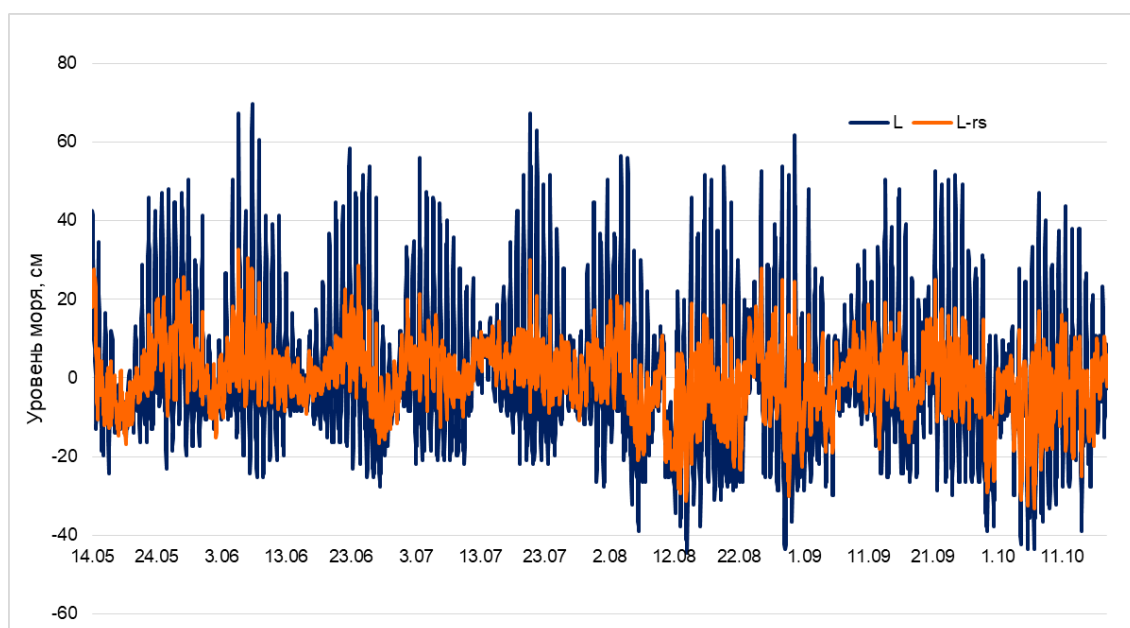


Рисунок 4.9 – Графики колебаний суммарного уровня (синяя линия) и его непериодической составляющей (оранжевая).

Непериодические колебания также достаточно интенсивны, экстремальные отклонения от нулевого среднего значения как в положительную, так и в отрицательную сторону были одинаковыми и составили 33 см. В них просматриваются вариации синоптического диапазона с периодом около двух недель, также весьма высок уровень длинноволнового шума.

Таблица 4.1 – Гармонические постоянные амплитуды ( $H$ , в см) и фазы ( $G$ , в  $^{\circ}$ , время UTC) колебаний уровня моря в районе устья реки Горбуша.

| Волна | $H$  | $G$   |
|-------|------|-------|
| $Q1$  | 3,0  | 90,6  |
| $O1$  | 14,2 | 107,0 |
| $P1$  | 2,3  | 143,6 |
| $K1$  | 12,6 | 138,9 |
| $N2$  | 1,9  | 230,6 |
| $M2$  | 8,8  | 233,7 |
| $S2$  | 3,7  | 254,9 |
| $K2$  | 0,5  | 275,4 |

На рисунке 4.10 представлены графики вариаций суммарного течения и его непериодической компоненты (проекция на параллель).

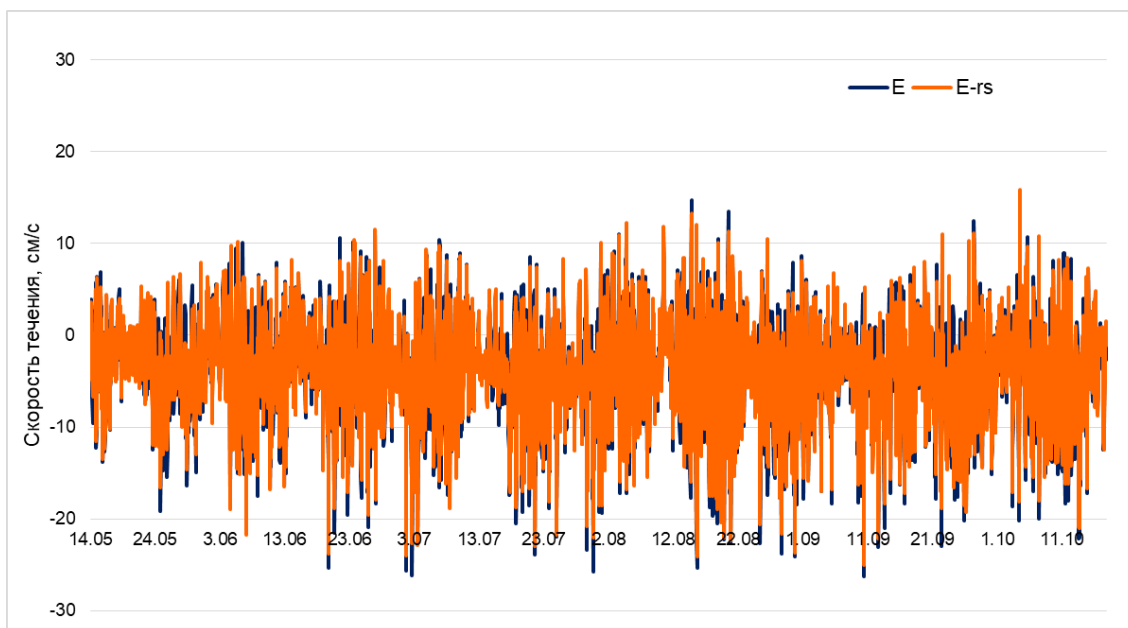


Рисунок 4.10 – Графики вариаций проекции векторов суммарного течения на параллель (синяя линия) и ее неперiodической составляющей (оранжевая).

Ориентация береговой линии в районе измерений близка к меридиональной, поэтому зональная составляющая течений сравнительно невелика, в особенности это относится к течениям восточного направления (максимальная скорость потока, ориентированного на восток 15 см/с, а на запад 26 см/с). Вклад приливной компоненты был незначителен, основную роль играли дрейфовые течения, обусловленные воздействием на морскую поверхность напряжения ветра. Так же, как и в неперiodической составляющей уровня, четко выделяются синоптические колебания с периодом около двух недель, и высок уровень длинноволнового шума.

На рисунке 4.11 представлены аналогичные графики для меридиональной составляющей течений. Скорости суммарных течений здесь намного выше, чем для поперечной к берегу зональной компоненты: максимальная скорость северного румба достигала 75 см/с, южной 49 см/с. Во вдольбереговой составляющей определяющую роль играют приливные течения, на их долю приходится более 82 % дисперсии ряда. Главную роль в формировании приливных течений играют суточные волны: амплитуды главных суточных волн составляют 18 см/с для K1 и 21 см/с для O1, отношение  $R=4,4$ , т.е. в два раза больше, чем для уровня моря (таблица 4.2). Приливные течения реверсивны, эллипсы главных волн сжаты и вытянуты вдоль меридиана. Асимметрия между северными и южными течениями аналогична асимметрии между положительными и отрицательными отклонениями приливного уровня: течения на север более сильные, а направленные на юг более продолжительные.

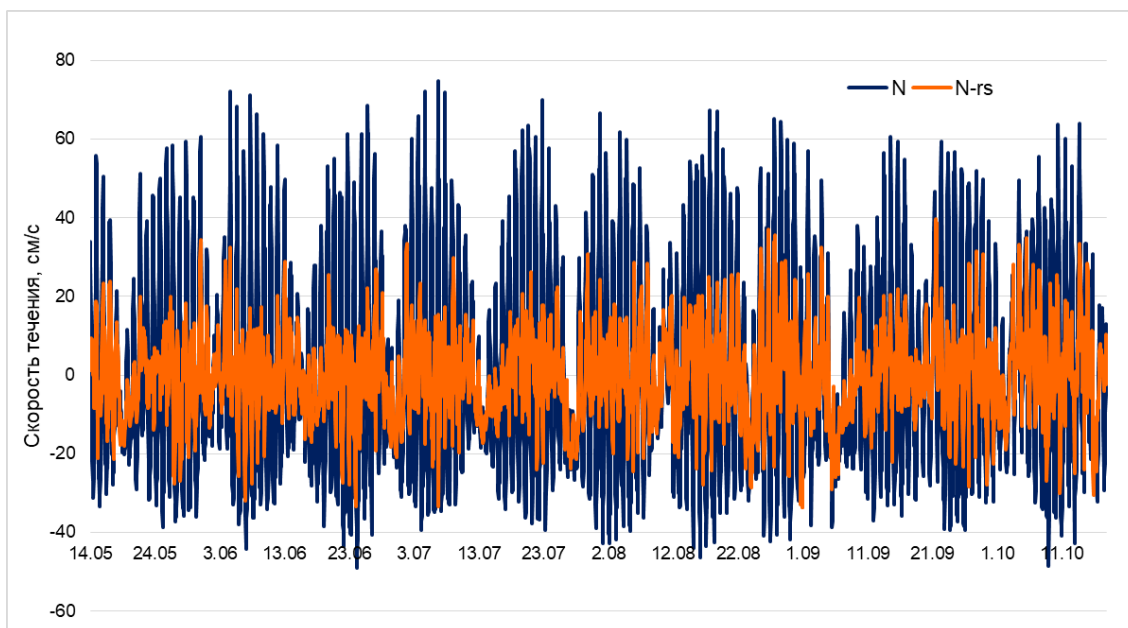


Рисунок 4.11 – Графики вариаций проекции векторов суммарного течения на меридиан (синяя линия) и ее непериодической составляющей (оранжевая).

Непериодические течения также достаточно интенсивны. Максимальная скорость потока, ориентированного на север, достигала 40 см/с, на юг 34 см/с. В них также просматриваются синоптические вариации с периодом около двух недель и высокочастотный шум, создающий отдельные резкие выбросы. Их количество заметно возросло в осенний период.

Таблица 4.2 – Гармонические постоянные амплитуды ( $H_e$ ,  $H_n$ , в см/с) и фазы ( $G_e$ ,  $G_n$ , в °, время UTC) для проекций на параллель ( $e$ ) и на меридиан ( $n$ ).

| Волна | $H_e$ | $G_e$ | $H_n$ | $G_n$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q1$  | 0,5   | 316,3 | 4,2   | 68,7  |
| $O1$  | 0,8   | 19,8  | 21,2  | 102,9 |
| $P1$  | 0,4   | 116,9 | 5,6   | 122,3 |
| $K1$  | 0,7   | 41,9  | 18,0  | 129,5 |
| $N2$  | 0,3   | 44,1  | 1,7   | 181,1 |
| $M2$  | 1,7   | 64,2  | 6,7   | 241,4 |
| $S2$  | 0,3   | 118,1 | 2,2   | 272,5 |
| $K2$  | 0,9   | 225,7 | 1,0   | 359,9 |

Наиболее удивительным результатом явилось то, что максимум приливного уровня строго совпадал с максимумом течения, ориентированного на север (коэффициент

корреляции между рядом суммарного уровня и исходным меридиональной составляющей течения равнялся 0,784, для приливных компонент 0,967). Обычно максимуму уровня отвечает слабое течение, так называемая «стоп-вода», почему это не так для устья р. Горбуша, мы не имеем убедительного объяснения. Это довольно необычное явление, свидетельствующее о наличии потока приливной энергии в северном направлении (обычно при значительной диссипации или иных потерях энергии). Это указывает на очень сложном характере приливных явлений у юго-западной оконечности о. Сахалин.

На рисунке 4.12 представлен ход температуры и солёности морской воды. Эти вариации очень существенны по величине и носили весьма сложный характер. В ходе температуры прослеживается общее возрастание параметра от мая к концу августа – началу сентября (период максимального прогрева) и затем плавное убывание. В солёности аналогичные изменения отсутствуют, в остальном океанологические параметры колеблются строго в противофазе (коэффициент корреляции – 0,882).

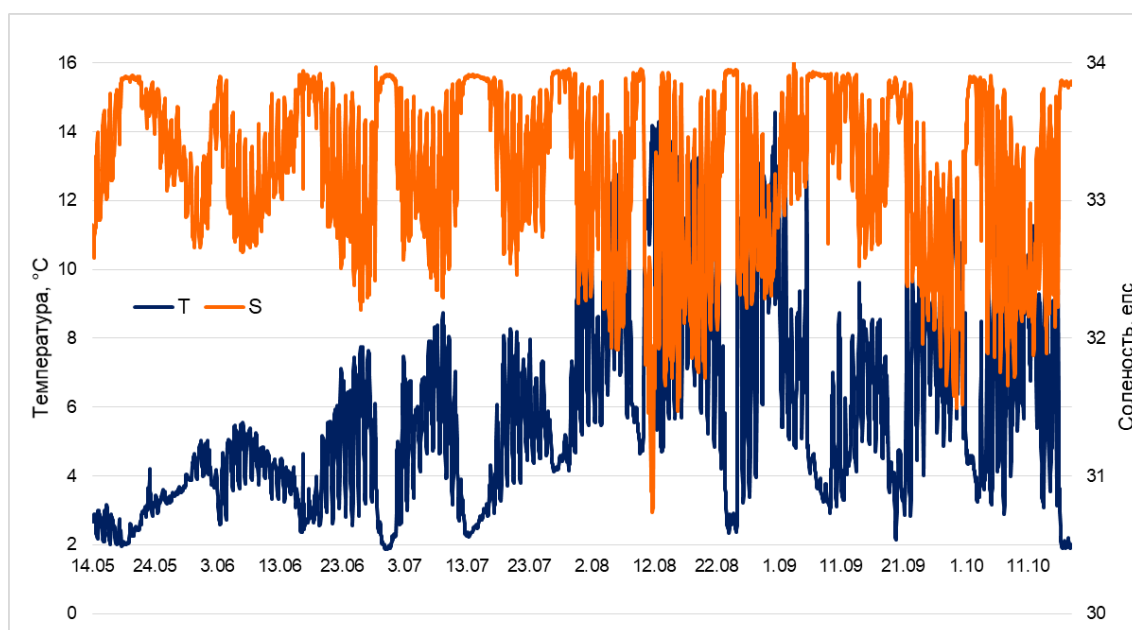


Рисунок 4.12 – Графики вариаций температуры (синяя линия, °C) и солёности морской воды (оранжевая, psu).

Обратная связь между океанологическими параметрами также удивительна, так как согласно общему мнению, из Охотского моря через пролив Лаперуза в южную часть Татарского пролива поступает водная масса с более низкими значениями температуры, и солёности (Леонов, 1948; Макаров, 1950; Danchenkov et al., 1999; Шевченко и др., 2018; Шевченко, Марыжихин, 2024). На этом вопросе более подробно остановимся ниже.

В вариациях температуры и солёности четко прослеживаются суточные колебания, идентичные вариациям уровня и меридиональной компоненты течений, что указывает на их связь с приливами (рисунок 4.13). Об этом также свидетельствуют и выраженные двухнедельные колебания: температура повышается, а солёность понижается в периоды усиления приливов (экваториальные приливы), что свидетельствует об эффекте накопления охотоморской водной массы в район постановки АБС. При тропических приливах температура воды понижается, а солёность возрастает, что указывает на ослабление влияния охотоморской водной массы. В обычных условиях станция находится в зоне влияния Западно-Сахалинского течения, характеристики воды которого рассмотрены в главе 3, где в качестве таковых взяты средние многолетние значения температуры и солёности на прибрежной станции на глубине 20 м. Отметим, что глубина моря в месте постановки АБС также была около 20 м. Напомним, температура воды в зоне влияния Западно-Сахалинского течения может быть очень низкой, в мае–июле она возрастает от 2,7 до 3 °С, и только в августе она достигает 4 °С. Более высокие значения отмечены в сентябре и октябре, когда происходит перестройка поля ветра от летнего муссона к зимнему, что приводит к существенным изменениям океанологических условий в прибрежных акваториях. Вода Западно-Сахалинского течения не только холодная, но и солёная, значения параметра возрастают от мая к августу от 33,74 до 33,90 psu, а в октябре возвращаются к исходному значению. Действительно, в периоды экваториальных приливов, когда действие приливных течений выражено слабее, значения солёности по измерениям на АБС стабильны, и составляют 33,8 – 33,9 psu. На аналогичных интервалах времени значения температуры изменялись от 2 °С в мае–июне до 4,7 °С в августе. Это указывает, что АБС находилась в зоне влияния холодного Западно-Сахалинского течения, а под воздействием прилива в изучаемый район поступала охотоморская водная масса с более низкими значениями солёности и более высокой температурой. Суточные вариации океанологических параметров имели некоторый сдвиг по отношению к меридиональной составляющей течения, причем этот сдвиг не был одинаковым на рассматриваемом промежутке времени. Он был достаточно стабилен в пределах каждого двухнедельного цикла, преимущественно минимум солёности запаздывал по отношению к максимальному значению скорости течения, ориентированного на север, на 2 – 4 часа. Но в некоторых случаях сдвиг достигал 6 часов, что выглядит очень большим отставанием, и также указывает на весьма сложный характер движения вод с различными характеристиками под влиянием приливов.

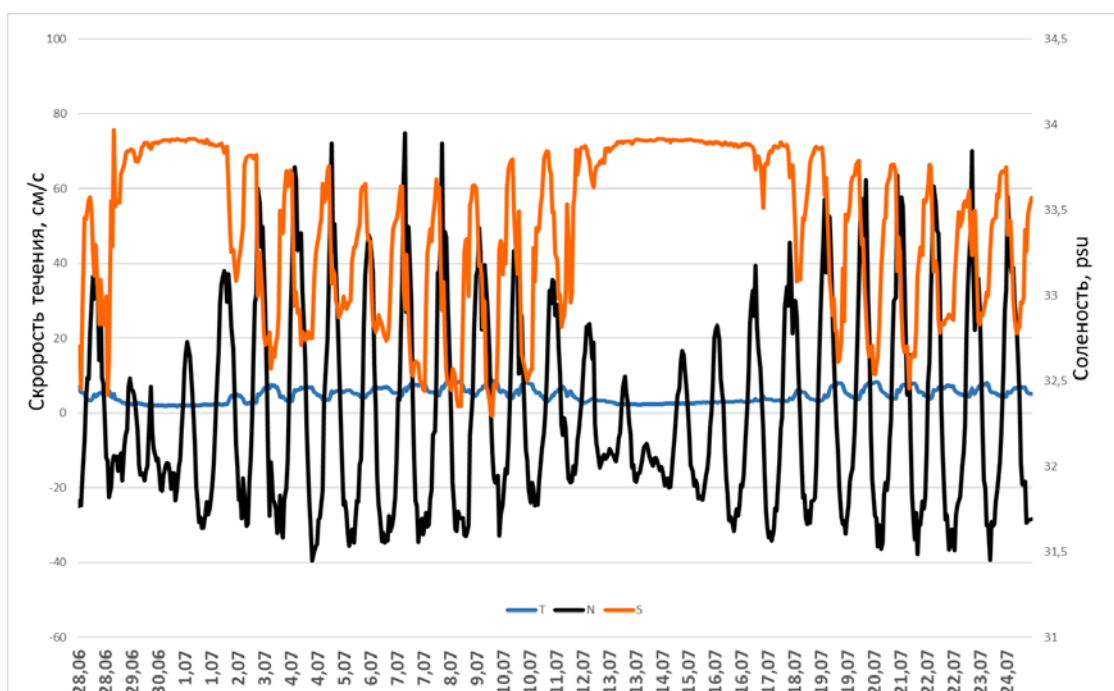


Рисунок 4.13 – Графики вариаций температуры (синяя линия, °C), солёности морской воды (оранжевая, psu) и вариаций проекции векторов суммарного течения на меридиан с 28.06. по 24.07.2024 г.

Величина суточных колебаний температуры и солёности была неодинакова в течение периода измерений. Так, суточные вариации солёности в течение первого месяца наблюдений были сравнительно невелики, около 0,5 psu, но затем возросли до 1,5 psu. Большие амплитуды наблюдались около 10 дней, в период уменьшения приливов (экваториальные приливы) они снижались практически до нуля. Максимальная величина колебаний (около 2 и даже до 2,4 psu) отмечена в период с 12 по 22 августа, после этого четкая двухнедельная цикличность в некоторой степени нарушилась. В частности, при уменьшении приливов амплитуда суточных вариаций солёности уже не была близкой к нулю.

Суточные вариации температуры носили сходный характер. На начальном отрезке времени их величина была сравнительно невелика: около 2 °C в период тропических приливов и около нуля при экваториальных. Затем она возросла до 4 °C при больших приливах, и почти не изменявшись при слабых. В августе амплитуды возросли до 10 °C, продолжительность низких значений сократилась. В сентябре интенсивность суточных вариаций уменьшилась, а в октябре снова возросла.

Помимо суточных вариаций, выделяются также полумесечные, обусловленные накоплением охотоморской водной массы на юго-восточном шельфе о. Сахалин (увеличение «пятна Макарова» в периоды тропических приливов и уменьшение при

экваториальных отмечено ранее (Bobkov, Fux, 1997)). Двухнедельные колебания солености были более стабильны, их размах составлял около 1 psu в течение почти всего периода наблюдений. Аналогичная составляющая в изменчивости температуры имела более сложный характер. В течение первого месяца она была невелика, колебания были от 2 до 4 °C, затем до 6 °C. В августе возросли как низкие значения (до 4 °C), так и (в большей мере) высокие, до 10 и даже до 12 °C и в целом отмечена утеря стабильности, которая вернулась осенью. В сентябре-октябре низкие значения были около 4 °C, высокие 8–9 °C.

### Океанологические зондирования

Океанологические исследования с борта моторной лодки в районе устья р. Горбуша (глава 2) в первый раз были выполнены во второй декаде мая 2024 г., результаты представлены на рисунке 4.14.

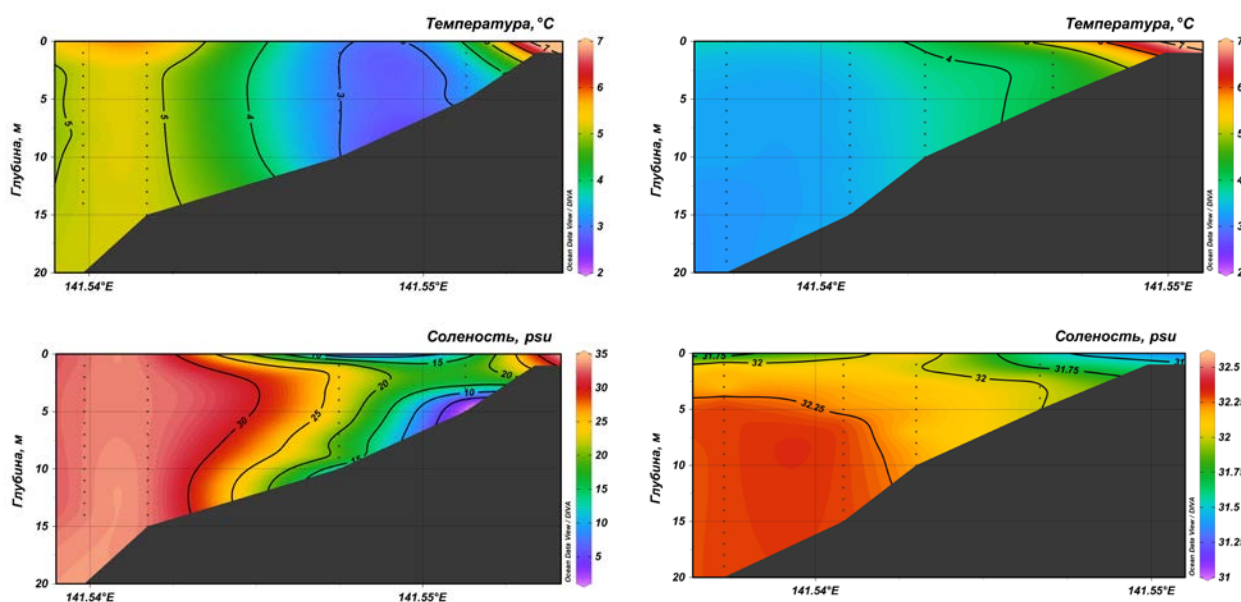


Рисунок 4.14 – Вертикальные распределения температуры (верхние рисунки, °C) и солености (нижние, psu) в районе устья р. Горбуша на разрезах 2 (слева) и 3 (справа), океанологическая съемка во второй декаде мая.

