

## ВЛИЯНИЕ ПРИЛИВА НА ВОДООБМЕН ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ЛАПЕРУЗА

Г. В. Шевченко<sup>1,2</sup>, В. Е. Марыжихин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сахалинский филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 693023, Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, д. 19б;

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б,  
e-mail: Shevchenko\_zhora@mail.ru; jonyr.27@mail.ru

На основе анализа материалов СТД-зондирований, выполненных в период с 1993 по 2011 гг. на стандартном разрезе S1, проходящем по 141 меридиану от южной оконечности о. Сахалин м. Крильон до крайней северной точки о. Хоккайдо м. Соя, и информации спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря определены важные особенности влияния приливных течений на формирование гидрологических условий в проливе Лаперуза и прилегающих акваториях. Выявлено, что в теплый период года, когда сезонный поток воды направлен из Японского моря в Охотское (течение Соя), на фазе прилива в северной части разреза S1 в поверхностном слое наблюдается холодная вода с низкой соленостью (температура может отличаться от южных станций в 3 раза, а соленость на 2 епс). На фазе отлива в северной части вода также холодная, но с высокой соленостью, что указывает на заток воды Западно-Сахалинского течения в Охотское море. Температурные контрасты между северной и южной частями пролива подтверждаются и данными спутниковых наблюдений. В холодный период года в северной части пролива существует поток более холодной и менее соленой охотоморской воды в юго-восточную часть Татарского пролива. Он более широкий и сильнее развит в глубину, по сравнению с летним сезоном. На фазе отлива, когда приливное течение направлено на восток, этот поток заметно сужается.

**Ключевые слова:** пролив Лаперуза, стандартный океанологический разрез, температура, соленость, прилив, уровень моря, течение Соя, Западно-Сахалинское течение

### Введение

Пролив Лаперуза имеет два толкования – в узком смысле это пролив между южной оконечностью о. Сахалин мысом Крильон и крайней северной точкой о. Хоккайдо (Япония) мысом Соя, что соответствует японскому названию пролива Соя (Wikipedia). В более широком смысле это акватория между указанными островами, включающая залив Анива (Люция., 2003). В данной работе мы будем придерживаться узкого смысла этого понятия.

Особенности водообмена через пролив Лаперуза между Японским и Охотским морями, воды которых существенно различаются по своим характеристикам (первые

отличаются более высокой температурой и соленостью, по сравнению с охотоморскими), и его сезонная изменчивость представляют большой интерес. По некоторым аспектам этой проблемы, прежде всего по вопросу наличия в северной части пролива противотечения течению Соя, до настоящего времени не установилось единой точки зрения. Так, еще в конце позапрошлого века выдающийся русский ученый С. О. Макаров установил, что вследствие более высокого уровня в Японском море, по сравнению с Охотским, имеет место постоянный поток, ориентированный на восток (течение Соя). Этот выдающийся ученый также определил, что при этом на фазе прилива в результате взаимодействия приливной волны с подводной возвышенностью в районе скалы Камень Опасности (находится примерно в 10 км к востоку–юго-востоку от м. Крильон) происходит подъем холодной воды и вынос ее в юго-восточную часть Татарского пролива (Макаров, 1950), с формированием у западного побережья полуострова Крильон пояса холодной воды, называемого многими специалистами «пятном Макарова». Однако в некоторых более поздних исследованиях (Uda, 1932; Леонов, 1948; Danchenkov et al., 1999) на основе океанологических зондирований констатировалось наличие постоянного противотечения теплomu течению Соя в северной части пролива Лаперуза.

В 1995–2000 гг. специалистами Сахалинского филиала «ВНИРО» и Хоккайдской рыбохозяйственной станции (Япония) проводились комплексные исследования пролива Лаперуза и прилегающих к нему вод в рамках совместного проекта. Совместные научно-исследовательские работы были реализованы в связи с важностью изучения водообмена через пролив и сложностью его характера, обусловленного взаимодействием вод с существенно различными свойствами. В рамках этого проекта в проливе и прилегающих к нему акваториях Японского и Охотского морей было выполнено большое количество океанологических и гидрохимических съемок на фиксированной системе разрезов (Пропп, Гаврина, 2019), а также инструментальных измерений течений (Будаева и др., 2005; Кантаков, Шевченко, 2001; Шевченко и др., 2005). В частности, на основе этих измерений было показано, что в проливе наблюдаются аномально сильные приливные течения, которые при определенных астрономических условиях могут достигать 6 узлов (Шевченко и др., 2005). Очевидно, что при таких скоростях приливного потока, более сильного у побережья м. Крильон и уменьшающегося в южной части пролива, результаты океанологических съемок сильно зависят от того, на какой фазе прилива они были выполнены.

В данной работе предпринята попытка сгруппировать океанологические съемки, выполненные на стандартном разрезе S1 (пересекает пролив по кратчайшему расстоянию от м. Крильон до м. Соя вдоль 142 меридиана (Пищальник, Климов, 1991)), по фазам прилива. Наибольшее внимание уделялось съемкам 1996–1997 гг., когда по договоренности японские специалисты выполняли зондирования в южной части разреза примерно в одно время с работой российской экспедиции в российской зоне пролива. Целью данного исследования было определить влияние приливного потока на распределение температуры и солености на различных фазах приливного цикла в теплый и в холодный периоды года.