Непосредственно вблизи берега ощущалось влияние весеннего прогрева (температура воды была более 7 °C), на остальных станциях обоих разрезов вода была существенно более холодная (3–3,5 °C). На разрезе 2, в особенности на второй станции (глубина моря 5 м) заметно проявилось весеннее половодье, обусловившее резкое локальное снижение солености. Наиболее низкая соленость отмечена в придонном слое на станции 2 (менее 2 psu) и 3 (глубина 10 м, значение солености около 10 psu). Заглублению

распресненной воды мог способствовать достаточно сильный (5 – 8 м/с) южный ветер, имеющий нагонный характер, который наблюдался в изучаемом районе 14 – 15 мая. В остальных случаях соленость изменялась в довольно узких пределах от 32,1 до 32,4 psu, что для юго-западного побережья о. Сахалин, на основании средних многолетних значений (таблица 3.1), является весьма низким показателем. Вероятно, сказывалась накопление охотоморской водной массы, влияние которой уменьшалось от начала измерений к концу второй декады мая.

**В первой декаде июня** (рисунок 4.15) в прибрежье вода была значительно более теплой, чем в мае: 12,8 °С на разрезе 2 и 16,3 °С на разрезе 3. На остальных станциях значения параметра были однородными и колебались от 6 °С в поверхностном слое на изобате 5 м до 5,1 °С в придонном на более удаленных от берега станциях. Соленость изменялась по большей части от 32,8 psu в поверхностном слое до 33,3 psu в придонном, за исключением вторых станций на обоих разрезах, где значения параметра были более высокими (около 33,4 psu на разрезе 2 и 33,5 psu на разрезе 3). Такой характер распределений температуры и солености можно интерпретировать как сформировавшийся под влиянием охотоморской воды, которая распространяется по шельфу и несколько в меньшей степени затрагивает область прибрежного мелководья.

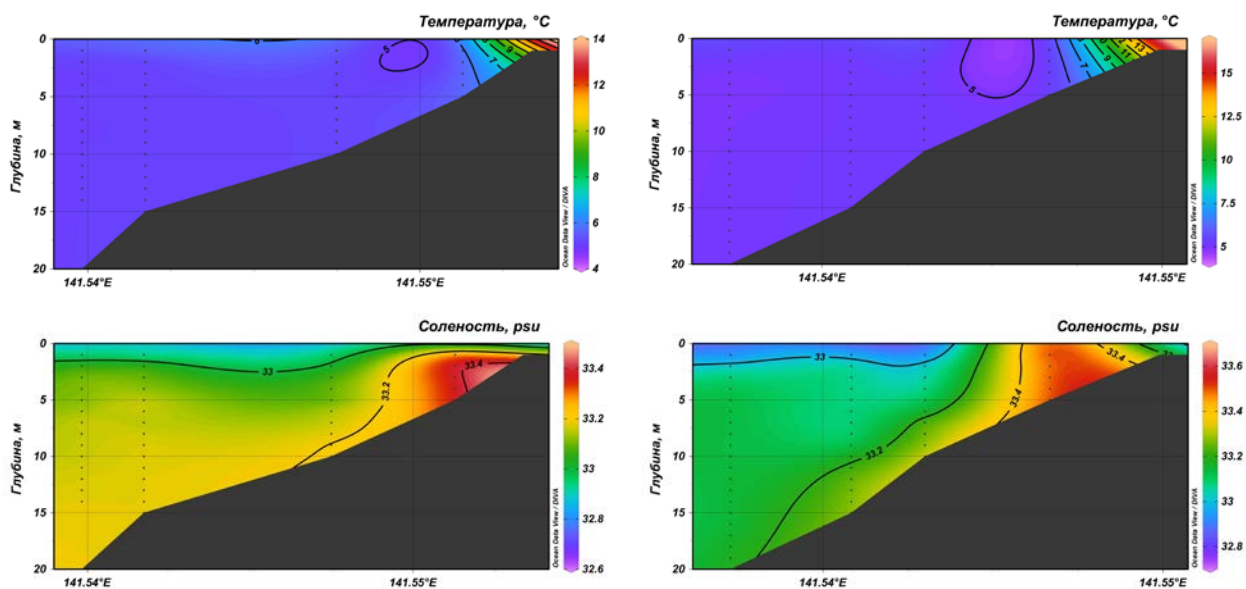


Рисунок 4.15 – Вертикальные распределения температуры (верхние рисунки, °С) и солености (нижние, psu) в районе устья р. Горбуша на разрезах 2 (слева) и 3 (справа), океанологическая съемка в первой декаде июня.

**Во второй декаде июня** и вблизи берега, и на удаленных станциях температура воды была ниже, чем двумя неделями ранее (рисунок 4.16). Так на прибрежных станциях

температура была около 8 °С, на поверхности на других станциях она изменялась от 4,7 до 5,7 °С, на глубине 10 м была около 4 °С, а на 15–20 м около 3 °С. Соленость на больших глубинах была высокой, около 33,9 psu, что указывает на значимое влияние воды Западно-Сахалинского течения. Это согласуется с графиками вариаций температуры, солености и меридиональной составляющей течений: влияние прилива и, соответственно, охотоморской водной массы было слабым, приливное течение только набирало силу после периода слабых (экваториальных) приливов. Сравнительно низкая соленость около 33,2 psu отмечена только на поверхности на нескольких станциях. Две съемки в июне очень наглядно демонстрируют резкую смену охотоморской водной массы (с более низкой соленостью и более высокой температурой) и холодной соленой воды Западно-Сахалинского течения.

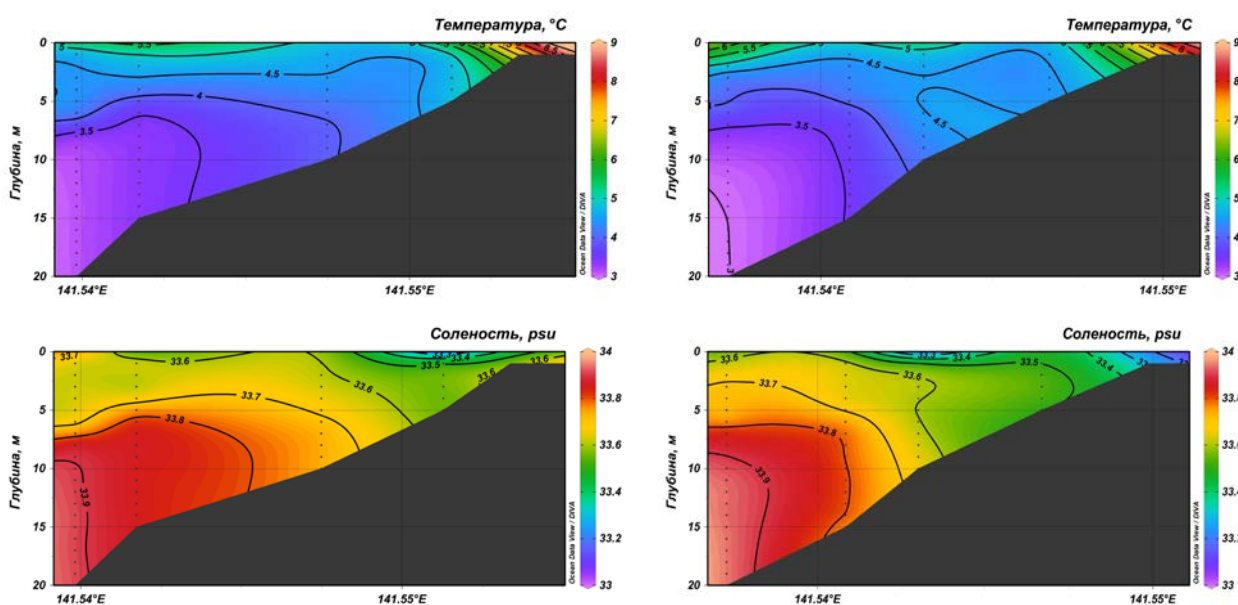


Рисунок 4.16 – Вертикальные распределения температуры (верхние рисунки, °С) и солености (нижние, в psu) в районе устья р. Горбуша на разрезах 2 (слева) и 3 (справа), океанологическая съемка во второй декаде июня.

**В первой декаде июля** (рисунок 4.17) ситуация была близка к наблюдавшейся в начале июня. Значения солености менее 33 psu на всей изучаемой акватории однозначно указывают на то, что она заполнена охотоморской водной массой, хотя, судя по графику (рисунок 4.13), период слабых приливов завершился всего за несколько дней перед съемкой, но к моменту проведения зондирований (04.07.) скорость приливного потока достигла 66 см/с и влияние водной массы с низкой соленостью уже было значительным. В отличие от результатов исследований в первой декаде июня, когда в зоне прибрежного мелководья от берега до изобаты 5 м наблюдалась более соленая вода, в начале июля под

влиянием охотоморской водной массы была вся изучаемая акватория. На этом фоне выделялась вдольбереговая полоса распресненной воды над изобатой 5 м (19,4 psu на разрезе 2 и 27,0 psu на разрезе 3). Возможно, причиной формирования этой полосы были ливневые осадки, имевшие место по данным наблюдений на ГМС Невельск 1–2 июля.

Вертикальные распределения температуры морской воды были практически однородными – если не учитывать значения на поверхности моря, то даже на глубоководных станциях значения параметра изменялись в весьма узких пределах: от 7,4–7,8 °C на горизонте 1 м до 6,7 до 6,9 °C у дна. Более высокие значения – до 10,7 °C, отмечены только на поверхности.

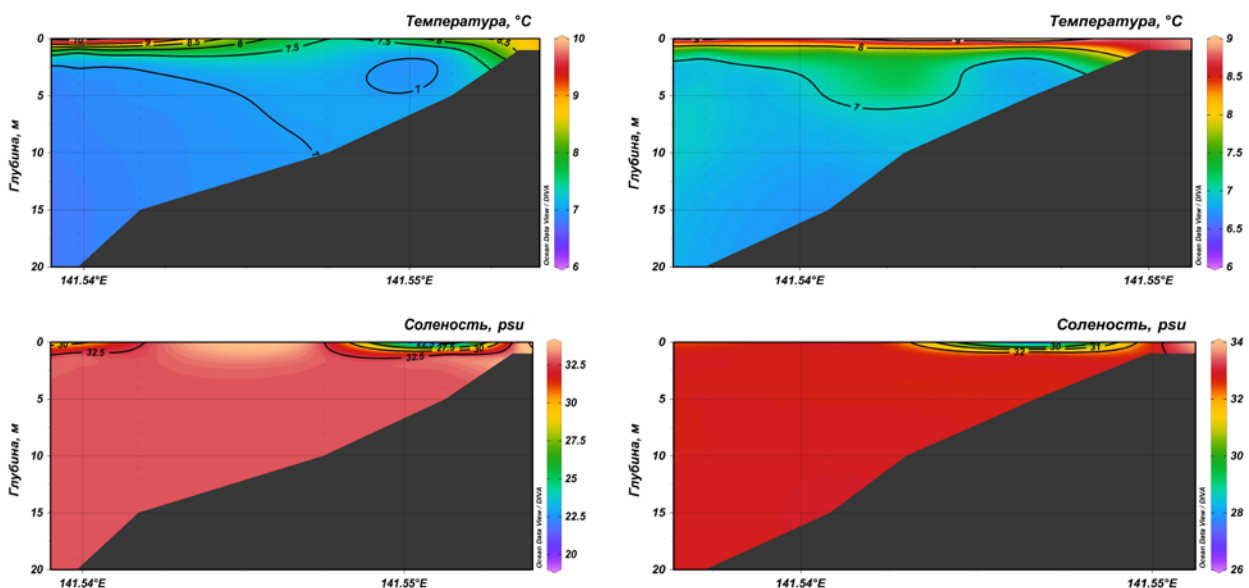


Рисунок 4.17 – Вертикальные распределения температуры (верхние рисунки, °C) и солености (нижние, psu) в районе устья р. Горбуша на разрезах 2 (слева) и 3 (справа), океанологическая съемка в первой декаде июля.

**В третьей декаде августа** (рисунок 4.18) наблюдалась выраженная стратификация вод, обусловленная обычными изменениями температуры морской воды с глубиной. В поверхностном слое толщиной около 5 м отмечены высокие значения параметра, от 15 до 18,5 °C. На глубине более 15 м была более холодная вода (10 – 11 °C).

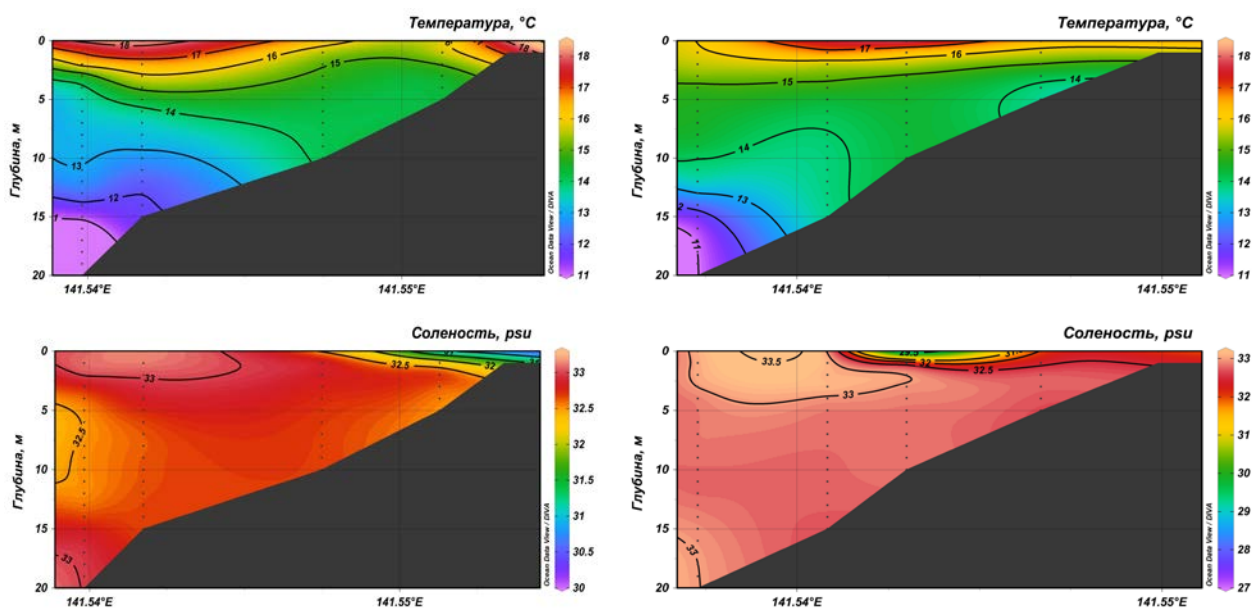


Рисунок 4.18 – Вертикальные распределения температуры (верхние рисунки, в °C) и солености (нижние, в psu) в районе устья р. Горбуша на разрезах 2 (слева) и 3 (справа), океанологическая съемка в третьей декаде августа.

Соленость (рисунок 4.18) была сравнительно низкой, менее 33 psu на всех станциях за исключением поверхностного 3-метрового слоя на самых удаленных станциях разрезов. Эта вода была теплая, 16 – 18 °C, поэтому ее плотность была ниже, чем у воды в нижележащих слоях, несмотря на меньшие значения солености. На изобате 5 м в поверхностном слое, напротив, отмечены самые низкие значения параметра (30,9 psu на разрезе 2). На глубинах более 3 м соленость была более однородной, ее значения изменялись от 32,7 до 32,9 psu. Сравнительно низкие значения солености также указывает на значимое влияние охотоморской водной массы, что, согласно графикам, приведенным на рисунке 3.16, в день проведения съемки (28 августа) оно действительно было существенным.

**В третьей декаде сентября** (рисунок 4.19) распределения температуры и солености имели наиболее сложный характер. На глубинах более 13 м была холодная соленая вода Западно-Сахалинского течения (от 4,3 до 6,5 °C и от 33,5 до 33,8 psu). В более высоких слоях соленость была существенно ниже, а температура выше, что указывает на влияние охотоморской водной массы (9–10 °C и 32,6–32,8 psu в верхнем 5-метровом слое). Существенно выделяется значение 28,6 psu на поверхности моря на крайних станциях разреза 3 (изобата 15 м). Вероятно, это была небольшая линза распресненной воды. Данная съемка демонстрирует сложный характер взаимодействия вод с существенно различными характеристиками.

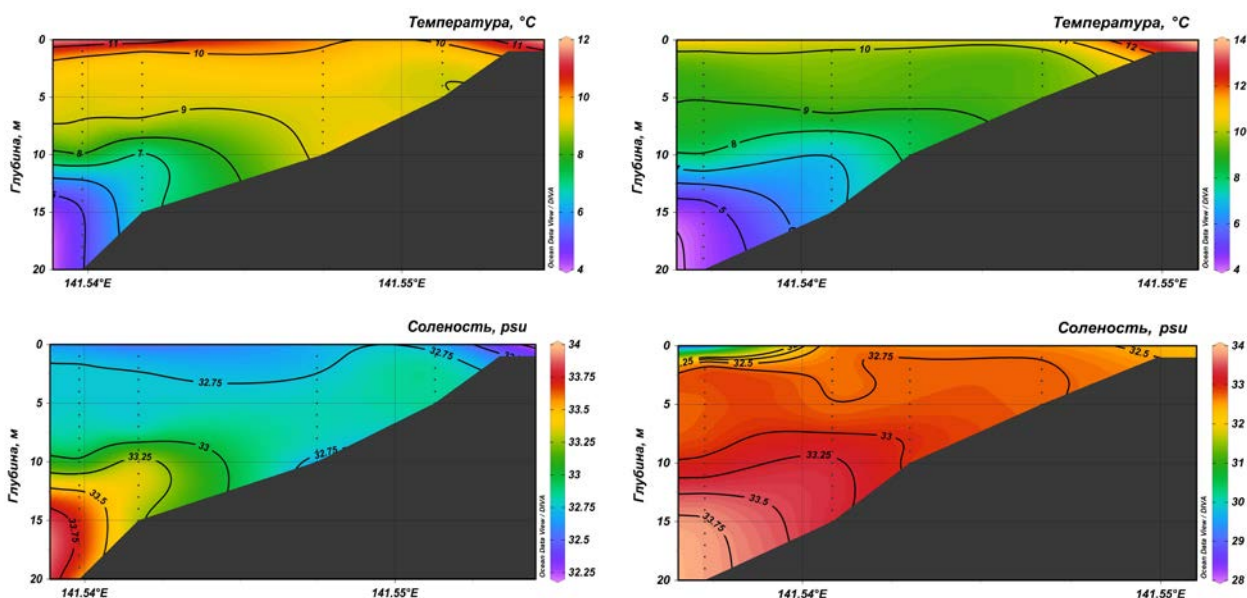


Рисунок 4.19 – Вертикальные распределения температуры (верхние рисунки, в °C) и солености (нижние, в psu) в районе устья р. Горбуша на разрезах 2 (слева) и 3 (справа), океанологическая съемка в третьей декаде сентября.

#### 4.4. Приливной апвеллинг вблизи о. Монерон

В разделе уделяется внимание изучению приливного апвеллинга в районе юго-западного шельфа о. Сахалин. Под этим явлением мы понимаем подъем холодной воды из более глубоких слоев в результате взаимодействия приливной волны с особенностями донного рельефа, с подводным препятствием. Именно так интерпретировал подъем холодной воды в районе скалы Камень Опасности Макаров (1894). Мы рассматриваем приливной апвеллинг как частный случай более широкого понятия «приливное перемешивание», которое, помимо указанного баротропного процесса, включает эффекты, обусловленные генерацией внутренних приливных волн (прежде всего внутренней волны Кельвина), образующихся в результате дифракции баротропных приливных волн.

Для осуществления этой цели были рассмотрены материалы инструментальных измерений скорости течений и температуры воды вблизи свала глубин у юго-западного берега о. Сахалин – к югу от о. Монерон, выполненных с помощью АБС «Монерон», а также результаты комплексных гидрологических и гидрохимических исследований на стандартном океанологическом разрезе Т1 (рисунок 2.1).

Гидрохимические исследования были выполнены в 11 случаях из 26 океанологических съемок на данном разрезе, главным образом в 1996 г. (в 4 экспедициях) и в 1999 г. (в 3). Отбор проб на гидрохимические определения осуществлялся через станцию (точнее, на 4 станциях – 103, 105, 107 и 109) на горизонтах 0, 10, 20, 30, 50, 75,

100, 150, 200, 300, 400 и 500 м. (методика отбора проб воды и процесс выполнения анализа гидрохимических исследований подробно описана в (Пропп, Гаврина, 2019)).

#### 4.4.1. Вариации температуры воды под действием приливных течений

По данным инструментальных измерений, полученным с АБС «Монерон» в 1996 году, были выявлены значительные суточные колебания температуры воды на горизонте 100 метров, изменявшиеся во времени с закономерностью, типичной для суточных приливов (выраженная двухнедельная цикличность), и характеризовавшиеся высокой степенью корреляции с приливными течениями (рисунок 4.20). Величина этих колебаний существенно менялась от близких к нулю значений при экваториальном приливе до 1,8 – 2,1 °С при тропических приливах. Для такой глубины вариации температуры около 2 °С являются весьма значительной величиной, они оказывают существенное влияние на обитающую в районе кромки шельфа морскую биоту, поэтому выявление их физической причины представляет существенный интерес.

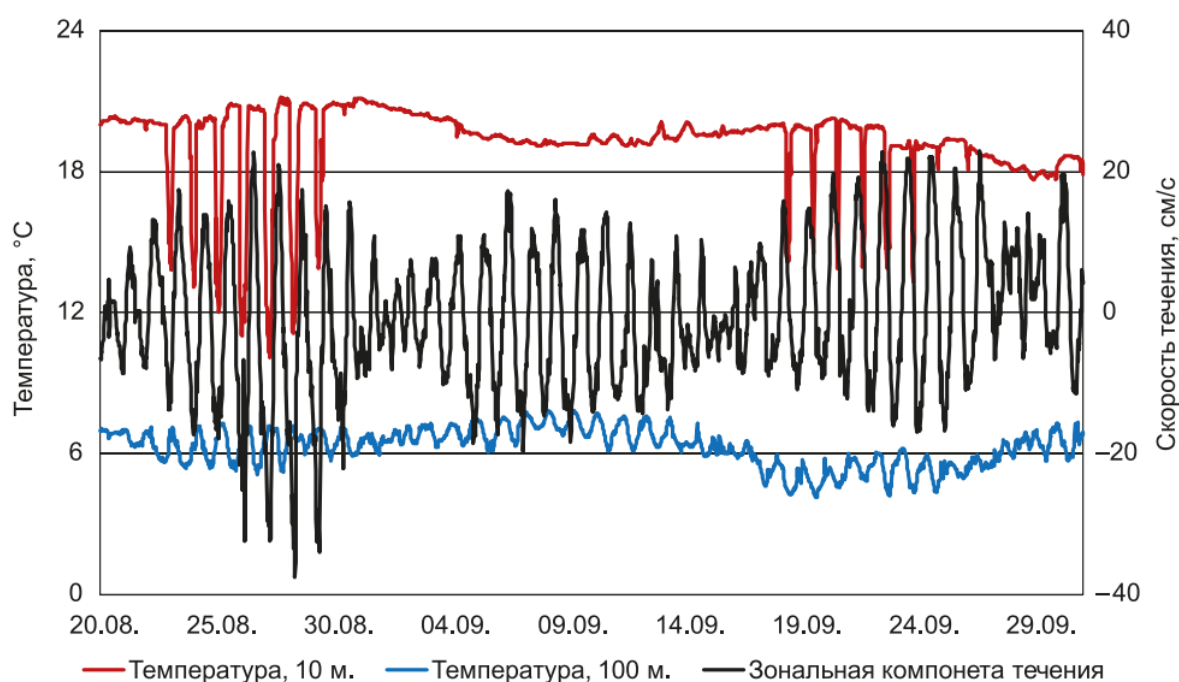


Рисунок 4.20 – Вариации температуры морской воды на глубине 10 и 100 м (красная и синяя линии) и зональной компоненты течения на глубине 100 м (черная линия) по данным наблюдений на АБС «Монерон».

В поверхностном слое не было отмечено подобных вариаций с характерной для приливов изменчивостью величины, только в моменты усиления колебаний температуры воды вблизи дна наблюдались ее резкие понижения на горизонте 10 м, достигавшие 6–

8 °C на протяжении нескольких часов. Наиболее выраженная ситуация с резкими скачками температуры наблюдалась на протяжении 8 суток (с 22 по 29 августа), далее отмечался стабильный суточный ход без резких скачков. С 18 по 23 сентября отмечается очередная серия скачков температуры на горизонте 10 м и усиление вариаций на глубине 100 м. Так, скачок температуры 20 сентября на верхнем измерителе составил около 6,4 °C и 1,4 °C на нижнем. Как видно из графика, вначале происходит понижение температуры воды на горизонте 100 метров, а потом на горизонте 10 метров, когда на нижнем датчике значения параметра уже возрастают (сдвиг по времени между минимумами – около 7–8 часов, в зависимости от скорости течения).

Это дает нам основания говорить о подъеме холодной воды с глубины при взаимодействии приливного потока с резко выраженным континентальным склоном. Поскольку расстояние между приборами составляет около 90 м, соответственно скорость подъема колеблется в пределах 11 – 13 м/час. Еще примерно час нужен, чтобы от измерителя холодная вода поднялась на поверхность моря, но этого может и не произойти, так как уже начинается движение приливного потока в направлении открытого моря. Между горизонтами 100 и 10 м подъем глубинной воды происходит уже без непосредственного взаимодействия с континентальным склоном. Вероятно, в данной ситуации срабатывает такой же механизм формирования вертикального потока над кромкой шельфа, который описан в работе (Hill, Johnson, 1974) для ветрового апвеллинга.

Отметим, что при достаточно сильных течениях 4–11 сентября, лишь немного менее интенсивных, чем рассмотренные выше – 22–29 августа и 18–23 сентября, вследствие месячных (параллактических) неравенств приливов, холодная вода не достигала прибора, расположенного на горизонте 10 м.

Еще раз подчеркнем, что понижения температуры в поверхностном слое отмечаются не так часто, только при сильных течениях (скорость более 20 см/с), ориентированных на восток, в сторону берега (на рисунке приведена только зональная компонента течения, вопрос о точной ориентации приливного потока обсуждается ниже). Это исключает возможное влияние охотоморской водной массы, которая на фазе прилива поступает на юго-западный шельф о. Сахалин из пролива Лаперуза и может достигать разреза T1, хотя и проявляется она преимущественно вблизи берега (Шевченко и др., 2018).

Наиболее вероятной причиной наблюдаемого явления является подъем вод с глубины при взаимодействии приливной волны с резко выраженным континентальным склоном, подобно тому, как это происходит вблизи островов или на подводных возвышенностях (банка Кашеварова, Ямские острова, скала Камень Опасности и т.д.).

Рассмотрим характеристики приливных течений более детально. На рисунке 4.21 представлены эллипсы главных суточных  $O_1$  и  $K_1$  и полусуточных  $M_2$  и  $S_2$  волн, построенные по вычисленным методом наименьших квадратов значениям амплитуд и фаз указанных составляющих (расчет производился для проекций измеренных векторов скорости течения на параллель и на меридиан по отдельности). Суточные течения намного больше полусуточных – большие полуоси их эллипсов составляют около 17 см/с для  $O_1$  и 20 см/с для  $K_1$ , в то время как для  $M_2$  – 2,8 см/с а для  $S_2$  – 1,2 см/с. Такое соотношение весьма необычно, вероятно, оно обусловлено характером приливных течений в проливе Лаперуза (где преобладают суточные составляющие (Шевченко и др., 2005)), которые определяют их особенности на юго-западном шельфе Сахалина и в расположенной на сравнительно небольшом удалении точке проведения измерений в частности.

Эллипсы суточных гармоник имеют умеренную степень сжатия – их малые полуоси составляют около 10 и 11 см/с соответственно, примерно такая же она и для полусуточной волны  $S_2$ , в то время как на частоте  $M_2$  течения реверсивны.

Таким образом, основная ось приливного потока имеет направление, близкое к северо-северо-западному – юго-юго-восточному, что, вероятно, обусловлено ориентацией береговой линии о. Сахалин в районе проведения измерений. Отметим, что континентальный склон к югу от о. Монерон имеет меридиональную вытянутость и даже развернут немного на юго-юго-запад, так что он имеет определенный угол с основной осью приливного потока. Обход вектора в приливном цикле для суточных волн направлен по часовой стрелке, так что приливное течение сначала ориентировано на восток, в сторону берега, и достигает максимальных скоростей, когда оно направлено в сторону пролива Лаперуза.

Особенности приливных течений по результатам инструментальных измерений на станции 106 детально исследовались ранее (Kantakov, Shevchenko, 1999). Было показано, что на горизонте 10 м приливные течения искажались бароклинными эффектами (при этом значимо проявлялись инерционные течения). Для определения характеристик приливного потока в поверхностном слое использовались данные измерений на той же станции на горизонте 15 м, полученные в мае-августе 1997 г. Было показано, что эллипсы суточных течений идентичны полученным в придонном слое, но большие полуоси на горизонте 15 м чуть больше, чем на глубине 100 м (23 см/с у поверхности против 20 см/с вблизи дна для главной суточной волны  $K_1$ ). Эллипсы полусуточных гармоник менее устойчивы, в особенности для волны  $S_2$ , что, вероятно, обусловлено влиянием стратификации.

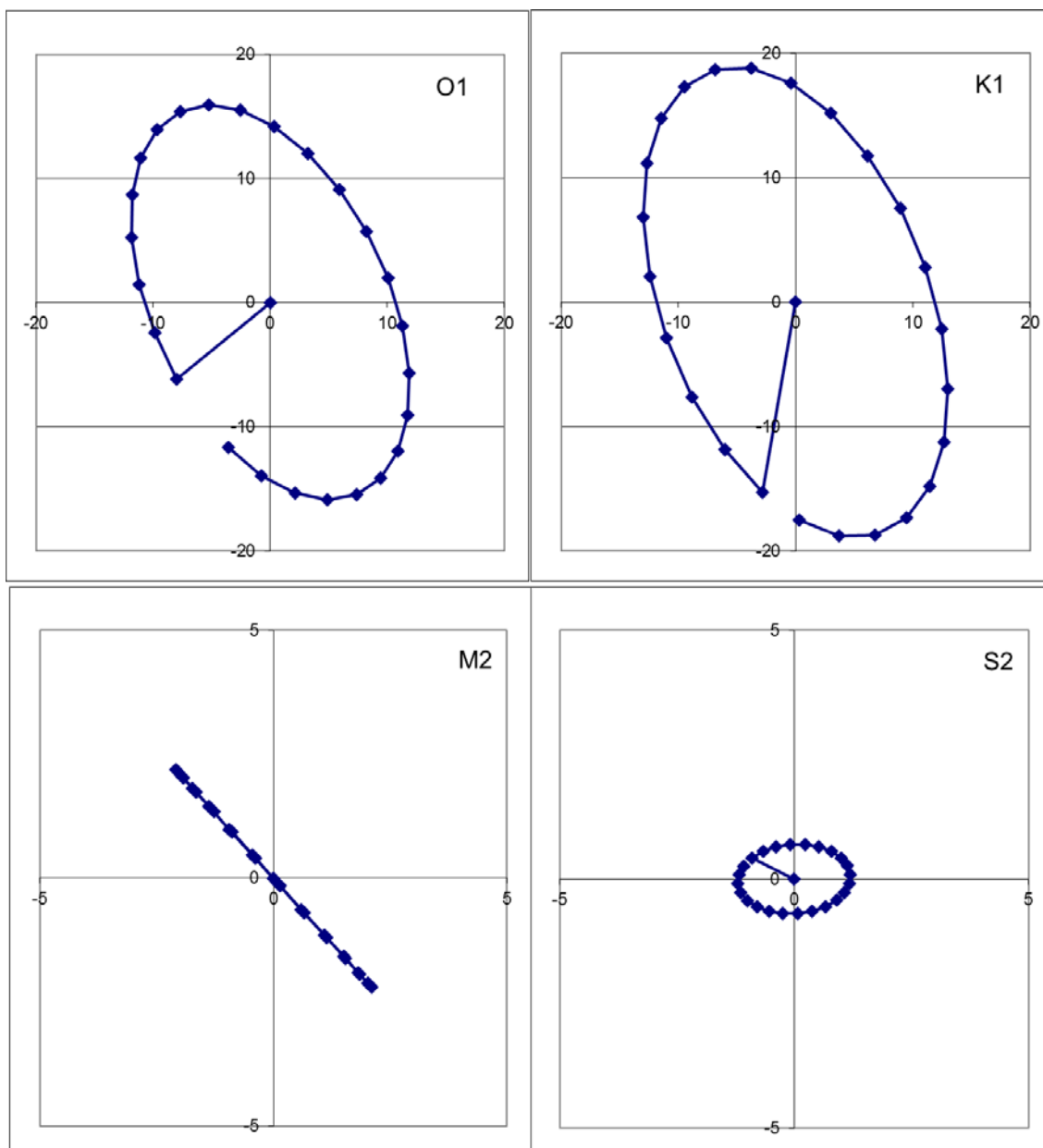


Рисунок 4.21 – Приливные эллипсы главных суточных ( $O_1$  и  $K_1$ ) и полусуточных ( $M_2$  и  $S_2$ ) волн на горизонте 100 м.

Для определения того, при каких направлениях приливного потока наблюдаются понижения, а при каких – повышения температуры морской воды на горизонте 100 м, формировались два ряда величин, в котором одна колонка соответствовала температуре (было вычтено среднее значение), а вторая – направлению приливного течения. Непериодическая компонента течения, обусловленная главным образом влиянием ориентированного на север Цусимского течения и осложняющая понимание происходящих процессов, элиминировалась. По этим рядам рассчитывалась повторяемость значений температуры по грациям величины и 8 румбам направления

течения, как это обычно делается при расчете розы течений, только модуль скорости был заменен другим параметром.

В таблице 4.4 приведен пример расчета по отрезку данных продолжительностью 10 суток (20–29 августа), содержащему интенсивные вариации температуры морской воды. Из таблицы четко видно, что понижения температуры наблюдаются при течениях, ориентированных на юго-юго-восток, а повышения – когда поток направлен на север-северо-запад. Таким образом, когда приливное течение ориентировано в сторону пролива Лаперуза, происходит подъем воды, идущей из глубоководной части Татарского пролива, на юго-западный шельф о. Сахалин, за счет чего и понижается температура морской воды, что зафиксировано измерителем на станции 106. Лишь при очень интенсивном приливном потоке возникающий апвеллинг охватывает всю толщу воды, и понижение температуры наблюдается также и в поверхностном слое. Вероятно, по этой причине данное явление не идентифицируется на картах температуры поверхности океана для данного района.

Таблица 4.4 – Повторяемость (%) значений температуры воды на глубине 100 м по градациям величины и 8 румбам направления приливного течения.

| T, °C | С           | СВ          | В           | ЮВ       | Ю           | ЮЗ          | З           | СЗ          |
|-------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45  | <b>8,75</b> | 0,42        | 0           | 0        | 0           | 0           | 0           | 4,58        |
| 0,35  | 5,83        | 2,5         | 0,42        | 0        | 0           | 0           | 0           | <b>7,08</b> |
| 0,25  | 2,5         | <b>2,92</b> | 2,08        | 0        | 0           | 0           | <b>3,33</b> | 5           |
| 0,15  | 0           | 0,83        | 2,5         | 2,92     | 0           | 2,08        | 2,5         | 0,42        |
| 0,05  | 0           | 0           | 1,25        | 2,92     | 2,5         | <b>5,83</b> | 0,42        | 0           |
| –0,05 | 0           | 0           | <b>2,92</b> | 1,67     | 4,17        | 1,67        | 0           | 0           |
| –0,15 | 0           | 0           | 0,42        | 2,92     | 0           | 2,08        | 0           | 0           |
| –0,25 | 0           | 0           | 0           | <b>5</b> | <b>5,83</b> | 0           | 0           | 0           |
| –0,35 | 0           | 0           | 0           | 2,08     | 1,25        | 0           | 0           | 0           |
| –0,45 | 0           | 0           | 0           | 2,08     | 1,25        | 0           | 0           | 0           |

Как отмечалось выше, зоны интенсивного вертикального приливного апвеллинга представляют значительный интерес в силу их более высокой биологической продуктивности, обусловленной подъемом биогенных веществ в верхний фотический слой с глубины. С целью выявления подобных проявлений, обратимся к материалам комплексных гидролого-гидрохимических съемок.

#### 4.4.2. Материалы судовых съемок

В качестве примера рассмотрим результаты комплексной океанологической и гидрохимической съемки, выполненной на разрезе Т1 15 апреля 1999 года на НИС «Дмитрий Песков». Среди остальных 11 съемок, в которых осуществлялся отбор проб на

гидрохимические определения, эта была выполнена в период сравнительно интенсивных приливных течений, ориентированных в сторону берега. Они пришлись на начало усиления приливной компоненты при переходе от экваториальных приливов к тропическим и имели умеренную величину. Предвычисление приливных течений на основе рассчитанных гармонических постоянных во время измерений на представлявших наибольший интерес станциях 105–107 позволило оценить скорость потока в 15–17 см/с (ориентация на юго-восток). Поэтому наиболее заметных проявлений апвеллинга можно было ожидать именно в этом случае. Результаты анализа материалов океанологических зондирований и гидрохимических исследований в виде вертикальных распределений температуры воды, концентрации хлорофилла «а» и аммонийного азота представлены на рисунке 4.22. Как уже отмечалось выше, отбор проб на гидрохимические определения осуществлялся через станцию, поэтому основное внимание мы уделяли станциям 105 и 107, находящимся перед кромкой шельфа и над свалом глубин, поскольку влияние апвеллинга могло проявиться прежде всего на них.

Почти вертикальный наклон изотерм свидетельствует о подъеме более холодной морской воды (рисунок 4.22А) вблизи материкового склона южнее о. Монерон (гидрологические станции T104-106). И в прибрежной зоне, и в мористой части разреза температуры воды были выше примерно на 2 °С, что для апреля является существенной величиной. Это согласуется с высказанным выше предположением о реализации механизма, описанного Хиллом и Джонсоном (Hill, Johnson, 1974) для ветрового апвеллинга. При этом вертикальная струя над кромкой шельфа формируется, а направленная в сторону берега, в отличие от ситуации с воздействием ветра, – нет.

Зона подъема более холодной воды характеризовалась повышенными значениями концентрации хлорофилла «а», максимум которого был расположен на глубине 30 м на станции T105 (рисунок 4.22Б). Высокое содержание фитопигмента отмечено не непосредственно в области самых низких значений температуры, а высоких ее градиентов, как ближе к берегу, так и дальше от станции T106 в направлении открытого моря, хотя сравнивать непосредственно распределения океанологических и гидрохимических параметров сложно из-за того, что, как отмечалось выше, последние определялись не на всех станциях разреза, в частности, не отбирались пробы на станции T106. Активное цветение микроводорослей по результатам измерений на прибрежной станции T103 могло сформироваться и под воздействием иных факторов (например, терригенного стока), в то время как значения более 10 мкг/дм<sup>3</sup> в районе кромки шельфа при близких к 0 показателях в окружающих водах, с высокой вероятностью связаны с влиянием вертикального перемешивания.

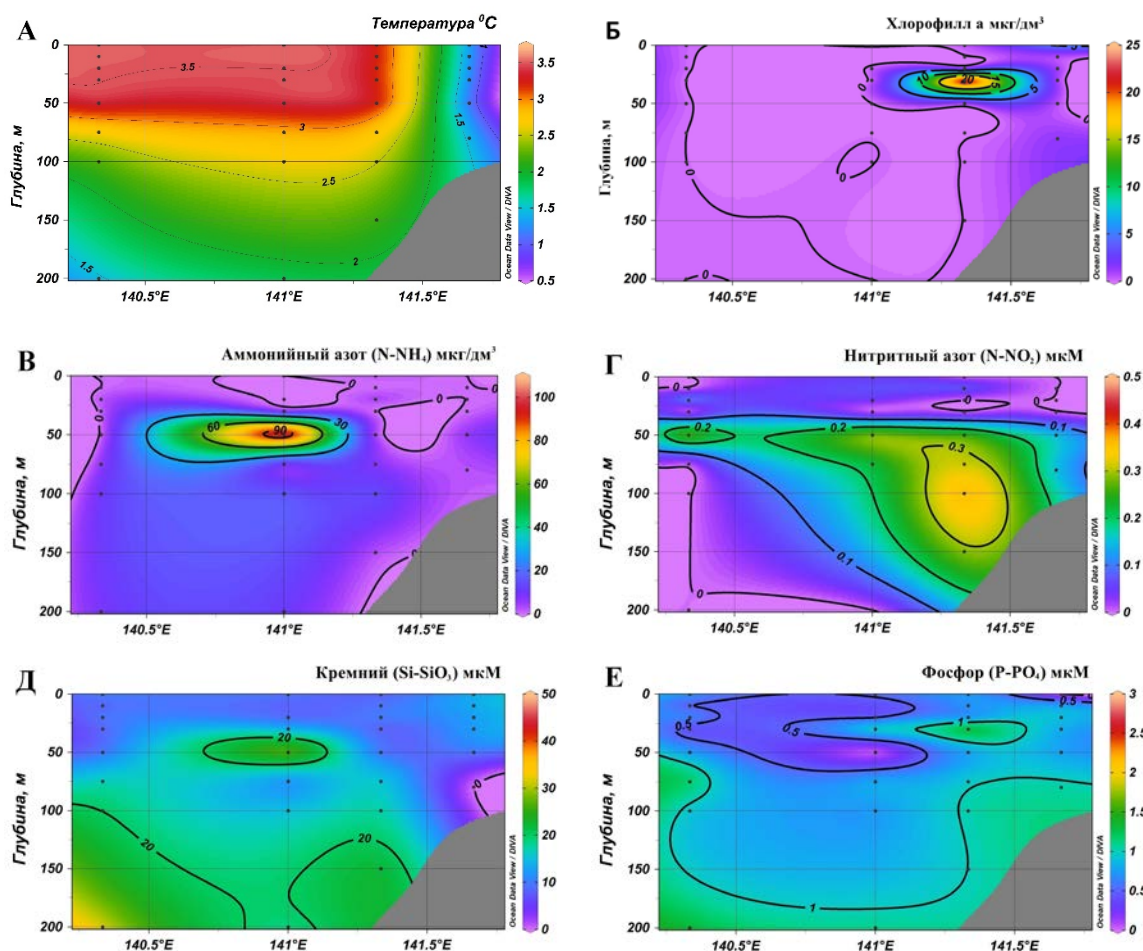


Рисунок 4.22 – Вертикальные распределения температуры (а), массовых концентраций хлорофилла-а (б), аммонийного (в) и нитритного азота (г), кремния (д), фосфора (е) в морской воде на разрезе Т1 по результатам съемки 15 апреля 1999 г.

Мористее этой области, над континентальным склоном расположена зона с очень высокими концентрациями аммонийного азота  $N-NH_4$ , (рисунок 4.22В). Максимальное значение соответствует глубине 50 м и отмечено на станции 107–102  $мг/дм^3$ . Весьма вероятно, что высокие концентрации этого элемента в подповерхностном слое также обусловлены приливным апвеллингом. На этой же станции и той же глубине отмечен менее выраженный максимум в распределении кремния, на станции 105 на горизонтах 50–100 м – минерального фосфора и нитритного азота (рисунок 4.20Г, Д, Е). Вероятно, что именно повышенная концентрация фосфора обеспечила локальную вспышку цветения фитопланктона, которая также была зафиксирована на этой станции. Очевидно, что при умеренных скоростях приливного течения богатая биогенными элементами глубинная вода не могла дойти до поверхности моря, поэтому их повышенные концентрации наблюдались вблизи кромки шельфа и над материковым склоном на глубинах 30 – 100 м.

#### **Выводы по главе 4**

В результате проведенных исследований показано, что при тропических приливах на фазе прилива вне зависимости от сезона уровень в Охотском море выше, чем в Японском более, чем на полметра, обратная картина наблюдается при отливе. Это означает, что в проливе Лаперуза на фоне существующих сезонных потоков, направленных в теплый период года из Японского моря в Охотское и в обратном направлении в холодный сезон, возникают сильные приливные течения, которые оказывают значительное влияние на водообмен между морями (роль данного фактора существенно снижается при экваториальных приливах).

В **теплый период года**, когда уровень в Японском море выше, за счет чего обеспечивается поток теплого течения Соя, заток охотоморской водной массы через северную часть пролива Лаперуза возникает при достаточно сильных приливах (приливное течение ориентировано на запад, в юго-восточную часть Татарского пролива). Это проявляется в более низких значениях температуры и солености в северной части разреза S1, что создает впечатление о наличии постоянного противотечения. Когда приливной поток ориентирован в Охотское море (фаза отлива), в северной части пролива Лаперуза вода более холодная, но с высокой соленостью, что отвечает характеристикам холодного Западно-Сахалинского течения, движущегося вдоль западного побережья п-ова Крильонский в сторону пролива. В Охотском море эта вода распространяется параллельно основной струе течения Соя вдоль северного берега о. Хоккайдо, но на большем удалении от острова. Граница раздела между теплыми и холодными водами весьма устойчива и подтверждается данными спутниковых наблюдений, как по отдельным пролетам ИСЗ, так и при расчетах характерных структур ТПМ за многолетний период. На фазе отлива заметно уменьшение размеров холодного пятна у западного побережья п-ова Крильонский и повышение температуры в нем, что обусловлено перемещением части холодной воды в Охотское море.

По спутниковым данным удалось определить, что на фазе отлива наблюдается заток холодной воды Западно-Сахалинского течения в юго-западную часть залива Анива между п-овом Крильонский и скалой Камень Опасности. Распространение соленой водной массы япономорского происхождения в придонном слое отмечалось ранее (Будаева и др., 2005). Вероятно, холодная и соленая вода Западно-Сахалинского течения опускается в нижние слои водной толщи залива, вода в котором имеет более низкую соленость.

В ходе проведенных исследований в районе устья р. Горбуша в теплый период 2024 г. позволили подтвердить значительное влияние на западное побережье п-ова Крильонский охотоморской водной массы, распространяющейся под влиянием прилива.

Скорость приливного потока в районе измерений может достигать по астрономическим условиям 66 см/с в северном и 45 см/с в южном направлении. Временной сдвиг между колебаниями приливного уровня и течением отсутствует, что указывает на значительные потери приливной энергии на юго-западном шельфе о. Сахалин. Об этом косвенно свидетельствуют и значительные различия в скорости вдольберегового потока. Эти обстоятельства свидетельствуют о значительной сложности приливной динамики в изучаемом районе.

Специфической особенностью данной акватории являются значительные вариации температуры и солености морской воды, обусловленные затоком охотоморской водной массы через пролив Лаперуза во время прилива. В результате проделанной работы установлено, что охотоморская водная масса, вопреки общепринятому мнению, является не только менее соленой, но и более теплой по сравнению с водой Западно-Сахалинского течения, движущейся на юг вдоль юго-западного берега о. Сахалин. Выявлено, что характеристики этого течения практически не меняются в течение его существования.

Помимо суточных вариаций океанологических параметров (приливные течения имеют выраженный суточный характер), наблюдается своеобразное накопление охотоморской водной массы на юго-западном шельфе о. Сахалин. Это связано с тем, что во время отлива не вся эта вода покидает шельфовую зону. Данный эффект проявляется в течение 10–11 суток в рамках двухнедельного цикла при усилении приливных течений. Вместе с тем поступление менее соленой охотоморской водной массы прекращается примерно на 3–4 сутки во время экваториальных приливов. Указанный механизм был впервые обнаружен по данным спутниковых наблюдений (Bobkov et al., 1997), и впоследствии подтвержден инструментальными измерениями.

Суточные вариации океанологических параметров очень велики: они могут превышать 10 °C по температуре и 2 psu. Вариации в рамках двухнедельной цикличности также значительны, их величина достигала 6 °C и 1 psu.

Как показали океанологические исследования на поперечных берегу разрезах, более теплая и менее соленая охотоморская водная масса сначала распространяется в мористой части сначала в поверхностном слое, затем вытесняет воду из более глубоководной области, и только после этого из зоны прибрежного мелководья. Ежедневная смена охотоморской и япономорской водных масс является главной специфической чертой гидрологического режима изучаемой акватории.

В **холодный период года**, когда уровень воды выше в Охотском море, в северной части пролива Лаперуза формируется постоянный поток охотоморской водной массы в юго-восточную часть Татарского пролива, что подтверждается как анализом

вертикальных распределений океанологических параметров на разрезе S1, так и результатами спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря. Отлив умеренной интенсивности не искажает эту картину, только приводит к сужению потока охотоморской водной массы. Спутниковые распределения ТПМ показывают, что эта вода у западного побережья п-ова Крильонский не распространяется севернее м. Лопатина, а это согласуется с более ранними результатами (Шевченко и др., 2018).

В районе свала глубин юго-западного шельфа о. Сахалин и резко выраженного континентального склона к югу от о. Монерон обнаружено явление приливного апвеллинга. Оно формируется при направлении приливного течения, носящего суточный характер, на восток-юго-восток, в сторону пролива Лаперуза, когда в результате его взаимодействия с континентальным склоном наблюдается подъем холодных вод с глубины, вызывающий колебания температуры с амплитудой 0,5–1 °С на горизонте около 100 м. При наиболее сильных течениях подъем этих вод достигал поверхностного слоя, что вызывало понижения температуры воды на 6–8 °С на глубине около 10 м. Область подъема холодных вод характеризовалась также повышенными концентрациями биогенных элементов и хлорофилла «а» на глубинах 30–50 м. Это подтверждает выдвинутое предположение о существовании приливного апвеллинга на континентальном склоне у юго-западного побережья о. Сахалин.

Скорее всего, это явление существует не только в районе разреза T1, но на более протяженном участке резко выраженного свала глубин южнее о. Монерон. Подъем более холодной и богатой биогенами воды на юго-западный шельф о. Сахалин формирует специфические условия обитания морской биоты в данном районе.

Выявленные особенности гидрологического режима в проливе Лаперуза наглядно показали важную роль приливных течений в его формировании, определяющих его специфику. Такая изменчивость распределений температуры и солености на различных фазах прилива затрудняет интерпретацию результатов океанологических съемок и служит причиной противоречивых суждений о характере водообмена через пролив. При анализе материалов океанологических зондирований в данном районе необходимо учитывать влияние приливных течений, которые достигают здесь аномально большой величины (максимум по астрономическим условиям около 3 м/с) и перемещают значительные объемы воды с существенно различными характеристиками.

## **ГЛАВА 5. ВЕТРОВОЙ АПВЕЛЛИНГ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ. ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ АПВЕЛЛИНГА У ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН**

Явление прибрежного апвеллинга представляет значительный интерес в связи с тем, что в результате подъема богатых биогенными веществами глубинных вод существенно возрастает продуктивность в районах, где он наблюдается (Духова, Сапожников, 2014). Ввиду его важности для функционирования экосистем прибрежных акваторий, механизмы формирования ветрового апвеллинга достаточно давно и хорошо изучены (Hill, Johnson, 1974; Heaps, 1980; Janowitz, Pietrafesa, 1980; Архипкин и др., 1987, 1990), обобщение сформировавшихся взглядов на это явление выполнено Боуденом (1988). В последние годы при изучении этого феномена активно используют данные инструментальных измерений и спутниковых наблюдений, а также численное моделирование (Кошелева и др., 2021). Наибольшее значение имеет апвеллинг, формирующийся в результате продолжительного действия сгонных ветров сезонного характера, что типично для районов с муссонным климатом, к которым относится и о. Сахалин. Есть точка зрения, что в таких районах апвеллинг и даунвеллинг постоянно сменяют друг друга и их следует рассматривать как единое явление (Бондаренко и др., 2012).

Например, для о. Сахалин в теплый период года, когда преобладают ветра южного румба (май–сентябрь), благоприятные условия для возникновения апвеллинга наблюдаются у его восточного побережья (Власова и др., 2008; Рутенко и др., 2009; Шевченко, Кириллов, 2017), а у западного он проявляется эпизодически. Осенью (в Японском море гидрологические сезоны смещены на месяц по сравнению с календарными и к осени относится период октябрь–декабрь (Гидрология..., 2003)), когда устанавливаются сильные и устойчивые ветра северо-западного и северного румбов, у восточного побережья Сахалина наблюдается заглубливание поверхностной воды (даунвеллинг), а у западного берега формируется апвеллинг, что выявлено на примере северной части Татарского пролива (Шевченко и др., 2011). Характер проявления апвеллинга у юго-западного побережья до настоящего времени не изучен, этот вопрос рассматривается в данной работе.

В данной главе рассмотрены особенности сезонного проявления ветрового апвеллинга у юго-западного побережья о. Сахалин и в северной части Татарского пролива. Для этого решались следующие задачи:

1. На материалах отдельных океанологических съемок и средних многолетних распределений температуры и солености морской воды на стандартном разрезе

м. Корсакова – м. Сюркум (рисунок 5.1), а также средние многолетние распределения температуры поверхности моря (ТПМ) в Татарском проливе для различных месяцев по данным спутниковых наблюдений, изучить проявление сезонного апвеллинга у северо-западного побережья о. Сахалин.

2. По данным океанологических зондирований и гидрохимических определений на стандартных разрезах п. Перепутье – о. Монерон, T1 и T2 (рисунок 2.1) рассмотреть специфические особенности формирования сезонного (осеннего) ветрового апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина.

3. По результатам инструментальных измерений температуры морской воды и уровня моря на прибрежных полигонах (рисунок 2.1), определить условия кратковременных понижений температуры морской воды в теплый период года.

### **5.1. Сезонная смена направления ветра на западном побережье о. Сахалин**

Важную роль в вариациях гидрологических условий прибрежных акваторий играет воздействие ветра. В особенности это относится к районам с муссонным характером климата, в которых смена направления преобладающих ветров обычно приводит к значительным сезонным изменениям гидрологического режима. Характерным примером в этом отношении является северо-восточный шельф о. Сахалин, где летний муссон с характерными ветрами южного и юго-восточного румбов, оставляющих берег слева, способствует формированию прибрежного апвеллинга и гидрологического фронта в районе зал. Чайво, препятствующего движению распресненной модифицированной воды стока р. Амур на юг (Власова и др., 2008; Рутенко, Соснин, 2009; Жабин, Дмитриева, 2014; Шевченко, Частиков, 2019). Осенью ветра северного и северо-западного румбов обуславливают заглубление распресненной воды и активизацию ее движения на юг, деградацию холодного промежуточного слоя у кромки шельфа и ряд других важных эффектов (Власова и др., 2008; Шевченко, Частиков, 2019). Аналогичные вариации гидрологических условий можно ожидать и у юго-западного побережья о. Сахалин. Существенное, хотя и более кратковременное влияние на океанографические условия может оказывать и прохождение над прибрежными областями глубоких циклонов, сопровождающихся сильными, меняющимися по направлению ветрами, и штормовым волнением.

В данном разделе приведены сведения о сезонной изменчивости скорости и направления ветра по данным реанализа ERA5, выбранные в двух точках вблизи юго-западного берега о. Сахалин, а также по материалам наблюдений на береговой метеорологической станции Невельск.

Ранее исследовались вариации средних многолетних векторов скорости ветра для различных месяцев года (Като и др., 2001), однако станции, расположенные на юго-западном побережье о. Сахалин, не были использованы. Чтобы восполнить этот пробел, с сайта общего доступа [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru) были скачаны данные наблюдений на метеорологической станции Невельск за 2010–2024 гг. Наблюдения за скоростью ветра на этой станции не вполне репрезентативны, так как в 1980-е годы она была перенесена с вершины горы на ее склон, что сказалось как на показаниях направления ветра (орография играла более существенную, чем ранее, роль), так и скорости ветра в плане некоторого уменьшения. Однако эта станция является ключевой для изучения влияния ветра на вариации гидрологических условий у юго-западного берега о. Сахалин, а орография таким же образом влияет на воздействие ветра на прибрежные акватории, как и на измеритель метеостанции.

Данные наблюдений за 15-летний период (использовались скорость и направление ветра 10-минутного осреднения в стандартные метеорологические сроки) были усреднены для каждого месяца отдельно. Результаты расчетов приведены в таблице 5.1. (в виде проекций скорости ветра на параллель и на меридиан, в направлении вектора «куда»).

Таблица 5.1 – Проекция средних многолетних векторов (2010–2024) скорости ветра на станции Невельск на параллель (Е, м/с) и меридиан (N, м/с) для различных месяцев года.

| Месяц    | Е    | N    |
|----------|------|------|
| Январь   | 0,1  | –2,0 |
| Февраль  | 0,1  | –1,4 |
| Март     | 0,2  | –0,3 |
| Апрель   | 0,1  | 0,8  |
| Май      | –0,2 | 1,1  |
| Июнь     | 0,0  | 1,0  |
| Июль     | –0,1 | 0,9  |
| Август   | –0,2 | 0,8  |
| Сентябрь | –0,1 | 0,8  |
| Октябрь  | 0,2  | 0,2  |
| Ноябрь   | 0,7  | –0,9 |
| Декабрь  | 0,9  | –1,7 |

Полученные результаты показывают, что перестройка от зимнего муссона к летнему происходит на юго-западном Сахалине в марте, и обратная в октябре. Теплый сезон (апрель–сентябрь) характеризуется устойчивыми южными ветрами со средней скоростью около 1 м/с, зональная компонента ветра не выражена, что, вероятно, обусловлено влиянием орографии.

Осенью (к этому периоду отнесем ноябрь и декабрь), в отличие от других месяцев года, зональная компонента существенна. Так, в ноябре наблюдается северо-западный ветер со средней скоростью около 1 м/с, а в декабре он несколько разворачивается по часовой стрелке и становится север-северо-западным, а средняя скорость возрастает до 2 м/с. В январе и в феврале доминирует северный ветер, его скорость в начале года 2 м/с, а затем снижается до 1,4 м/с.

Таким образом, как и для большинства других прибрежных метеорологических станций, анализировавшихся ранее в работе Като с соавторами (2001), для Невельска характерен выраженный годовой ход с почти циклическим характером вариаций, причем в зимний период над юго-западным Сахалином господствуют достаточно умеренные (около 2 м/с) северные и северо-западные ветра. В летний период преобладают ветра южного румба, их характерные скорости составляют 1 м/с.

Как уже отмечалось выше, использование данных береговых метеорологических станций, и ГМС Невельск в особенности, связано с определенными трудностями вследствие значительного влияния орографии. Поэтому было решено привлечь дополнительно данные реанализа ERA5, которые упоминались выше.

Для анализа выбирались данные за 1998–2023 гг. в двух точках: одна в северной, другая в южной части изучаемого район. Первая имела координаты 46.67° с. ш. и 141.69° в. д. (примерно посередине между городами Холмск и Невельск), вторая 45.92° с. ш. и 141.94° в. д. на траверзе м. Кузнецова. Проекции векторов скорости ветра усреднялись для каждого месяца отдельно, результаты расчетов приведены в таблице 5.2.

В целом характер сезонных вариаций по данным реанализа и береговой метеорологической станции сходен, но имеются также и существенные различия. Прежде всего, они касаются величины скорости ветра, она по данным реанализа превышает более чем в 2 раза значения, полученные по инструментальным измерениям. Максимальные ее величины отмечены в северной точке в декабре и январе, они составили 5,4 м/с, однако в первом случае это ветра северо-западного, а во втором северного румба. В ноябре (что важно для обсуждаемого ниже вопроса о ветровом апвеллинге) среднее значение скорости 4,7 м/с, при этом зональная компонента несколько больше меридиональной.

Переходные месяцы также смещены на апрель и сентябрь, что лучше согласуется с данными литературы (Като и др., 2001). В теплый период года зональная компонента также существенна, преобладают ветра юго-восточного румба. Максимальные значения скорости (около 2,5 м/с) отмечены на обеих точках в июле. Очевидно, данные реанализа дают более адекватную оценку скорости и направления ветра по сравнению с инструментальными измерениями на берегу.

Таблица 5.2 – Проекции средних многолетних векторов (1998–2023) скорости ветра по данным реанализа ERA5 на параллель (E, м/с) и на меридиан (N, м/с) для различных месяцев года.

| Месяц    | Точка 1                           |      | Точка 2                           |      |
|----------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|
|          | $\varphi=46.7$<br>$\lambda=141.7$ |      | $\varphi=45.9$<br>$\lambda=141.9$ |      |
|          | E                                 | N    | E                                 | N    |
| Январь   | 1,4                               | –5,2 | 1,8                               | –3,9 |
| Февраль  | 1,7                               | –3,7 | 1,8                               | –2,5 |
| Март     | 1,7                               | –1,3 | 1,9                               | –0,7 |
| Апрель   | 1,0                               | 1,1  | 1,5                               | 1,1  |
| Май      | –0,5                              | 2,1  | –0,2                              | 1,7  |
| Июнь     | –0,9                              | 2,0  | –1,3                              | 1,3  |
| Июль     | –1,3                              | 2,2  | –2,0                              | 1,4  |
| Август   | –0,8                              | 1,9  | –1,2                              | 1,4  |
| Сентябрь | 1,1                               | 1,1  | 0,9                               | 0,9  |
| Октябрь  | 3,0                               | –0,1 | 3,2                               | 0,1  |
| Ноябрь   | 4,1                               | –2,3 | 4,3                               | –1,5 |
| Декабрь  | 3,4                               | –4,2 | 4,0                               | –3,0 |

По данным реанализа также определяется выраженное циклическое изменение ветровых потоков над изучаемым районом. Подобная смена направлений воздушных потоков, как отмечалось выше, может оказывать существенное влияние на формирование гидрологических условий в прибрежных акваториях, прежде всего на характер их сезонной изменчивости.

## 5.2. Сезонный ветровой апвеллинг в северной части Татарского пролива

Основная цель данного раздела – рассмотреть условия формирования сезонного апвеллинга у северо-западного побережья о. Сахалин под действием характерных для осеннего-зимнего периода ветров северо-западного и северного румбов. Акватория северной части Татарского пролива выходит за рамки темы диссертационной работы, однако данный анализ представляется важным для дальнейшего сравнения с аналогичным явлением на юго-западном шельфе острова, для более рельефного выделения особенностей. Вопрос о возникновении апвеллинга в этом районе осенью рассматривался ранее по данным океанологических съемок на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум (Шевченко и др., 2011), ниже рассмотрим его более детально, с привлечением дополнительных материалов наблюдений.

Материалами для изучения проявления сезонного ветрового апвеллинга в северной части Татарского пролива послужили материалы судовых океанологических съемок, выполненных «СахНИРО» в 1995-2010 гг. и средние многолетние распределения температуры и солености (Пищальник, Бобков, 2000) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум (рисунок 5.1). Эта информация хранится в базе данных филиала NiroPro и анализировалась ранее в работе (Шевченко и др., 2011). Кроме этого, использовались усредненные помесечно данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря в Татарском проливе (1998–2021) (Шевченко, Ложкин, 2023). Пространственное разрешение данных составляло четверть градуса.

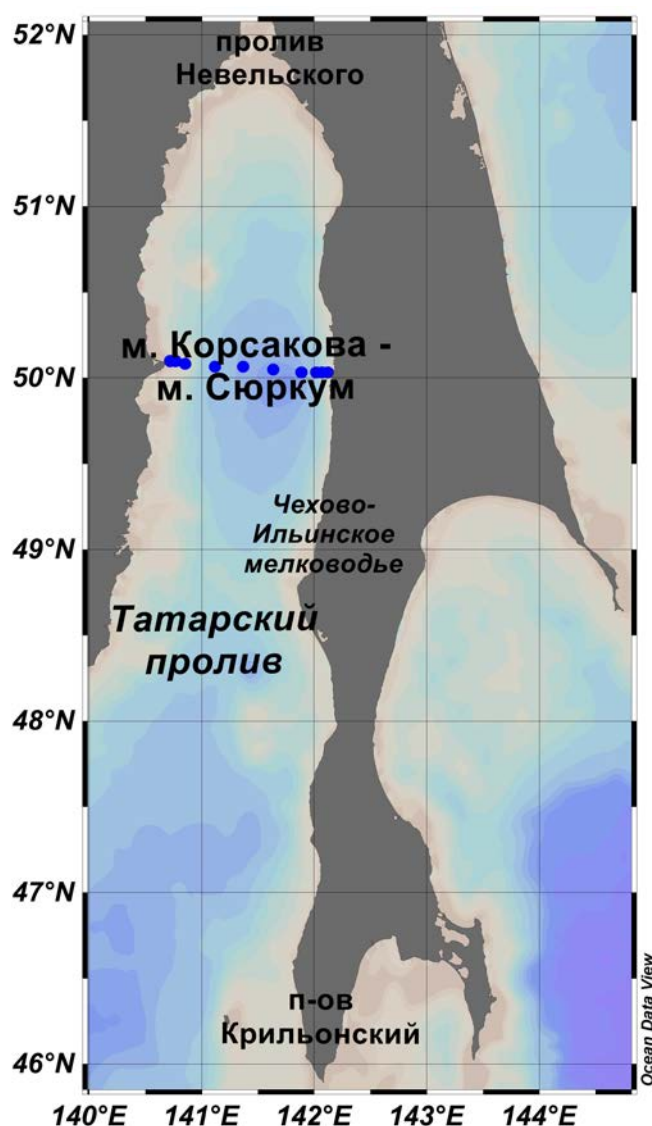


Рисунок 5.1 – Положение стандартного океанологического разреза м. Корсакова – м. Сюркум (КС).

Для о. Сахалин в теплый период года, под воздействием летнего муссона и преобладанием ветров южных румбов, благоприятные условия для возникновения ветрового апвеллинга наблюдаются у его восточного побережья, а у западного он проявляется эпизодически под воздействием определенных процессов (раздел 5.3). В холодный период года, в результате воздействия зимнего муссона (ветра северного и северо-западного румбов) в северной части Татарского пролива формируется апвеллинг (Шевченко и др., 2011). Одним из главных факторов, влияющих на сезонную изменчивость гидрологических условий в мелководной северной части Татарского пролива, являются вариации скорости и направления воздушных потоков.

Так, в теплый период года преобладают ветры южных румбов с характерной скоростью 1–2 м/с. Они способствуют смещению теплой поверхностной воды к западному берегу о. Сахалин, некоторому ее заглублению и дальнейшему движению в северном направлении. В октябре происходит перестройка поля ветра от летнего муссона к зимнему с более сильными северо-западными и северными ветрами. Спецификой данного района является наличие высоких гор по обоим берегам пролива, поэтому воздушные потоки под влиянием орографии принимают вдольбереговое направление. В частности, вдоль берега Сахалина летом преобладают южные, а зимой – северные ветры. Осенью доминируют ветры северо-западного румба, так как наличие гор на них не оказывает влияния.

На рисунке 5.2 представлены средние многолетние распределения ТПМ в Татарском проливе в теплый период года во время максимального прогрева и преобладания южных ветров (август) и осенью (ноябрь), в период действия характерных для зимнего муссона ветров северного и северо-западного румбов (Като и др., 2001). Летом у западного побережья Сахалина вода более теплая, чем вблизи материка на всем протяжении от п-ова Крильонский на юге до пролива Невельского на севере. Помимо общего характера распространения теплого Цусимского течения вдоль свала глубин у берега острова, этому способствует и воздействие ветрового потока, оставляющего берег справа. При этом, благодаря вращению Земли, возникает нагонный эффект, способствующий заглублению теплой поверхностной воды у берега (Боуден, 1998) и формированию прибрежного потока, направленного на север. Существенные различия в термических условиях в восточной и западной частях пролива подтверждаются и данными судовых океанологических съемок на стандартных разрезах (Пищальник и др., 2003; Шевченко и др., 2011, 2018).

Осенью характер распределения ТПМ в Татарском проливе кардинально изменяется. В северной части под воздействием ветров северного и северо-западного румбов широкая полоса холодной воды тянется от пролива Невельского до Чехово-

Ильинского мелководья, а теплая вода оттеснена от берега острова на запад, в сторону материка.

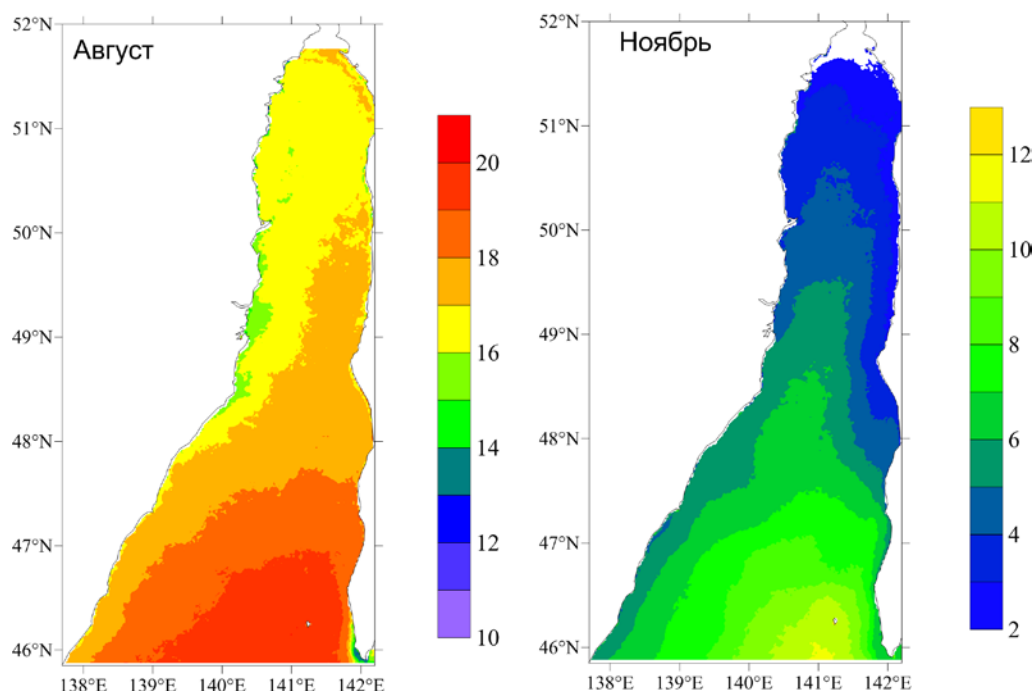


Рисунок 5.2 – Пространственное распределение усредненных за 1998–2021 гг. полей ТПМ (°C) летом (август) и осенью (ноябрь) (из работы (Шевченко, Ложкин, 2023)).

Можно говорить о том, что эта область является выраженной зоной проявления сезонного ветрового апвеллинга. Южнее параллели 48° с. ш. эта полоса существенно сужается, температура воды в прибрежье не такая низкая. Это указывает на то, что это явление здесь также существует, но выражено существенно слабее, чем в северной части пролива.

Как отмечено выше, различия в термических условиях в восточной и западной частях Татарского пролива подтверждаются данными судовых океанологических съемок. Рассмотрим результаты исследований, выполненных на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.

**Вертикальное распределение океанологических параметров на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.** Всего в период с 1989 по 2010 г. на разрезе м. Корсакова – м. Сюркум было выполнено 16 океанологических съемок, основная часть относилась к весеннему сезону. В холодный период года (вторая половина ноября-первая половина апреля) в связи со сложной ледовой ситуацией судовые съемки не проводились.

**Весна.** В качестве весенних месяцев рассматривается не только май, но и июнь (напомним, в Японском море гидрологические сезоны смещены на месяц по сравнению с

календарными, сентябрь относится к летнему сезону) (Гидрология..., 2003). Весной наблюдаются значительные различия в прогреве поверхностного слоя в восточной и западной частях разреза м. Корсакова – м. Сюркум (рисунки 5.3, 5.4). Вблизи берега Сахалина температура в мае составляет 2–4 °С, в июне 7–8 °С, в то время как у материкового побережья около 1–1,5 °С в мае и 3–4 °С в июне. Толщина прогретого слоя также распределена неравномерно – например, в июне глубина изотермы 4 °С изменяется от 10 до 25 м с запада на восток. Нижняя граница верхнего квазиоднородного слоя имеет аналогичный, но менее выраженный уклон. Эти различия обусловлены действием летнего муссона с характерными для него ветрами южного и близкого к нему румбов. В этом случае берег Сахалина остается справа от направления воздушного потока, вращение подворачивает его и возникают условия для смещения теплой поверхностной воды к нему и некоторому ее заглублению. На данном разрезе весной также хорошо выражен характерный для субарктических морей холодный промежуточный слой (ХПС).

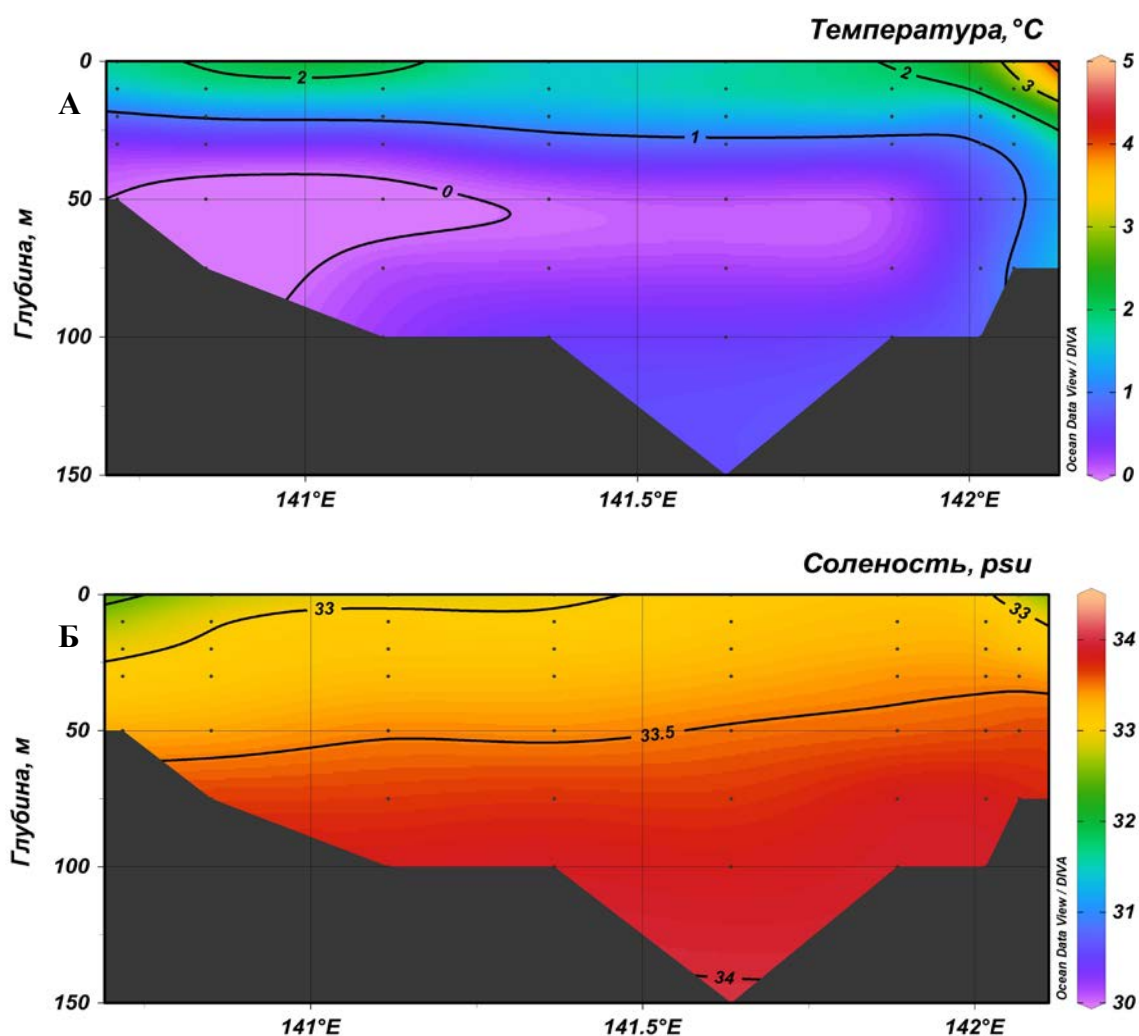


Рисунок 5.3 – Вертикальные распределения температуры (°С, А) и солёности морской воды (psu, Б) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум в мае.

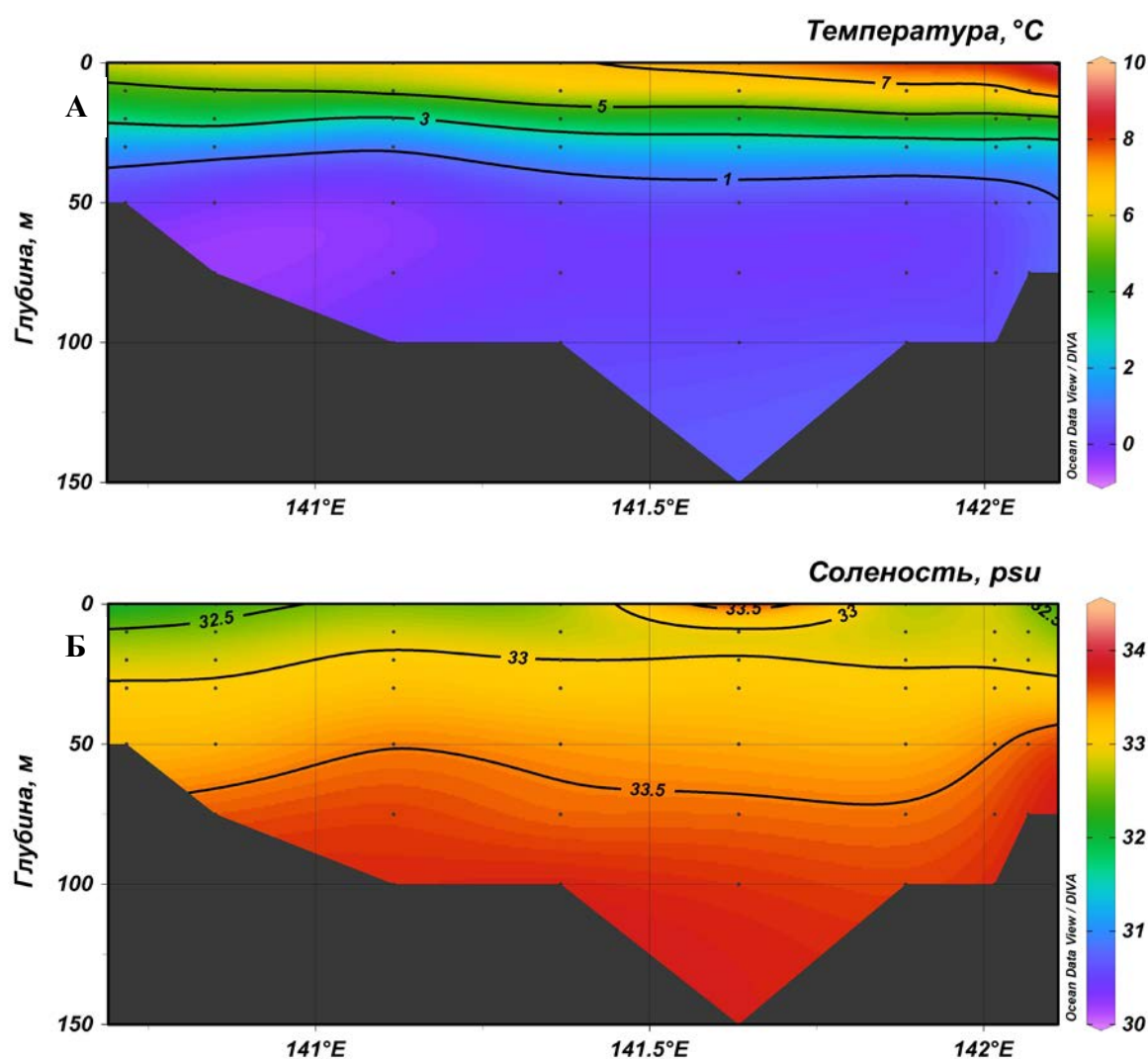


Рисунок 5.4 – Вертикальные распределения температуры ( $^{\circ}\text{C}$ , А) и солёности морской воды (psu, Б) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум в июне.

**Лето.** На разрезе м. Корсакова – м. Сюркум летом (июль–сентябрь) пространственное различие между двумя побережьями несколько выравнивается по сравнению с весной. В верхнем слое оно более значимо: у берегов Сахалина максимальные значения температуры на поверхности в июле составляют  $13\text{--}14^{\circ}\text{C}$ , а в августе  $16\text{--}17^{\circ}\text{C}$ , а со стороны Приморья  $11\text{--}12^{\circ}\text{C}$  (в августе  $14\text{--}15^{\circ}\text{C}$ ). Более существенные градиенты характерны для глубин более 40 м. В частности, в западной части разреза сохраняет свое влияние ХПС, хотя и значительно ослабленный по сравнению с весенним сезоном. У берега о. Сахалин под действием ветров южного румба четко видно распространение теплой воды. В сентябре в поверхностном слое изотермы практически полностью выравниваются, и характерное различие между температурой воды у берегов Сахалина и Приморья исчезает. Это относится ко всему верхнему 50-метровому слою, и только на более значительных глубинах оно сохраняется (рисунок 5.5).

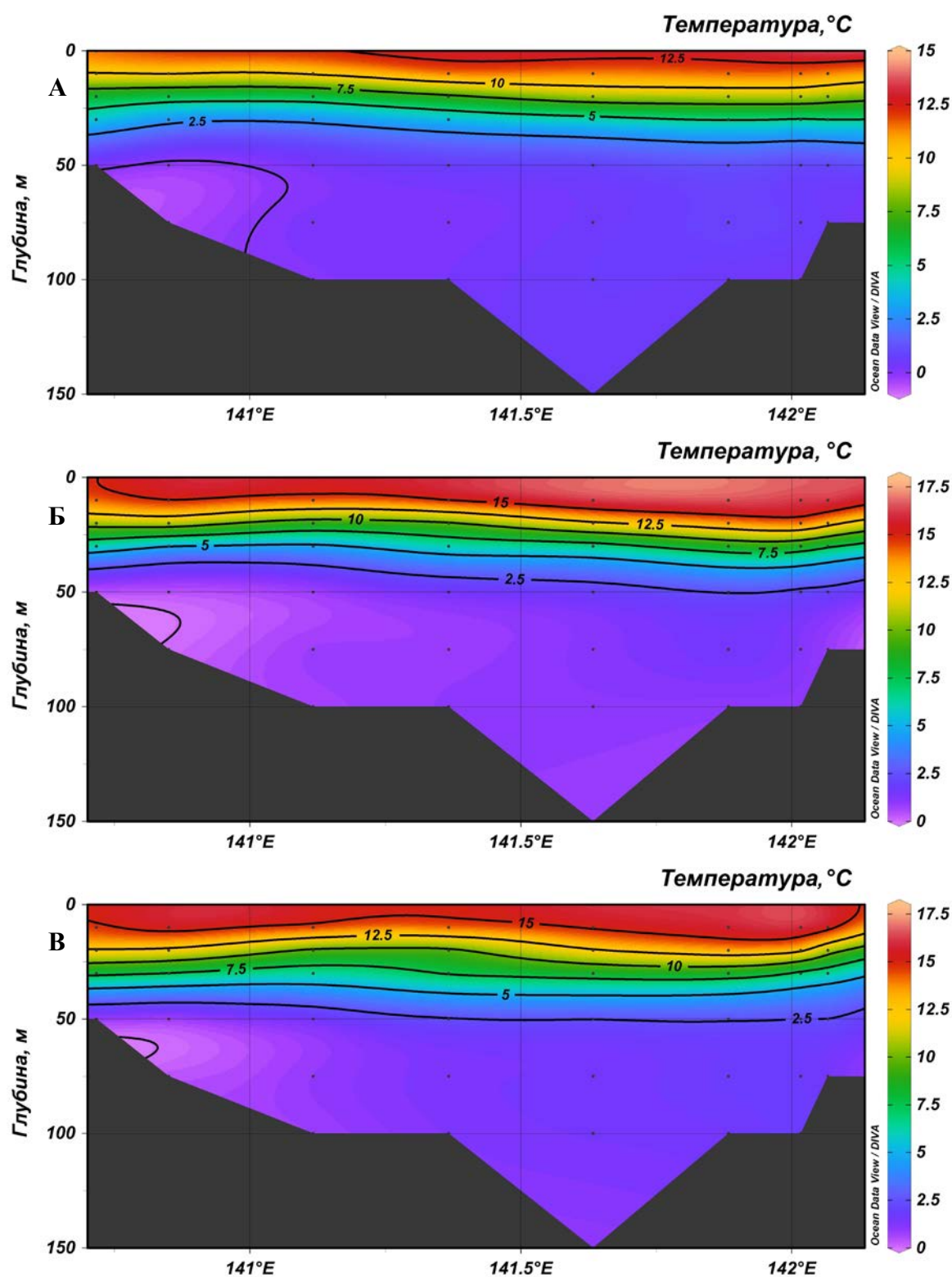


Рисунок 5.5 – Вертикальные распределения температуры морской воды (°C) в июле (А), августе (Б) и сентябре (В) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.

Распределения солёности на разрезе м. Корсакова – м. Сюркум для различных месяцев летнего сезона имеют в целом идентичный характер. В июле изогалины 33 и 33,5 psu ориентированы почти горизонтально и залегают на глубинах около 25 м и 65–

70 м соответственно. Воды с относительно низкой соленостью (менее 32,5 psu) отмечены в западной (материковой) части разреза в верхнем слое 0–10 м на прибрежных станциях. Еще одна, более узкая область с аналогичными значениями выделяется в восточной части, но не вблизи берега, а на удалении от него порядка 30 км. В августе наиболее существенные изменения в вертикальном распределении солености происходят в более глубоких слоях.

Так, изогалина 33,5 psu залегает существенно выше, примерно на глубинах 45–50 м, и имеет характерный наклон вверх в сторону берега Сахалина, существенно усиливаясь у кромки шельфа острова на глубине более 50 м. Эти изменения указывают на увеличения влияния соленых вод, транспортируемых с юга Цусимским течением. Изогалины 32,5–33 psu у берега Приморья несколько заглублены, что свидетельствует о некотором увеличении влияния вод низкой солености, связанных со стоком реки Амур. В сентябре наклоны изогалин 33–33,5 psu увеличиваются, у берегов Сахалина изогалина 33 psu едва не достигает поверхности моря. В западной части разреза область вод с низкими значениями солености практически не изменяется (рисунок 5.6).

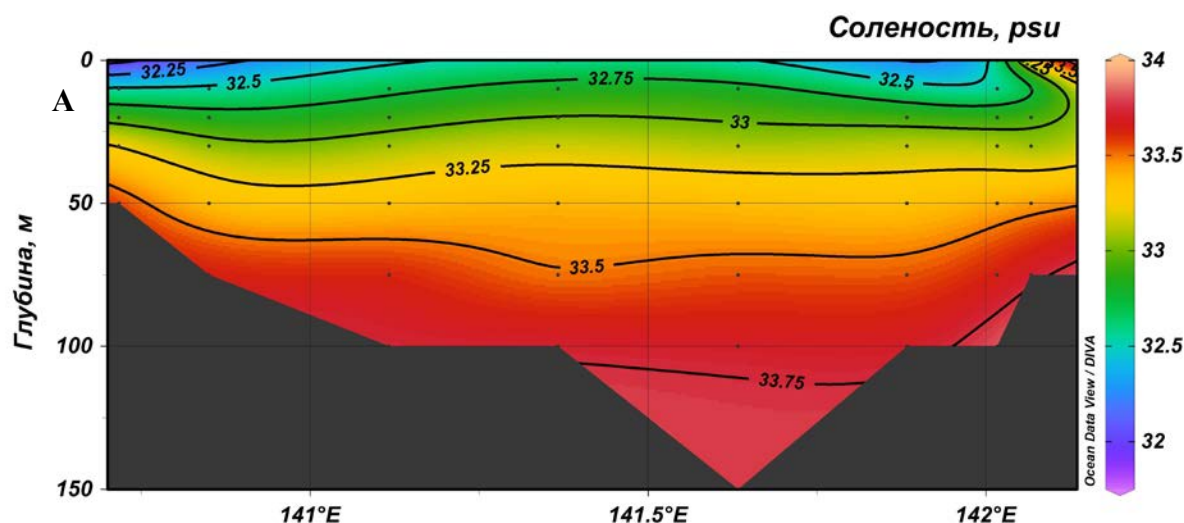


Рисунок 5.6 – Вертикальные распределения солености (psu) морской воды в июле (А), августе (Б) и сентябре (В) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.

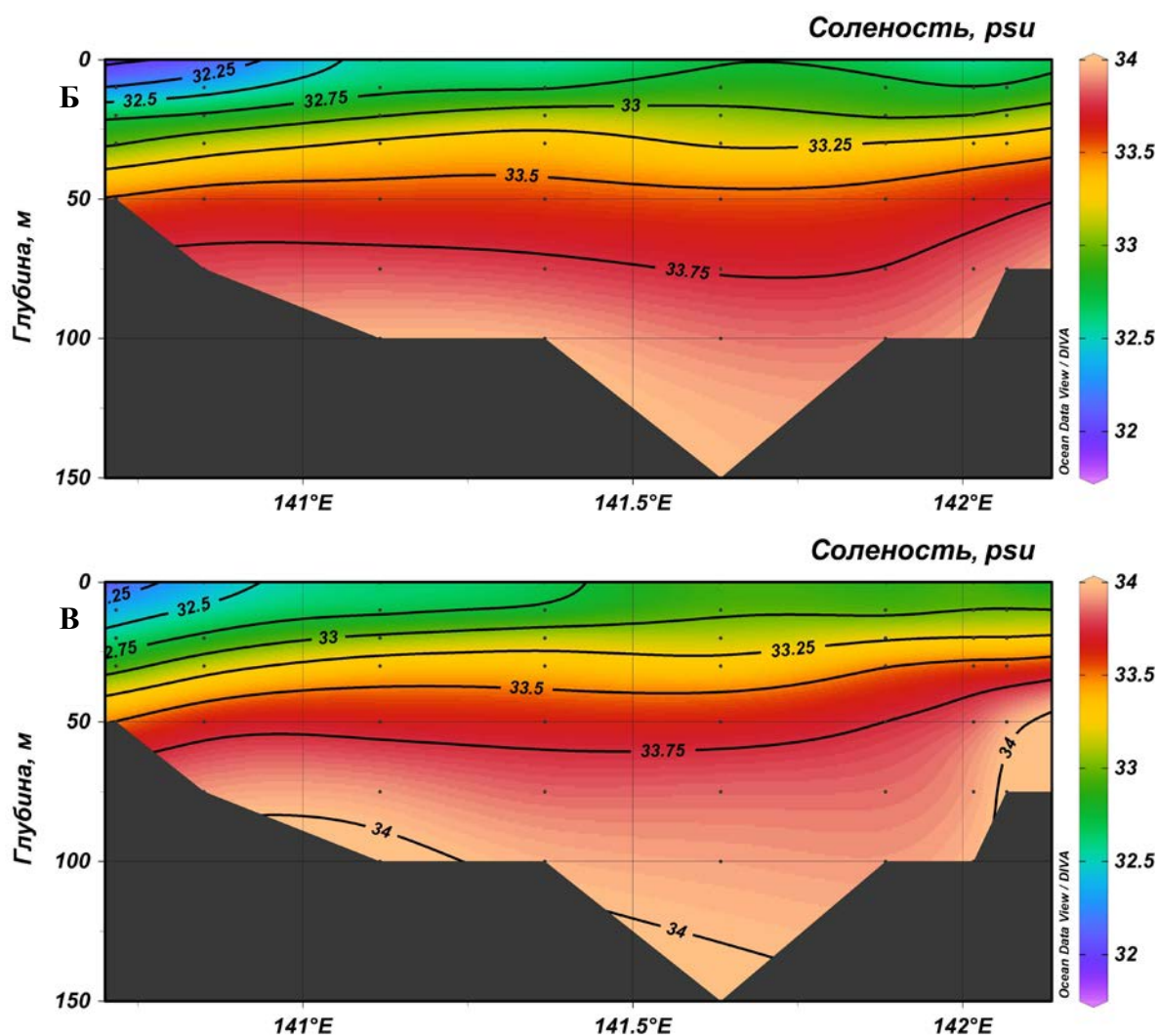


Рисунок 5.6 (продолжение) – Вертикальные распределения солёности (psu) морской воды в июле (А), августе (Б) и сентябре (В) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.

**Осень.** Осенью (октябрь–декабрь) происходят значительные изменения гидрологического режима в северной части Татарского пролива. Этому способствует ряд факторов, среди которых наиболее важными являются: перестройка поля ветра к зимнему муссону с характерными для него устойчивыми и сильными ветрами северо-западных румбов, ослабление притока теплых и соленых вод Цусимского течения и увеличение влияния вод малой солёности, связанных со стоком р. Амур.

Распределение температуры воды в октябре впервые обнаруживает более теплые воды (и большую толщину верхнего прогретого слоя) в западной части разреза м. Корсакова – м. Сюркум, а не в восточной. Максимальные значения температуры на поверхности моря на прибрежной материковой станции (9,6 °С) выше, чем у берегов Сахалина (7,5 °С) на 2 °С. В восточной части разреза наблюдается хорошо выраженный наклон изотерм, характерный для прибрежного апвеллинга. Это связано с тем, что для

ветров северных румбов берег Сахалина находится слева по отношению к движению воздушного потока, что вследствие вращения Земли создает сгонный эффект и формирование апвеллинга (летом он проявляется у западных берегов пролива). На материковом склоне Приморья, на глубинах 70–100 м, находятся наиболее холодные воды. В центральной и западной части разреза в верхнем 30-метровом слое выделяется область более теплых вод (4–6 °С). В ноябре процесс подъема холодных вод на поверхность в восточной части разреза усиливается (рисунок 5.7).

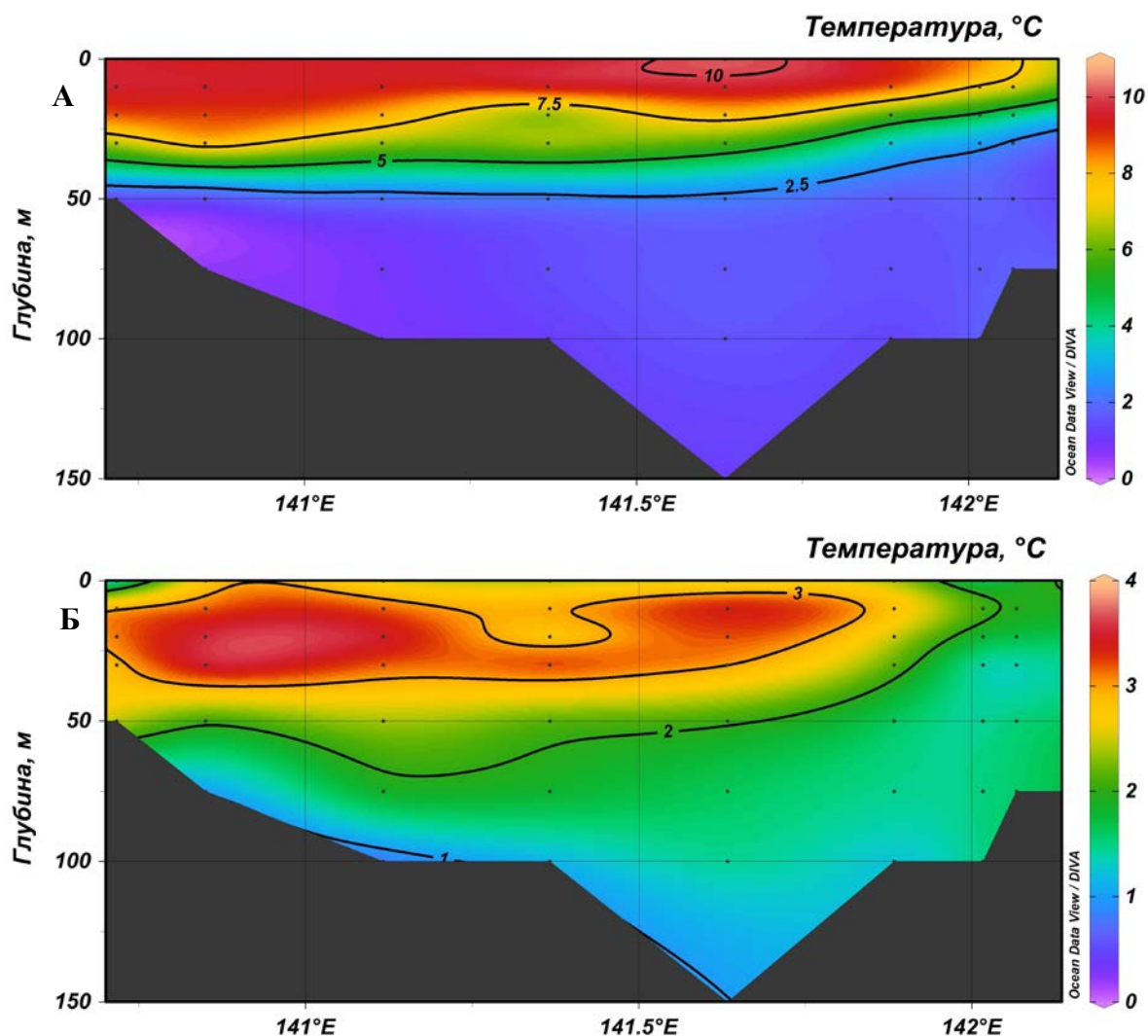


Рисунок 5.7 – Вертикальные распределения температуры морской воды (°C) в октябре (А) и ноябре (Б) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.

Распределение солёности в октябре характеризуется значительным подъемом изогалин в направлении берега Сахалина. Это прослеживается на всем разрезе, но особенно выражено в глубоких слоях шельфа острова. В западной части разреза начинает сказываться влияние вод низкой солёности, обусловленных стоком реки Амур – на

прибрежных станциях соленость ниже 32 psu, чего ни разу не отмечалось ни весной, ни летом. Локальный участок с водой низкой солености выделяется в восточной части разреза, но на определенном удалении от берега Сахалина. В ноябре влияние амурских вод достигает своего максимума. Глубина залегания изогаины 32 psu в западной части разреза составляет 30–35 м, а в восточной она едва не доходит до берега Сахалина – этому мешает подъем более холодных и соленых вод. Минимальное значение солености 30 psu отмечено на западной станции разреза на поверхностных слоях (рисунок 5.8).

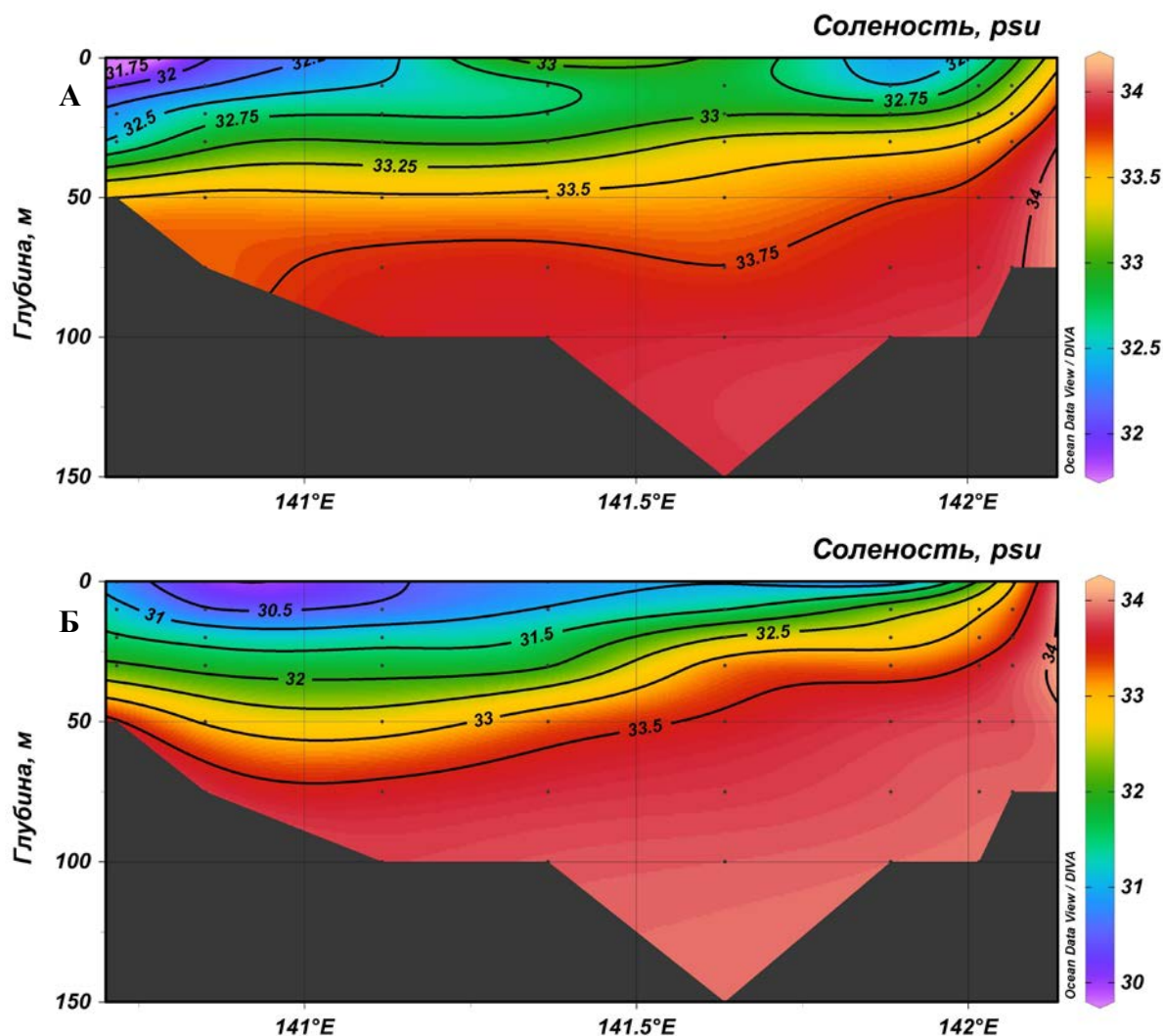


Рисунок 5.8 – Вертикальные распределения солености (psu) морской воды в октябре (А) и ноябре (Б) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум.

#### Вертикальное распределение океанологических параметров на стандартном разрезе м. Корсакова — м. Сюркум по результатам отдельных съемок

Рассмотрим результаты океанологических съемок, выполненных в холодный период года: 13 ноября 2008 г. и 17–18 ноября 2010 г. Обе съемки наглядно

демонстрируют явление осеннего апвеллинга у берега Сахалина. Почти по всему разрезу наблюдается верхний однородный слой с температурой в диапазоне 4–6 °С, и только непосредственно вблизи восточного части разреза на станциях 1–3 изотермы круто поднимаются вверх.

По результатам съемки 13 ноября 2008 г. (рисунок 5.9) максимальные значения температуры (4–5,5 °С) отмечены в поверхностном слое вблизи берега Приморья. В направлении Сахалина ее значения плавно уменьшались до 4 °С, и вблизи восточного шельфа о. Сахалин изотермы круто поднимаются вверх.

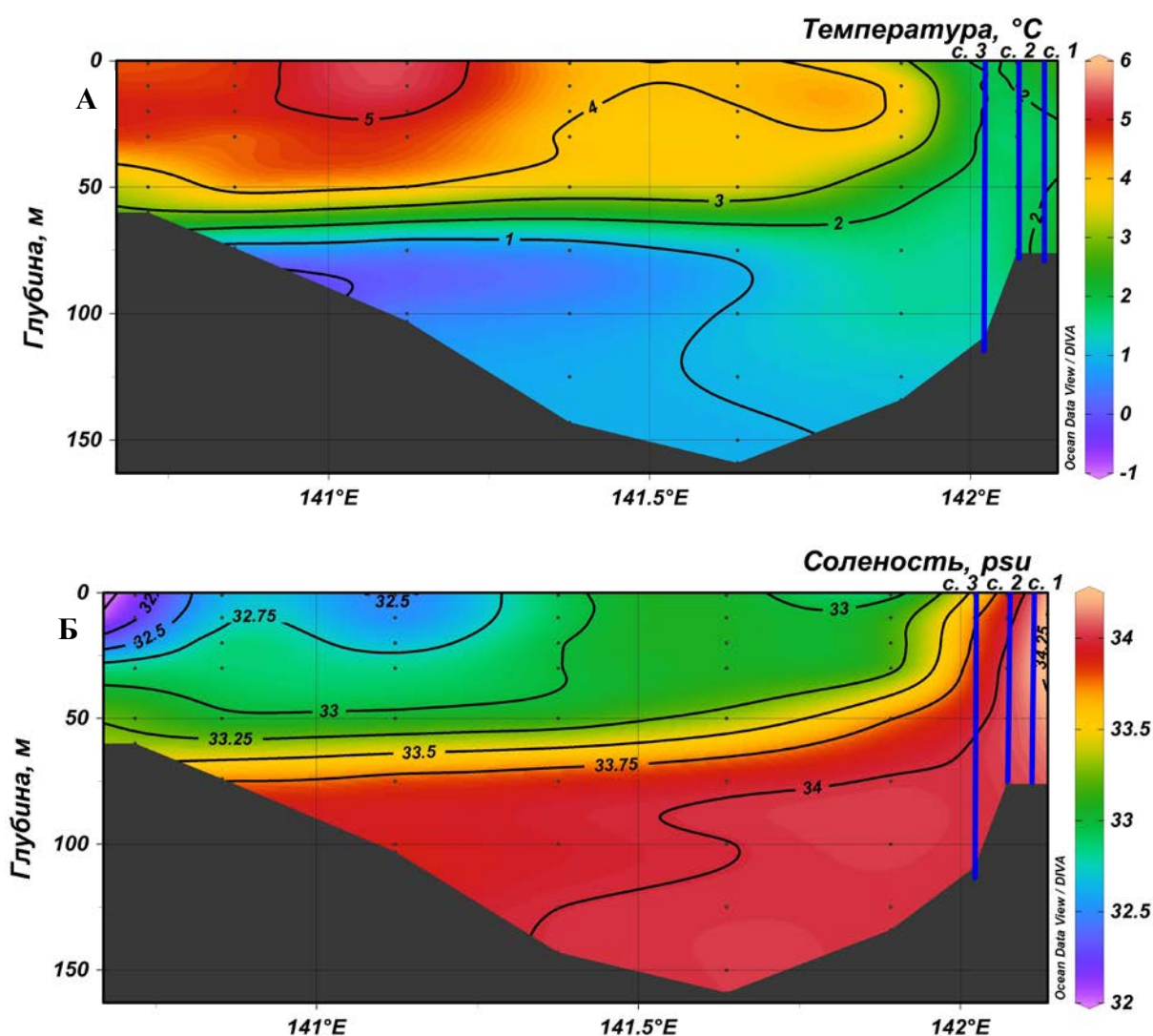


Рисунок 5.9 – Вертикальные распределения температуры (°С, А) и солености (psu, Б) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум по результатам съемки 13.11.2008 г.

Почти такая же картина наблюдается и в распределении солености – изогалины ориентированы горизонтально, ближе к центральной части разреза отмечается выход

холодных и соленых вод на поверхностные горизонты. А непосредственно в районе шельфа о. Сахалин изогалины 33,5–34 psu круто поднимаются вверх (рисунок 5.9).

Съемка 17–18 ноября 2010 г. – яркий пример влияния стока реки Амур на гидрологические условия на севере Татарского пролива (рисунок 5.10). Минимальные значения солёности (31,5 psu и менее) отмечены у берегов Приморья (станция 9, 10) на горизонтах 0–25 м. Изогалины 32,5–33 psu в западной части разреза проходят по глубине около 30–40 м, поднимаясь к поверхности в непосредственной близости у шельфа о. Сахалин (станции 1–3).

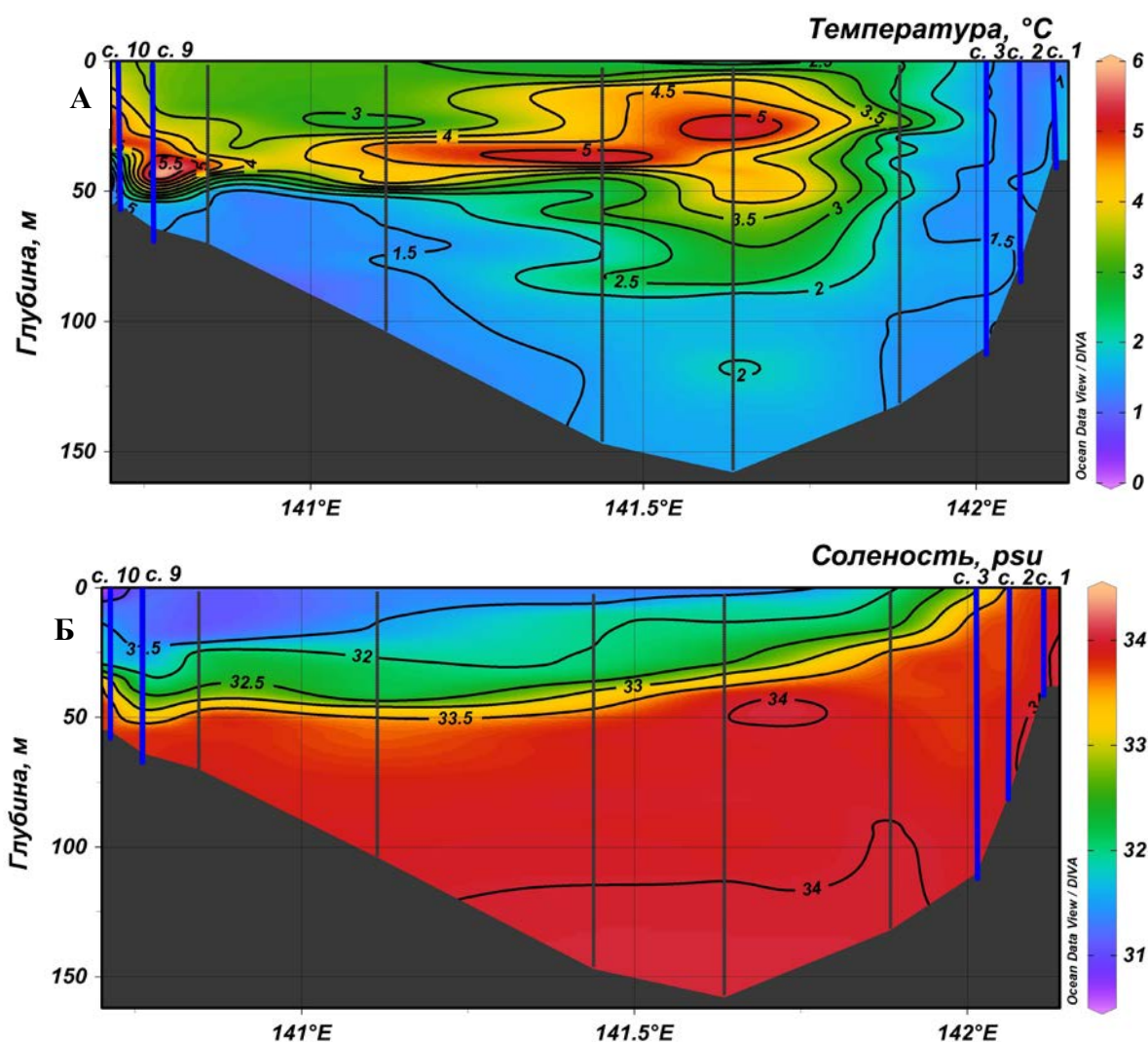


Рисунок 5.10 – Вертикальные распределения температуры (°C, А) и солёности (psu, Б) на стандартном разрезе м. Корсакова – м. Сюркум по результатам съемки 17–18.11.2010 г.

Распределение температуры констатирует активное осеннее выхолаживание северной части акватории Татарского пролива – температура на поверхности в около 3 °C, тогда как более теплые воды расположены на горизонтах 10–30 м. Но даже при таких

низких температурах осенний апвеллинг у сахалинского берега все же заметен – в восточной части разреза (станции 1–3) температура на всей водной толще около 1 °С с крутым наклоном изотерм (рисунок 5.10).

### 5.3. Расчет параметров прибрежного апвеллинга

Рассмотрим более подробно условия образования зон апвеллинга у западного берега о. Сахалин в осенний период. Наиболее важными представляются вопросы связи наличия данного явления со скоростью и продолжительностью воздействия ветров северных и северо-западных румбов, которые обычно устанавливаются в данном районе в конце сентября и оказывают интенсивное воздействие на морскую поверхность в октябре – ноябре. Рассмотренное выше распределение температуры воды на поверхности для данного района указывает на наличие холодных вод, что свидетельствует о присутствии апвеллинга. Профили температуры, солености и плотности на разрезе м. Корсакова – м. Сюркум также однозначно подтверждают выход плотных вод в верхние слои и образование потока южного направления у берегов Сахалина.

Важным для данной работы является расчет вертикальной скорости подъема изопикн и характерного времени подъема границы раздела. Основой для расчетов послужила двухслойная модель. Общий анализ данного расчета был выполнен в рамках двухслойной модели Йошида (Боуден, 1988).

Касательное напряжение ветра было рассчитано при помощи выражения

$$\tau_y = \rho_a C_D V^2, \quad (1)$$

где  $\rho_a=1,25 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха;  $C_D=1,2 \cdot 10^{-3}$  – коэффициент трения;  $V$  – геострофическая скорость ветра.

Радиус деформации Россби, отражающий характерный пространственный масштаб изучаемого явления (в данном случае ширину прибрежной полосы, в которой проявляется апвеллинг), определяется выражением:

$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{g' H_1 H_2}{H_1 + H_2}}, \quad (2)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – толщина верхнего и нижнего слоя соответственно;  $g'=g(p_2 - p_1)/p_2$ ,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $p_1$  и  $p_2$  – плотность верхнего и нижнего слоя соответственно.

Характерное время подъема границы раздела равно:

$$T = \rho_1 H_1 \lambda f / \tau_y. \quad (3)$$

Значение вертикальной скорости определяется соотношением:

$$\omega = \frac{\tau_y}{\rho_1 \lambda} \frac{1}{f}. \quad (4)$$

Здесь  $f$  — параметр Кориолиса (на широте  $51^\circ$  с. ш.  $f = 1,14 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ),  $\tau_y$  — напряжение ветра.

В качестве невозмущенных гидрологических условий примем распределение температуры, солёности и плотности на стандартном океанологическом разрезе м. Корсакова – м. Сюркум в сентябре. По осредненным данным гидрологических съемок  $H_1 = 30 \text{ м}$ ,  $H_2 = 100 \text{ м}$ ;  $\rho_1 = 1,025 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_2 = 1,0275 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Радиус Россби, рассчитанный по формуле (2), равен 6,5 км. Это довольно малое значение, что обусловлено прежде всего малой толщиной верхнего прогретого слоя. Возможно, данная модель дает несколько заниженную оценку этого параметра. С другой стороны, распределение температуры и солёности в осенний период показывает, что выход на поверхность холодных плотных вод действительно происходит в сравнительно узкой прибрежной полосе. При скорости ветра 5 м/с, а именно при таком значении, начинается апвеллинг на северо-восточном шельфе Сахалина в сходных физико-географических условиях, время подъема границы раздела на поверхность составляет около 7 сут (вертикальная скорость около 0,18 м/ч) (Полупанов, 2007). При меньшей скорости время подъема становится слишком большим, и апвеллинг не проявляется. При увеличении скорости ветра до 7 м/с, а подобные синоптические усиления не редкость в октябре–ноябре, когда возрастает циклоническая активность в регионе, время подъема холодных вод на поверхность уменьшается вдвое и составляет около 3,5 суток.

Несмотря на простоту модели и ее приближенный характер, известно, что она дает удовлетворительные оценки, неплохо согласующиеся с реальными данными. Помимо вышеупомянутой работы (Полупанов, 2007), данная модель успешно использовалась для изучения вертикальных движений вод у юго-восточного побережья Сахалина (Будаева, Харитонов, 1980) и Приморья (Жабин, 1993). Полученные нами оценки также выглядят достаточно убедительно.

#### **5.4. Специфика формирования ветрового апвеллинга у юго-западного побережья о. Сахалин**

«СахНИРО» в течение многих лет проводит работы по мониторингу состояния полей ламинарии у юго-западного побережья о. Сахалин. Это обусловлено тем обстоятельством, что наметилась опасная тенденция замещения этого ценного пищевого продукта на не представляющим практического интереса кораллиновыми водорослями, что является определенной угрозой для состояния запаса и сказывается на объемах добычи сахараины. Работы по мониторингу включают визуальные осмотры полей ламинарии, а также контроль гидрологических и гидрохимических показателей морской воды на нескольких полигонах. На ряде станций несколько лет подряд устанавливался логгер – измеритель температуры морской воды и придонного гидростатического давления, которое пересчитывалось в колебания уровня моря.

Это было сделано с целью постоянного наблюдения за вариациями термических условий во время роста сахараины в течение теплого сезона года, включавшего период спороношения и формирования молодой поросли. В настоящем исследовании используются данные инструментальных измерений температуры морской воды и придонного гидростатического давления (уровня моря), полученные с помощью логгера в теплый период года на полигонах наблюдения за ламинарией в прибрежной зоне юго-западного Сахалина (рисунок 2.1): Антоново (район с. Яблочное, 2020 и 2022 гг.), м. Богдановича (2022 г.) и Шебунино в 2021 г. (в районе одноименного с. Шебунино).

Для анализа метеорологических условий в период измерений использовались данные о скорости и направлении ветра на береговых гидрометеорологических станциях Холмск и Невельск в стандартные метеорологические сроки, взятые с сайта общего доступа [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru) (дата обращения 10.12.2022 г.) и карты пространственного распределения приземного атмосферного давления в северо-западной части Тихого океана, предоставленные на сайте <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access> (дата обращения 18.12.2022 г.).

Помимо этого, привлекались гидрологические и гидрохимические материалы судовых океанологических съемок, выполненных «СахНИРО» в 1995–1999 гг. на стандартных разрезах Т1 и Т2 (рисунок 2.1).

##### **5.4.1. Ветровой апвеллинг в холодный период года**

Напомним, в предыдущих главах выяснено, что летом на всем западном побережье Сахалина – от п-ова Крильонский на юге до пролива Невельского на севере – вода более теплая, чем вблизи материка. Этому способствует ряд факторов: распространение теплого

Цусимского течения вдоль свала глубин у берега острова и воздействие ветрового потока. Формирование пояса холодной воды у юго-западного побережья Сахалина (в основном это побережье п-ова Крильонский) происходит за счет залива холодной и менее соленой охотоморской водной массы (главы 3, 4), наличием узкого струйного холодного Западно-Сахалинского течения (главы 3, 4), а также эпизодически возникающего под воздействием определенных процессов ветрового апвеллинга (этот механизм рассмотрен чуть ниже в данной главе).

В зимний сезон, при смене барических систем и преобладании ветров северных и северо-западных румбов, у берегов Сахалина развивается сезонный ветровой апвеллинг, наиболее ярко выраженный в северной и центральной части пролива. Но, тем не менее, в холодный период года у юго-западного побережья Сахалина ветровой сезонный апвеллинг также может проявляться, хоть и в значительно меньшей степени. Это явление отмечено во время проведения судовых научно-исследовательских работ в исследуемом нами районе.

Во второй половине 1990-х гг. «СахНИРО» у юго-западного побережья о. Сахалин регулярно выполнялись экспедиционные исследования, включавшие океанологические зондирования на разрезах Т1 и Т2 (на последнем количество съемок в два раза меньше), преимущественно весной. Тем не менее, удалось отобрать несколько ситуаций, сходных по срокам, в том числе и выполненных в разные сезоны одного года, например, в августе и декабре 1996 г. На основании этих работ выявлено, что в декабре явление прибрежного апвеллинга также диагностируется у юго-западного берега о. Сахалин, но в вертикальных распределениях температуры морской воды оно выражено не так явно, как в декабре, из-за более сильного выхолаживания поверхностного слоя воды.

Гидрохимические исследования выполнялись на стандартных разрезах существенно реже, чем океанологические (Пропп, Гаврина, 2019), в частности отбор проб воды не осуществлялся в августе 1999 г., но был выполнен в ноябре. На рисунке 5.11 представлены вертикальные распределения температуры, солености, нитратного азота, кремния и минерального фосфора на разрезах Т2 и Т1 в осенне-зимний период 1999 г. на горизонтах 0–200 м.

На более северном разрезе Т2 в ноябре вода в поверхностном слое выхоложена (самое высокое значение в районе поднятия – около 9 °С), на глубинах более 50 м оно проявляется в меньшей степени. Так, изотерма 6 °С поднимается до глубины 60–70 м, Уклон изотерм у берега возрастает, ширина прибрежной полосы холодной воды достаточно широкая, и к побережью острова подходит уже холодная вода с температурой 1–2 °С.

На южном разрезе Т1 распределение температуры в ноябре имело более существенные различия с разрезом Т2. Выхолаживание поверхностного слоя воды было не таким значительным, самые высокие значения параметра превышали 11,5 °С, изотерма 6 °С поднялась до глубины 100–120 м. Прибрежная полоса холодной воды широкая, но минимальные значения температуры выше, чем на Т2, – порядка 3–4 °С (рисунок 5.11 А).

Равномерное распределение солености на разрезах Т2 и Т1 во всей толще воды (значения солености варьируются в пределах 33,8–34,1 psu) подтверждает воздействие ветра на формирование апвеллинга в изучаемом районе и отсутствию залива холодных и менее соленых охотоморских вод (напомним, значения солености вод Охотского моря изменяются в диапазоне 32,5–33 psu) (рисунок 5.11 Б).

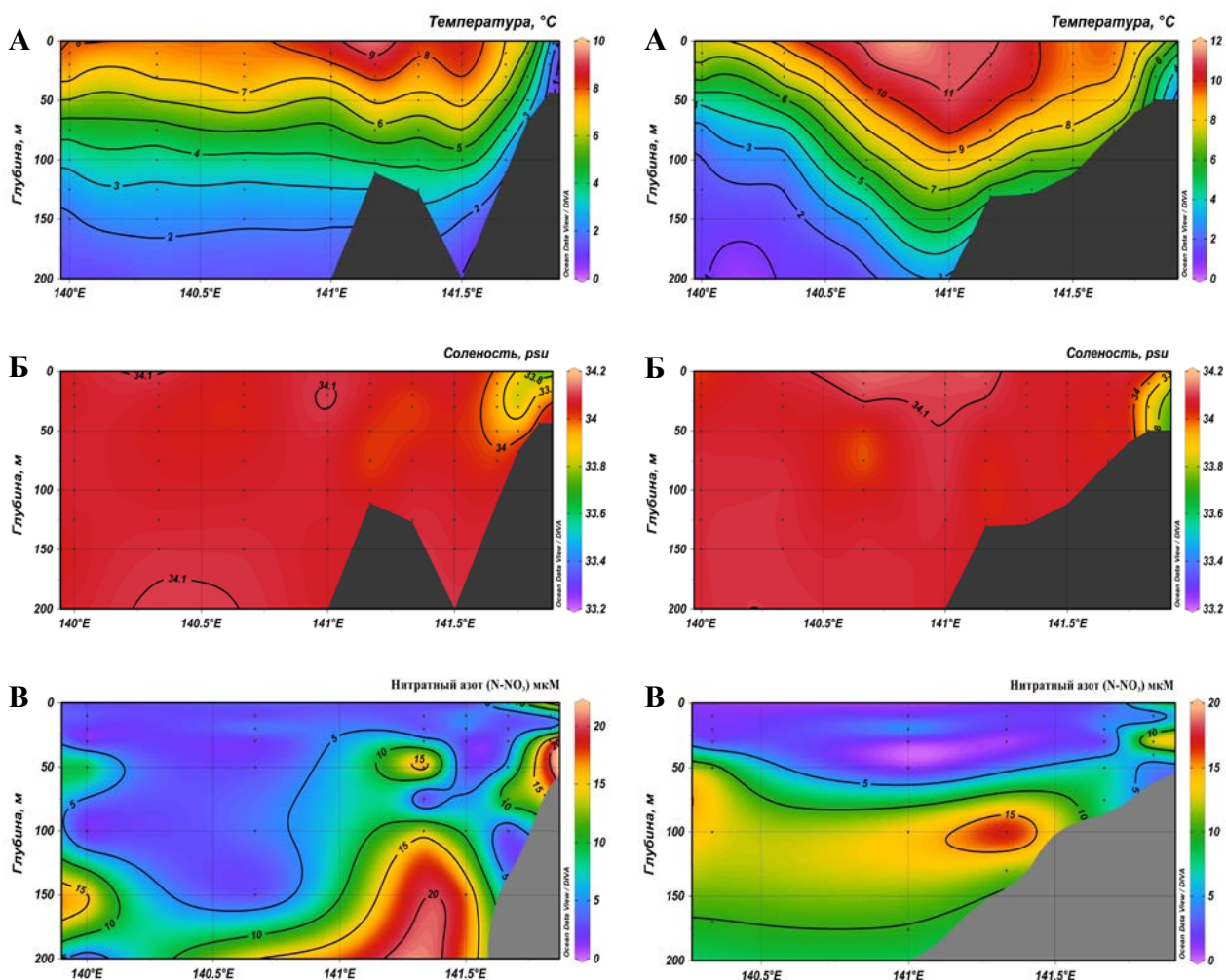


Рисунок 5.11 – Вертикальные распределения температуры (°С, А), солености (psu, Б), концентраций нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>, В), минерального кремния (Si, Г) и фосфора (P-PO<sub>4</sub>, Д) в морской воде на разрезах Т2 (слева) и Т1 (справа) 21–22 ноября 1999 г.

Распределения концентрации нитратного азота ( $\text{N-NO}_3$ , рисунок 5.11 В) явно указывают на подъем в прибрежной зоне вод, богатых биогенными элементами. На шельфе и континентальном склоне на разрезе Т2 его содержание достигает 20 мкМ, в то время как в поверхностном слое на удалении от берега колеблется в пределах от 3 до 5 мкМ. Несколько в меньшей степени, но также достаточно отчетливо это выражено на разрезе Т1. Значения показателя на шельфе составляют 8–10 мкМ, на склоне – 12–15, а на мористых станциях – от 2 до 5.

Близкая картина характерна и для концентрации кремния (Si, рисунок 5.11 Г) в морской воде. Более высокие показатели отмечены на обоих разрезах в сравнительно тонком слое над шельфом и материковым склоном (от 10 до 20 мкМ), в то время как в поверхностном слое в открытом море этот показатель не превышал 5 мкМ.

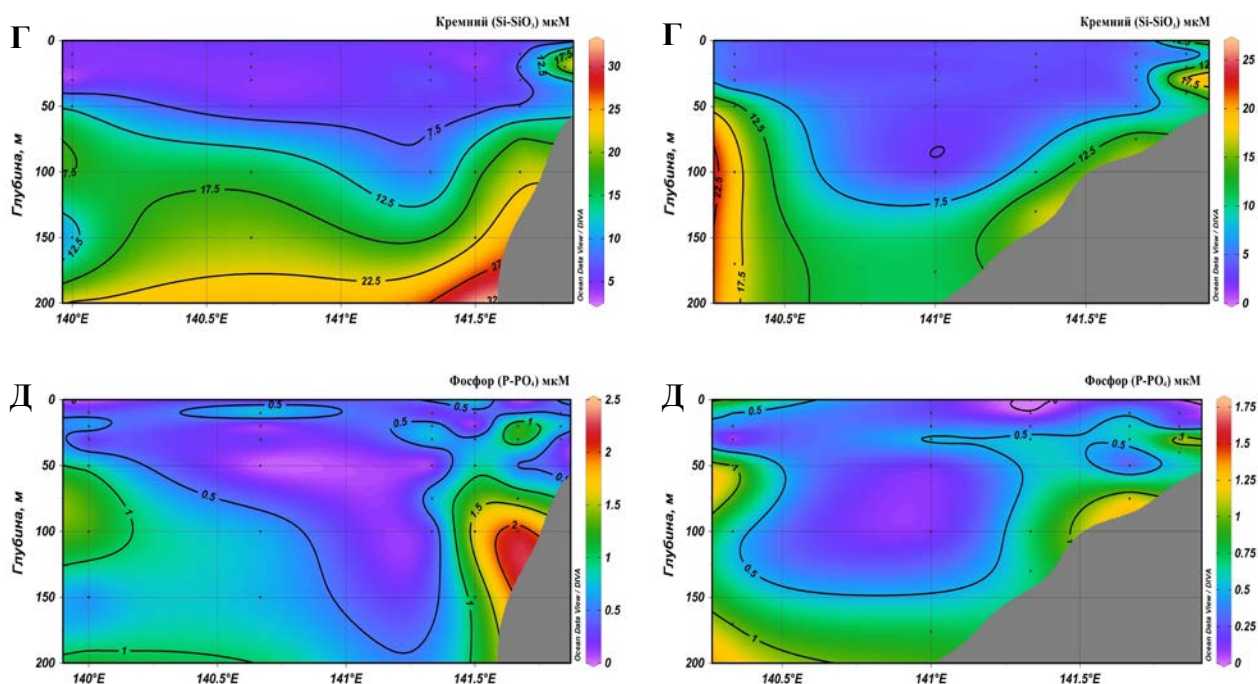


Рисунок 5.11 (продолжение) – Вертикальные распределения температуры ( $^{\circ}\text{C}$ , А), солености (psu, Б), концентраций нитратного азота ( $\text{N-NO}_3$ , В), минерального кремния (Si, Г) и фосфора ( $\text{P-PO}_4$ , Д) в морской воде на разрезах Т2 (слева) и Т1 (справа) 21–22 ноября 1999 г.

Не так отчетливо влияние прибрежного апвеллинга сказывается на распределении минерального фосфора ( $\text{P-PO}_4$ , рисунок 5.11 Д), содержание этого элемента в целом находилось на низком уровне – менее 0,5 мкМ, однако над материковым склоном оно возрастало в три-четыре раза.

Приведенные примеры показывают, что в осенний период, после перестройки поля ветра от летнего муссона к зимнему, происходящей в конце сентября-начале октября, у юго-западного побережья о. Сахалин развивается сезонный прибрежный апвеллинг. Он выражен заметно в меньшей степени, чем в северной части Татарского пролива (глава 5.1), но также достаточно явно. Вероятно, более слабая выраженность этого явления у юго-западного берега острова может быть обусловлена более узким шельфом в данном районе (Кошелева и др., 2021), а также значительной толщиной верхнего прогретого слоя – более 100 м в южной акватории пролива против примерно 25 м в северной части пролива.

Из-за существенного наклона изотерм и изогалин в прибрежной зоне, обусловленного наличием Западно-Сахалинского течения, не было возможности применить упоминавшуюся выше двухслойную модель Йошида для оценки вертикальной скорости при ветровом апвеллинге. Если бы не было этого наклона, из-за большой толщины верхнего прогретого слоя время выхода границы раздела на поверхность было бы примерно в три раза больше, чем для разреза м. Корсакова – м. Сюркум.

#### **5.4.2 Ветровой апвеллинг в теплый период года**

Как отмечалось ранее (Шевченко, Кириллов, 2017), у юго-западного побережья о. Сахалин резкие понижения температуры воды в прибрежной зоне (измерения проводились в портовом ковше портпункта с. Яблочное) наблюдались эпизодически, при усилении ветров северного и северо-восточного румбов, так как характерные в целом для теплого сезона южные ветра имеют в данном районе нагонный характер. Рассмотрим данный вопрос на основе инструментальных измерений температуры морской воды в прибрежных районах юго-западного Сахалина на полигонах наблюдения за полями ламинарии.

На рисунке 5.12 представлены графики вариаций температуры морской воды и уровня моря на полигонах наблюдения за ламинарией (рис. 2.1) в теплый период 2020–2022 гг. Рассмотрим данные, полученные с логгера, установленного на полигоне Антоново в 2020 г. Сезонный ход температуры морской воды имеет вполне закономерный характер постепенного прогрева от 5 °С в третьей декаде мая до 20 °С во второй половине августа, после чего началось плавное снижение параметра до 12 °С в конце октября. На этом фоне четко выделяются 6 случаев резких понижений температуры, два из которых, зафиксированных 12 июля и 12 сентября, были относительно кратковременными (последнее менее суток) и в дальнейшем не анализировались.

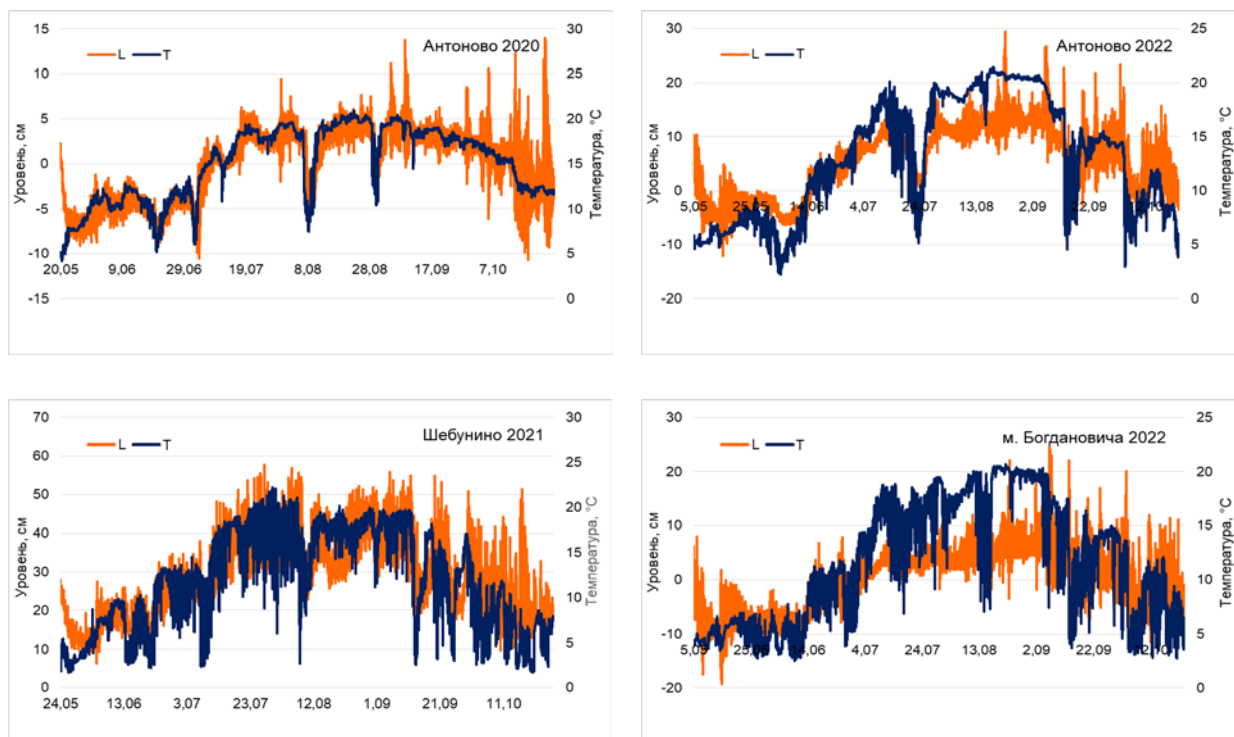


Рисунок 5.12 – Вариации температуры морской воды (Т, °С) и уровня моря (L, см) на полигонах Антоново (верхние рисунки), Шебунино и м. Богдановича (нижние) в период с мая по октябрь 2020-2022 гг.

Рассмотрим наиболее интересную ситуацию, наблюдавшуюся в период максимального прогрева прибрежной акватории в период с 7 по 12 августа 2020 г. (рисунок 5.13).

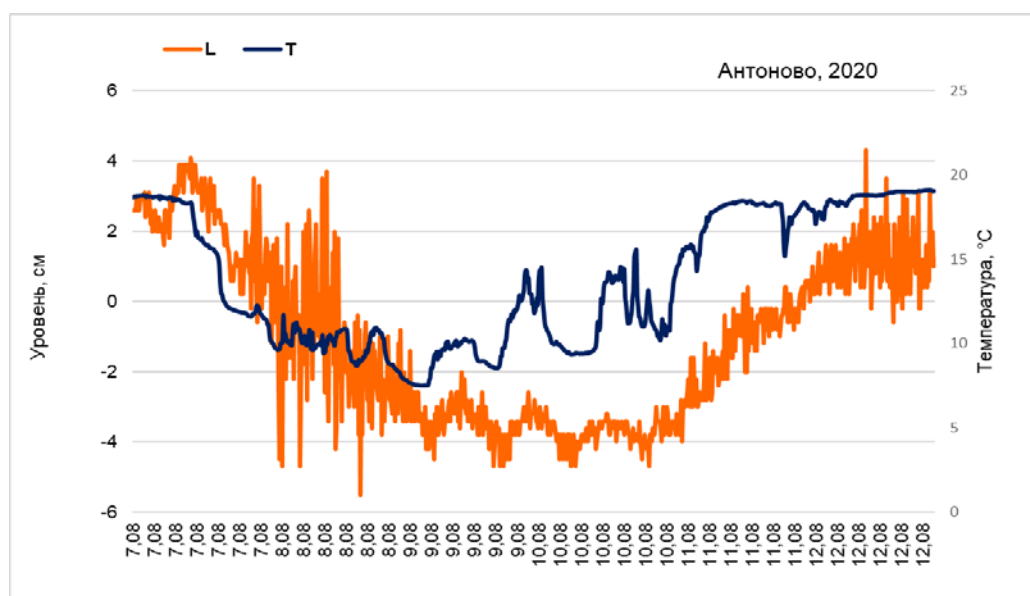


Рисунок 5.13 – Вариации температуры морской воды (Т, °С) и уровня моря (L, см) на полигоне Антоново 7 по 12 августа 2020 г.

Температура начала снижаться в 10 утра с 19 °С и концу суток достигла 10 °С, минимум 7,5 °С был отмечен 9 августа в 4 утра, а к полудню 12 августа значения параметра вернулись на начальную отметку. Этому событию предшествовало усиление ветра юго-восточного и восточного румбов до 6–7 м/с, имевшее место 4–5 августа. Затем скорость ветра уменьшилась до 2–4 м/с, и он стал менее устойчивым по направлению, меняясь от юг-юго-восточного до северного, но сохранял сгонный характер до середины дня 11 августа. Затем установилось типичное для летнего сезона преобладание ветров южного и юго-западного румбов.

Остальные ситуации, отмеченные 20–22 июня, 2–4 июля и 30 августа – 2 сентября, были менее продолжительными и глубокими, но развивались по сходному сценарию. Резкие понижения температуры совпадали с понижениями уровня моря – сгонами, которые формируются при отжимных ветрах.

Общий характер изменений термических условий на полигоне Шебунино в мае – октябре 2021 г. сходен с рассмотренным выше в Антоново, только прогрев на южном участке района мониторинга был более быстрым (начинался с более низкой отметки 3 °С и достиг максимума 21,6 °С в третьей декаде июля). Также более быстрым, чем на северном участке района в предшествующем году, происходило охлаждение прибрежной акватории, до примерно 5 °С.

На этом фоне еще более резкими выглядят понижения температуры, так как ее значения опускались до более низких отметок (менее 3 °С). Рассмотрим более детально две ситуации, имевшие место 7–12 августа и 12–17 сентября (рисунок 5.14).

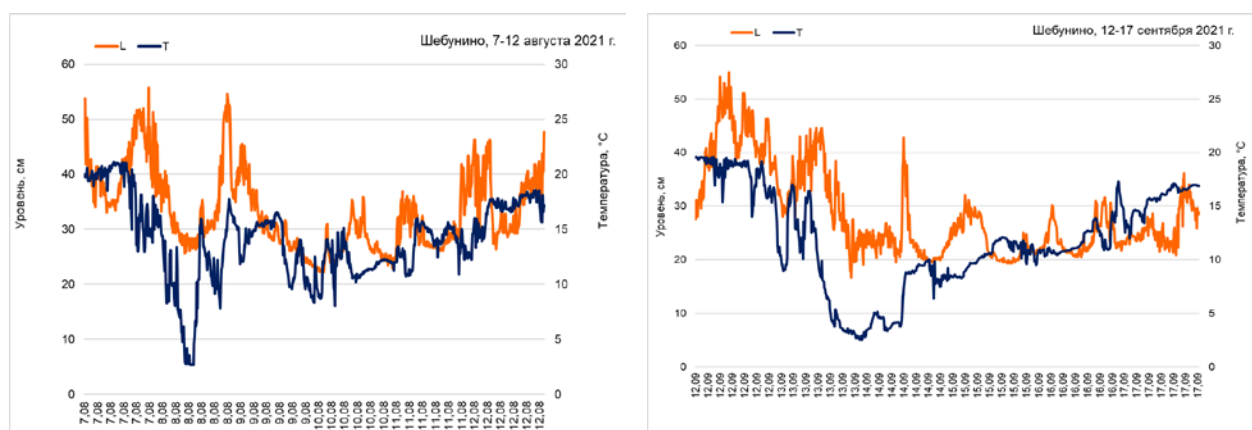


Рисунок 5.14 – Вариации температуры морской воды (Т, °С) и уровня моря (L, см) на полигоне Шебунино 7–12 августа и 12–17 сентября 2021 г.

Отметим, что вариации температуры на данном полигоне также сопровождались понижением уровня моря – сгонами – величиной 10–15 см. В обоих случаях наблюдался умеренный ветер 3–4 м/с юго-восточного румба. Впрочем, как уже отмечалось выше, метеостанция в Невельске прикрыта горами с восточного направления, и ветер этого и близких румбов заметно ослабляется, в то время как в районе Шебунино из-за наличия долины этого, скорее всего, не происходит. При перестройке атмосферной циркуляции к ветрам южного и юго-западного направления, значения температуры быстро возвращались к обычным отметкам 17–20 °С.

В 2022 году приборы были установлены на двух полигонах: Антоново и м. Богдановича. В результате этих постановок были получены продолжительные синхронные серии наблюдений за вариациями температуры морской воды и гидростатического давления (в обоих случаях измерения начинались 5 мая и были прекращены 24 октября).

На полигоне Антоново было выявлено 4 случая резких понижений температуры морской воды, они фиксировались 2–10 июня, 15–29 июля, 14–19 сентября и 5–9 октября 2022 г. Наибольший интерес представляла ситуация во второй половине июля, во-первых, снижение температуры было самым значительным, почти на 15 °С (с 19,6 до 5 °С), во-вторых, наиболее продолжительным по времени, около 2 недель. При этом оно сопровождалось существенным сгоном, более 10 см.

Характерно, что на полигоне в районе м. Богдановича в этой ситуации снижение температуры было существенно более слабым и смещено по времени на двое суток. Несмотря на весьма высокую корреляцию между рядами температуры на полигонах ( $r=0,9$ ), наиболее значительные понижения температуры на более южной станции отмечены 27 июня–2 июля и 12–17 августа, когда на полигоне Антоново имели место лишь незначительные отклонения в графиках вариаций температуры. Только в середине сентября понижение произошло синхронно и имело одинаковую величину на обоих датчиках.

Чтобы попытаться выяснить причину значимых понижений и существенных расхождений в характере вариаций температуры на расстоянии чуть менее 70 км, были проанализированы карты распределения приземного атмосферного давления, взятые с сайта общего доступа <https://www.ncdc.noaa.gov>. На рисунке 5.15 представлены пространственные распределения приземного атмосферного давления за 18 и 20 июля 2022 г., на которых видно, что в этот период над изучаемой областью прошел глубокий циклон, пересек Сахалин и вышел в южную часть Охотского моря. При таком положении центра циклона, над Татарским проливом формируются сгонные (отжимные) ветра



именно такие ситуации являются главной причиной ветрового апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина в теплый период года. Вероятно, аналогичные, но менее продолжительные понижения температуры могут иметь место и при прохождении не таких значительных атмосферных возмущений, например, атмосферных фронтов.

### **Выводы по главе 5**

Татарский пролив находится в зоне муссонной атмосферной циркуляции, для которой характерна периодическая смена преобладающего направления ветра. В зимний сезон это ветра северо-западных румбов, в летний – южные и юго-восточные направления.

Вследствие особенностей физико-географического положения и преобладающего северного и северо-западного направления ветра в **осенний период** (октябрь–декабрь) у северо-западного берега Сахалина развивается апвеллинг: холодные (2–3 °С) плотные воды выходят на поверхность, и направление прибрежного потока меняется на южное. Наблюдаемая широкая полоса холодной воды тянется от пролива Невельского до Чехово-Ильинского мелководья (вплоть до 48° с. ш.), а теплая вода оттеснена от берега острова на запад, в сторону материка.

У юго-западного побережья о. Сахалин проявление ветрового апвеллинга в холодный период года выражено существенно слабее, чем в северной и центральной части Татарского пролива. Вероятно, это обусловлено свойствами локальной топографии района, характеризующейся узким приглубым шельфом, а также существенно большей толщиной теплого поверхностного слоя (более 100 м благодаря влиянию Цусимского течения в южной акватории пролива и около 25 м в центральной части на разрезе м. Корсакова – м. Сюркум).

Явление прибрежного апвеллинга у юго-западного берега о. Сахалин в осенний период способствует подъему воды из более глубоких слоев, богатой биогенными и иными химическими элементами, важными для роста молодой ламинарии (в частности, фосфора). Важно также, что это происходит при положительных значениях температуры, имеющей значения 4–6 °С в ноябре и более высокие в октябре.

В **летний период** года в восточной части пролива воды более теплые, чем в западной.

Летом, при преобладании ветров южных румбов нагонного характера (летний муссон), условия для формирования ветрового апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина возникают эпизодически при определенных обстоятельствах.

Наиболее значимые ситуации отмечены при прохождении циклонов над южной частью острова или у о. Хоккайдо (Япония). При выходе центра атмосферного возмущения в южную часть Охотского моря или к южным Курильским островам, над изучаемым районом формируются сгонные ветра восточного и близких к нему румбов, которые и являются причиной резкого понижения температуры воды (до 10–12 °С) в прибрежной зоне продолжительностью 5–7 суток. Не такие существенные и менее продолжительные понижения температуры могут иметь место и при прохождении над изучаемым районом атмосферных фронтов. Резкие понижения температуры морской воды в прибрежной зоне в период ската молоди тихоокеанских лососей могут представлять для нее серьезную опасность, а также негативно сказываться на подходах горбуши в период ее нереста.

Характерной особенностью апвеллинга у юго-западного побережья о. Сахалин в теплый период года является быстрый подъем холодной воды при перестройке к ветрам сгонного характера, несмотря на значительную толщину верхнего прогретого слоя. Вероятно, это связано с тем, что холодная вода здесь находится достаточно близко к поверхности благодаря действию Западно-Сахалинского течения. Даже сравнительно кратковременное поступление биогенных элементов летом в результате подъема глубинной воды может иметь важное значение для развития ламинарии в данном районе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних наблюдений на стандартных океанологических разрезах п. Перепутье – о. Монерон, T1 и T2, данных спутниковых наблюдений и инструментальных измерений позволили выявить гидрологические особенности изучаемого района.

На основе этой информации детально изучены характеристики Западно-Сахалинского и Цусимского течений. **Впервые определены** четкие временные границы существования Западно-Сахалинского течения (с мая по ноябрь с максимумом интенсивности в августе–сентябре) и дана характеристика сезонной изменчивости Цусимского течения в районе о. Монерон.

**Изучено влияние охотоморской водной массы с низкой соленостью на зону шельфа у западного побережья п-ова Крильонский, носящее постоянный характер в холодный период года и обусловленное приливами в теплый.**

В проливе Лаперуза существуют разнонаправленные **сезонные потоки**. В **холодный сезон** постоянный поток охотоморской водной массы направлен из Охотского моря в Японское и распространяется до **акватории в районе разреза T2, до м. Лопатина**. В **теплый период года**, когда уровень воды Японского моря выше, за счет чего обеспечивается поток теплого течения Соя, заток охотоморской водной массы через северную часть пролива Лаперуза возникает при достаточно сильных тропических приливах на фазе прилива (приливное течение ориентировано на запад, в юго-восточную часть Татарского пролива).

На фазе отлива (приливной поток ориентирован на восток в Охотское море), в северной части пролива вода более холодная, но с высокой соленостью, что отвечает характеристикам Западно-Сахалинского течения. Это течение движется вдоль западного побережья п-ова Крильонский в сторону пролива Лаперуза. В Охотском море эта вода распространяется параллельно основной струе течения Соя вдоль северного берега о. Хоккайдо, но на большем удалении от острова. Граница раздела между теплыми и холодными водами весьма устойчива и подтверждается данными спутниковых наблюдений. На фазе отлива заметно уменьшение размеров холодного пятна у западного побережья п-ова Крильонский и повышение температуры в нем, что обусловлено перемещением части холодной воды в Охотское море.

По спутниковым данным удалось определить, что на фазе отлива наблюдается заток части холодной воды Западно-Сахалинского течения в юго-западную часть залива Анива между п-вом Крильонский и скалой Камень Опасности.

**В теплый сезон**, под влиянием приливных течений, влияние охотоморской водной массы значительно, ареал ее распространения доходит до разрезов Т1 и ПМ. Причем струя Западно-Сахалинского течения оттесняется этой водой от берега.

Проведенные исследования в районе устья р. Горбуша в теплый период 2024 г. подтвердили значительное влияние на западное побережье п-ова Крильонский охотоморской водной массы. Так, отмечены значительные суточные вариации океанологических параметров: они могут превышать 10 °С по температуре и 2 psu. Вариации в рамках двухнедельной цикличности также значительны, их величина достигала 6 °С и 1 psu. Скорость приливного потока достигала по астрономическим условиям 66 см/с в северном и 45 см/с в южном направлении.

Помимо суточных вариаций океанологических параметров (приливные течения имеют выраженный суточный характер), наблюдается своеобразное накопление охотоморской водной массы на юго-западном шельфе о. Сахалин. Это связано с тем, что во время отлива не вся эта вода покидает шельфовую зону. Данный эффект проявляется в течение 10–11 суток в рамках двухнедельного цикла при усилении приливных течений. При этом поступление менее соленой охотоморской водной массы прекращается примерно на 3–4 сутки во время экваториальных приливов.

Как показали исследования на прибрежных океанологических разрезах, более теплая и менее соленая охотоморская водная масса распространяется в мористой части сначала в поверхностном слое, затем вытесняет воду из более глубоководной области, и только после этого из зоны прибрежного мелководья. **Ежедневная смена охотоморской и япономорской водных масс в прибрежной зоне является главной специфической чертой гидрологического режима изучаемой акватории.**

В районе свала глубин юго-западного шельфа о. Сахалин и резко выраженного континентального склона к югу от о. Монерон обнаружено явление приливного апвеллинга. Оно формируется при направлении приливного течения, носящего суточный характер, на восток-юго-восток, в сторону пролива Лаперуза, когда в результате его взаимодействия с континентальным склоном наблюдается подъем холодных вод с глубины, вызывающий колебания температуры с амплитудой 0,5–1 °С на горизонте около 100 м. При наиболее сильных течениях подъем этих вод достигал поверхностного слоя, что вызывало понижения температуры воды на 6–8 °С на глубине около 10 м. Область подъема холодных вод характеризовалась также повышенными концентрациями биогенных элементов и хлорофилла «а» на глубинах 30–50 м, что указывает на постоянно действующий механизм поступления этих элементов в зону шельфа у западного побережья п-ова Крильонский.

**В теплый период года выявлен механизм проявления прибрежного ветрового апвеллинга.** Он возникает при смене господствующих ветров южных румбов нагонного характера (летний муссон) на сгонные ветра восточного и близких к нему румбов при выходе центра атмосферного возмущения в южную часть Охотского моря или к южным Курильским островам, над изучаемым районом формируются сгонные ветра восточного и близких к нему румбов, которые являются причиной резкого понижения температуры воды (до 10–12 °С) в прибрежной зоне продолжительностью 5–7 суток. Не такие существенные и менее продолжительные понижения температуры могут иметь место и при прохождении над изучаемым районом атмосферных фронтов.

Быстрый подъем холодной воды при перестройке к ветрам сгонного характера, несмотря на значительную толщину верхнего прогретого слоя, вероятно, объясняется тем, что холодная вода здесь находится достаточно близко к поверхности благодаря действию Западно-Сахалинского течения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипкин В.С., Еремеев В.Н., Иванов В.А. Апвеллинг в пограничных областях океана: Препринт. Севастополь: МГИ АН УССР, 1987. 46 с.
2. Архипкин В.С. Особенности структуры и динамики прибрежного апвеллинга в Каспийском море // Каспийское море. Структура и динамика вод. М.: Наука, 1990. С. 61–74.
3. Бобков А.А. Течение Соя и его ветви // Известия ВГО. 1989. Т. 121. С. 531–535.
4. Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Серых И.В., Суркова Г.В., Филиппов Ю.Г. Закономерности формирования апвеллинга Мирового океана // Метеорология и гидрология. 2012. № 11. С. 75–81.
5. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. Пер. с англ. М.: Мир. 1988. 322 с.
6. Будаева В. Д., Макаров В.Г., Булгаков С.Н. Циркуляция вод в Татарском проливе и ее сезонная изменчивость // Тр. ДВНИИ. 1981. Вып. 83. С. 35–43.
7. Будаева В. Д., Макаров В.Г., Частиков В.Н. Результаты гидрологических исследований залива Анива в 2001–2003 гг. (структура и циркуляция вод) // Труды СахНИРО, 2005. Т. 7. С. 83–110.
8. Великанов А.Я. Встречаемость и распространение тихоокеанского синеперого тунца (*Thunnus orientalis*, Temminck et Schlegel, 1844) у берегов о. Сахалин в 2014–2023 гг. // Труды СахНИРО. 2024. Т. 20. С. 36–46. EDN YPSRHL.
9. Великанов А.Я. История освоения ресурсов дальневосточной мойвы *Mallotus catervarius* (*Osmeriformes*) у берегов Сахалина и причины рекордных уловов в современный период // Вопросы рыболовства. 2024. Т. 25, № 1. С. 29–48. DOI 10.36038/0234-2774-2024-25-1-29-48. – EDN RYSKWQ.
10. Веселова Л.Е. Некоторые особенности температурного режима вод у юго-западного побережья о. Сахалин // Труды ДВНИГМИ. 1963. Вып. 013. С. 42–63.
11. Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 359 с.
12. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Японское море. Гидрометеорологические условия. Вып. 1. Том VIII. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 398 с.
13. Гидрометеорология и гидрохимия морей: Японское море. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. Вып. II, Т. VIII. Под. ред. Ф.С. Терзиева. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. 398 с.

14. Духова Л.А., Сапожников В.В. Гидрохимические показатели первичной продукции в зонах Перуанского и Канарского апвеллингов // Труды ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 85–100.
15. Жабин И.А., Грамм-Осипова О.Л., Юрасов Г.И. Ветровой апвеллинг у северо-западного побережья Японского моря. – Метеорология и гидрология. 1993. № 10. С. 82–86.
16. Жабин И.А., Дмитриева Е.А. Сезонная и межгодовая изменчивость ветрового апвеллинга у восточного побережья о-ва Сахалин по данным скаттерометра SeaWinds спутника QuikSCAT // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 105–115.
17. Жабин И. А., Зуенко Ю. И., Демина Т. В. Поверхностные термические фронты в северной части Японского моря: природа, изменчивость, влияние на рыбный промысел // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. Владивосток. ТИНРО, 1992. С. 157–167.
18. Ившина Э.Р., Ким С.Т. Промысел тихоокеанской сельди *Clupea pallasii*, относимой к декастринской популяции в 1930-2022 гг. (Татарский пролив, Японское море) // Вопросы рыболовства. 2023. Т. 24, № 4. С. 93–107. DOI 10.36038/0234-2774-2023-24-4-93-107. EDN CNOXJX.
19. Ившина Э.Р., Мухаметов И.Н. Распределение тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* в Татарском проливе (Японское море) в апреле-июне // Известия ТИНРО. 2025. Т. 205, № 2. С. 298–313. DOI 10.26428/1606-9919-2025-205-298-313. – EDN BJNIAY.
20. Каев А.М., Ромасенко Л.В. Особенности промысла горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (*Salmonidae*) на сахалинском побережье Татарского пролива // Вопросы рыболовства. 2023. Т. 24, № 2. С. 65–72. DOI 10.36038/0234-2774-2023-24-2-65-72. EDN OHJRSZ.
21. Кантаков Г.А., Шевченко Г.В. Анализ непериодических течений в проливе Лаперуза (Соя) в связи с изменениями уровня и воздействием ветра // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 62–74.
22. Кантаков Г.А., Частиков В. Н., Шевченко Г. В. Современные исследования течений в рыбопромысловых районах Сахалино-Курильского региона// Труды СахНИРО. 2002. Т. 4 С. 3–21.
23. Като Э., Савельев В.Ю., Шевченко Г.В. Режимные характеристики ветра для острова Сахалин, полученные на основе инструментальных данных // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 177–194.
24. Коренева Т.Г., Шевченко Г.В., Марыжихин В.Е. и др. Результаты исследований условий окружающей среды в районе аварии танкера «Надежда» (прибрежные воды

- Татарского пролива у юго-западного Сахалина) // Вода: химия и экология. – 2017. – № 11–12. – С. 3–13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32738914>
25. Кошелева А.В., Ярощук И.О., Храпченков Ф.Ф. и др. Апвеллинг на узком шельфе Японского моря в 2011 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2021. Т. 14, № 1 С. 31–42. doi: 10.7868/S2073667321010032
26. Леонов А. К. Водные массы Японского моря // Метеорология и гидрология. 1948. № 6. С. 61–78.
27. Летунова Е.А., Ким С.Т. Характеристика промысла камбал дальневосточных (сем. Pleuronectidae) у западного побережья Сахалина в 2022 г. // Труды СахНИРО. 2023. Т. 19–1. С. 42–54. EDN JCQYTL.
28. Летунова Е.А., Ким С.Т. Характеристика промысла минтая *Gadus chalcogrammus* (Pallas, 1814) у западного побережья Сахалина в 2022 г. // Труды СахНИРО. 2023. Т. 19–1. С. 55–68. EDN YFIKNG.
29. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2003. 425 с.
30. Макаров С.О. „Витязь" и Тихий океан. Т. 1. – СПб., 1884. 337 с.
31. Макаров С.О. «Витязь» и Тихий океан. Т.2. – СПб., 1894. 511 с.
32. Митник Л.М., Шевченко Г.В., Софиенко Ю.А., Дубина В.А. О приливном происхождении пояса холодных вод в районе скалы Камень Опасности в проливе Лаперуза // Исследования Земли из космоса. – 2006. № 5. С. 86–96.
33. Многолетняя динамика распределения сообщества ламинариевых водорослей в прибрежной зоне юго-западной части о. Сахалин (Японское море) / Отчет о НИР (промежуточ.). – Отв. исполн. Л.А. Балконская, – Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2007. – 40 с. – Арх. СахНИРО, – Инв. № 10436.
34. Мороз В.В. Характеристики и условия формирования структуры вод в проливе Лаперуза и прилегающих акваториях // Естественные и технические науки. 2015. № 10 (88). С. 230-233.
35. Мороз В.В., Рудых Н.И. Изменчивость характеристик вод зоны перехода Японское – Охотское моря (пролива Лаперуза) // Девятый всероссийский симпозиум «Физика геосфер». Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2015. С. 161-165.
36. Пищальник В.М., Архипкин В.С. Сезонная изменчивость термохалинной структуры вод пролива Лаперуза // Вестник МГУ. Серия 5 «География». 2000. № 5. С. 43–47.
37. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В. Термохалинный анализ вод пролива Лаперуза // Водные ресурсы. 2005. Т.32, № 1. С. 1–10.

38. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В. Восстановление среднемесячных термохалинных полей в Татарском проливе // Водные ресурсы. 2009. Т.36, № 6. С. 655–667.
39. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В. О циркуляции вод в Татарском проливе // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 657–670.
40. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 87–95.
41. Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Часть 1. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. 174 с.
42. Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Часть 2. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. 108 с.
43. Пищальник В.М., Климов С.М. Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин за период 1948–1987 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 1991. 166 с.
44. Поезжалова О.С., Шевченко Г.В. Вариации среднего уровня Охотского моря // Цунами и сопутствующие явления. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 131–144.
45. Полупанов П.В. Возникновение и существование апвеллинга у северо-восточного побережья о. Сахалин // Труды СахНИРО. 2007. Т. 9. С. 257–263.
46. Пропп Л.Н., Гаврина Л.Ю. Сезонные вариации гидролого-гидрохимических параметров и хлорофилла «а» в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих районах Охотского и Японского морей в 1996–1997 гг. // Труды СахНИРО. Южно-Сахалинск, 2019. Т. 15. С. 243–279.
47. Ресурсы и рациональное использование морских водорослей и трав дальневосточных морей России: монография / под общ. ред. Акулина. – Владивосток: ТИНРО, 2020. – 268 с.
48. Романов А.А., Седаева О.С., Шевченко Г.В. Приливные и сезонные колебания уровня моря между островами Сахалин и Хоккайдо по данным спутниковой альтиметрии и береговых станций // Труды СахНИРО. 2005. Т. 7. С. 271–285.
49. Рутенко А.Н., Храпченков Ф.Ф., Соснин В.А. Прибрежный апвеллинг на шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. 2009. № 2. С. 44–53.
50. Тихий океан. Метеорологические условия над Тихим океаном. Отв. ред. В.С. Самойленко. М.: Наука, 1966. 390 с.
51. Шевченко Г.В., Вилянская Е.А., Частиков В.Н. Сезонная изменчивость океанологических условий в северной части Татарского пролива // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 78–91.

52. Шевченко Г.В., Кантаков Г.А., Частиков В.Н. Анализ данных инструментальных измерений течений в проливе Лаперуза // Известия ТИНРО. 2005. Т. 140. С. 203–227.
53. Шевченко Г.В., Кириллов К.В. Вариации температуры воды у побережья о. Сахалин по данным инструментальных измерений // Метеорология и гидрология. 2017. № 3. С. 68–78.
54. Шевченко Г.В., Ложкин Д.М. Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности моря в Татарском проливе по спутниковым данным // Геосистемы переходных зон. 2023. Т. 7, № 3. С. 276–291. <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.276-291>
55. Шевченко Г.В., Ложкин Д.М. Значимые аномалии ТПО в северо-западной части Тихого океана по данным реанализа ERA5 // Геосистемы переходных зон. 2026. Т. 10, № 1. С. 57–68. <https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.1.057-068>
56. Шевченко Г.В., Марьжихин В.Е., Частиков В.Н. Гидролого-гидрохимическая структура вод в зоне апвеллинга у юго-западного побережья о. Сахалин // Океанологические исследования. 2023. Т. 51. № 1. С. 54–70.
57. Шевченко Г.В., Марьжихин В.Е. Влияние прилива на водообмен через пролив Лаперуза // Океанологические исследования. 2024. Т. 52. №3. С. 95–115. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(3\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(3).6).
58. Шевченко Г.В., Седаева О.С., Романов А.А., Вилинская Е.А. Сезонные колебания уровня моря в Татарском проливе по данным спутниковой альтиметрии // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 59–72.
59. Шевченко Г.В., Частиков В.Н., Марьжихин В.Е. Сезонные вариации гидрологических характеристик у юго-западного побережья о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 2018. №12. С. 98–105.
60. Шевченко Г.В., Частиков В.Н. Сезонные и межгодовые вариации океанологических условий в южной части Татарского пролива // Метеорология и гидрология. 2006. № 3. С. 65–78.
61. Шевченко Г.В., Частиков В.Н. Сезонная изменчивость гидрологических характеристик на северо-восточном шельфе о. Сахалин // Океанологические исследования. 2019. Том 47. № 3. С. 246–263.
62. Шелегова Е.К. Случаи резкого похолодания вод в летний период у юго-западного берега Сахалина // Известия ТИНРО. 1960. Т.46. С. 249–251.
63. Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В. Сезонные колебания температуры поверхности моря в проливе Лаперуза по спутниковым наблюдениям 1998–2003 гг. // Труды СахаНИРО. 2005. Т. 7. С. 255–270.
64. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. – Владивосток: ДВО АН СССР,

1991. 176 с.

65. Яричин В.Г., Покудов В.В. Формирование особенностей структур гидрофизических полей в северной глубоководной части Японского моря // Труды ДВНИГМИ. 1982. Вып. 96. С. 86–95.
66. Aota M., Ishikawa M., Yamada T. Dynamic of flow in the Soya Strait // Low Temp. Phys. Sci. 1988. № 47. P. 147–160.
67. Aota, M. and Matsuyama, M. 1987. Tidal current fluctuations in the Soya Current // J. Oceanogr. Soc. Japan. 1987. Vol. 43. №. 3. P. 276–282.
68. Aota M., Tanaka I., Nakata A., Yagi H. Gradient of sea level and currents in the Strait Soya // 13-th International Symp. On Okhotsk Sea & Sea ice. Abstracts. Mombetsu, Hokkaido, Japan, 1998. P. 7–12.
69. Aota M. Studies on the Soya Warm Current // Low Temp. Phys. Sci. – 1975. No. 33. P. 152–172.
70. Bobkov A.A., Fux V.R. Tidal origin of thermohalinic anomalies in the La-Perouse Strait // Proc. 12th International Symposium on the Okhotsk Sea and Sea Ice. Mombetsu, Hokkaido, Japan. 1997. P. 242–247.
71. Godin, G. The analysis of tides. Toronto, Canada: Toronto Press. 1972. 264 p.
72. Dantchenkov M.A., Aubrey D., Riser S. Oceanographic features of La Perouse Strait // PICES Sci. Rep. 1999. № 12. P. 159–171.
73. Dubina, V.A., Mitnik L.M. Evidence of the west Sakhalin current Iners-2 and Envisat collocated SAR images // Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium, Salzburg, Austria 6–10 September 2004 (ESA SP-572, April 2005, 2P07-4).
74. Ebuchi N., Fukamachi Y., Ohshima K.I. et al. Observation of the Soya Warm Current using HF radar // J. Oceanogr. 2006. Vol. 62. P. 47–61.
75. Fujita D. Current status and problems of isoyake in Japan // Bulletin of Fisheries Research Agency. 2010. No. 32. P. 33–42.
76. Kantakov G.A., Shevchenko G.V. In situ observations of Tsushima and West-Sakhalin currents near La Perouse (Soya) Straight // PICES Sci. Rep. 1999. № 12. P. 177–185.
77. Heaps N.S. A mechanism for local upwelling along the European continental slope // Oceanol. Acta. 1980. Vol. 3, 4. P. 449–454.
78. Hill R.B., Johnson J.A. A theory of upwelling over the shelf break // Journal of Physical Oceanography. 1974. Vol. 4. P. 19–26.
79. Janowitz G.S., Pietrafesa L.J. A model and observations of time-dependent upwelling over the mid-shelf and slope // J. Phys. Oceanogr. 1980. Vol. 10. P. 1574–1583.
80. Masaki T., Fujita D., Akioka H. Observation on the Spore Germination of *Laminaria*

- japonica* on *Lithophyllum yessoense* (Rhodophyta, Corallinaceae) in culture // Bull. of the Faculty of Fisheries Hokkaido University. 1981. Vol. 32, iss. 4. P. 349–356.
81. Odamaki M. Tides and tidal currents along the Okhotsk Coast of Hokkaido // Journal of Oceanography. 1994. Vol. 50, iss. 3. P. 265–279. <https://doi.org/10.1007/BF02239517>
82. Saveliev A.V., Danchenkov M.A., Hong G.H. Volume transport through the La Perouse (Soya) Strait between the East Sea (Sea of Japan) and the Sea of Okhotsk // Ocean and Polar Research. 2002. Vol. 24, iss. 2. P. 147–152.
83. Schlitzer R., Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2020.
84. Takizawa T. Characteristics of the Soya Warm Current in the Okhotsk Sea // J. Oceanogr. Soc. Japan. 1982. Vol. 38. P. 281–292.
85. Tanaka I., Nakata A. Results of direct current measurements in the La Perouse Strait (the Soya Strait) // PICES Sci. Reports. 1999. No. 12. P. 173–176.
86. Tanaka I., Nakata A., Yagi H. et al. Result of direct current measurements in La Perouse Strait (the Soya Strait), 1995–1996 // ICOSS Proceedings. Tokyo, Japan, 1996. P. 58–62.
87. Uda M. Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in the Japan Sea and its adjacent waters during May–June 1932 // Rec. Oceanogr. Works Jap. 1934. Vol. 6. No. 1. P. 19–107.