### Используемые материалы и методы исследования

Материалами для настоящего исследования послужили главным образом результаты океанологических STD-зондирований, выполненных Сахалинским филиалом ВНИРО в северной части пролива Лаперуза (станции S104–S106, рисунок 1) в период с 1993 по 2011 гг. с борта НИС «Дмитрий Песков» (всего 31 съемка). Основное внимание было уделено результатам экспедиционных исследований, проводившихся в 1996–1997 гг. в рамках совместного российско-японского проекта «пролив Лаперуза», в ходе которого российские и японские специалисты (станции S101–S103, всего 7 съемок) стремились выполнить измерения по возможности синхронно (что получалось, однако, не всегда), и происходил обмен данными. Для построения вертикальных распределений температуры и солености, а также расчета распределений плотности и геострофических потоков, применялся специализированный программный комплекс для обработки океанологических данных OceanDataView. В данном случае понятие геострофических потоков довольно условное, так как они отражают не установившуюся, а мгновенную картину, сложившуюся при конкретном положении уровневой поверхности с учетом прилива, поэтому соответствующие вертикальные распределения в работе не приводятся.

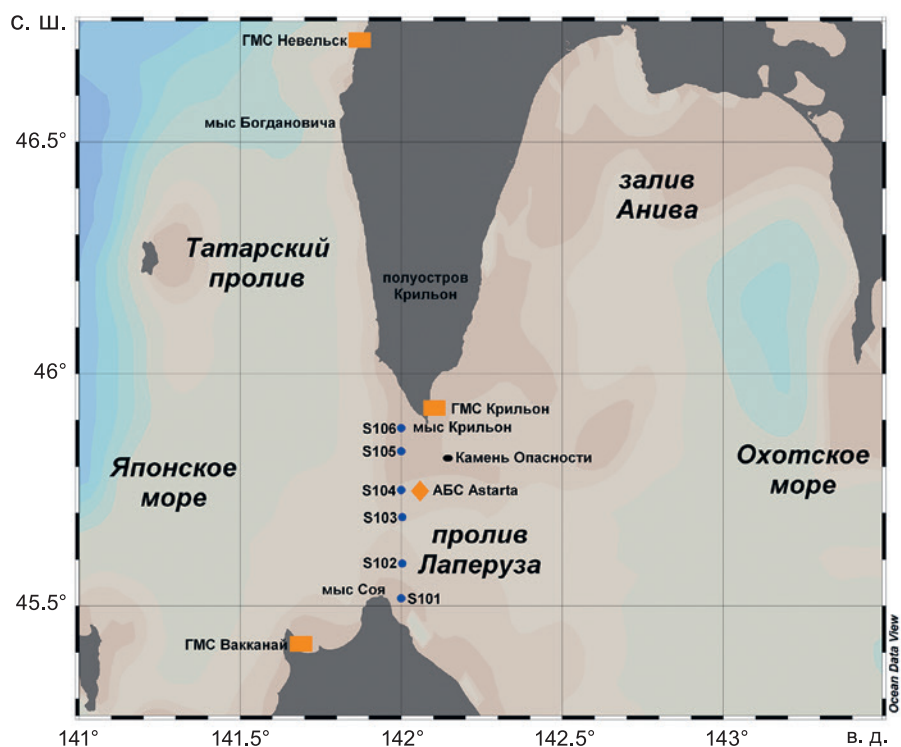


Рис. 1 – Схема станций стандартного океанологического разреза S1 (отмечены синими точками), береговых мареографных станций (оранжевые прямоугольники) и АБС «Астарта» (оранжевый ромб)

Использовались также ряды ежечасных наблюдений за уровнем моря за 1987 г., производившихся на трех береговых мареографах: Вакканай, Невельск и м. Крильон.

Расчет приливной составляющей выполнялся методом наименьших квадратов, определялись гармонические постоянные для 8 главных приливных волн, 4 суточного (Q1, O1, K1, P1) и 4 полусуточного (N2, M2, S2, K2) диапазона.

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 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 температурой поверхности моря (ТПМ) в районе пролива, полученные при помощи установленной в 1997 г. в Сахалинском филиале ВНИРО спутниковой приемной станции TeraScan. Подобрать удачные распределения ТПМ оказалось сложной задачей, так как изучаемый район часто закрыт плотной облачностью, в особенности это относится к холодному пятну у западного побережья полуострова Крильон. Вначале анализировался массив среднесуточных значений, выбирались даты, когда имелась качественная информация. Затем выбирались спутниковые снимки по пролетам различных спутников за эти сутки и определялось, на какую фазу прилива они попадали (данные по отдельным пролетам сохранились только за последние 10 лет).

### **Колебания уровня моря в районе пролива**

Чтобы лучше понять суть рассматриваемых явлений, обратимся вначале к рисунку 2а, на котором представлены средние месячные значения уровня моря за 1987 г. на трех мареографных станциях, расположенных вблизи пролива Лаперуза. Это станции Вакканай на севере о. Хоккайдо, Япония, а также м. Крильон с восточной и Невельск с западной стороны полуострова Крильон. Последний пункт находится на существенном удалении от пролива, но более близкого к нему на этом участке побережья не имелось. Ряды на каждой из них были приведены к нулевому среднему уровню, что обусловлено сложностью приведения данных к единой высотной основе (в частности, не было уверенности в точности привязки поста на м. Крильон к Балтийской системе 1977 г. и ее соотношения с принятой в Японии системой отсчета). Влияние данного фактора вряд ли существенно, в единой системе высот средний уровень на станции Невельск всего на 8 см выше, чем на станции м. Крильон. Последняя характеризует уровенный режим в заливе Анива Охотского моря (и сезонные, и приливные колебания уровня идентичны полученным по данным измерений в порту г. Корсаков в северной части залива и существенно отличаются от станций Японского моря).

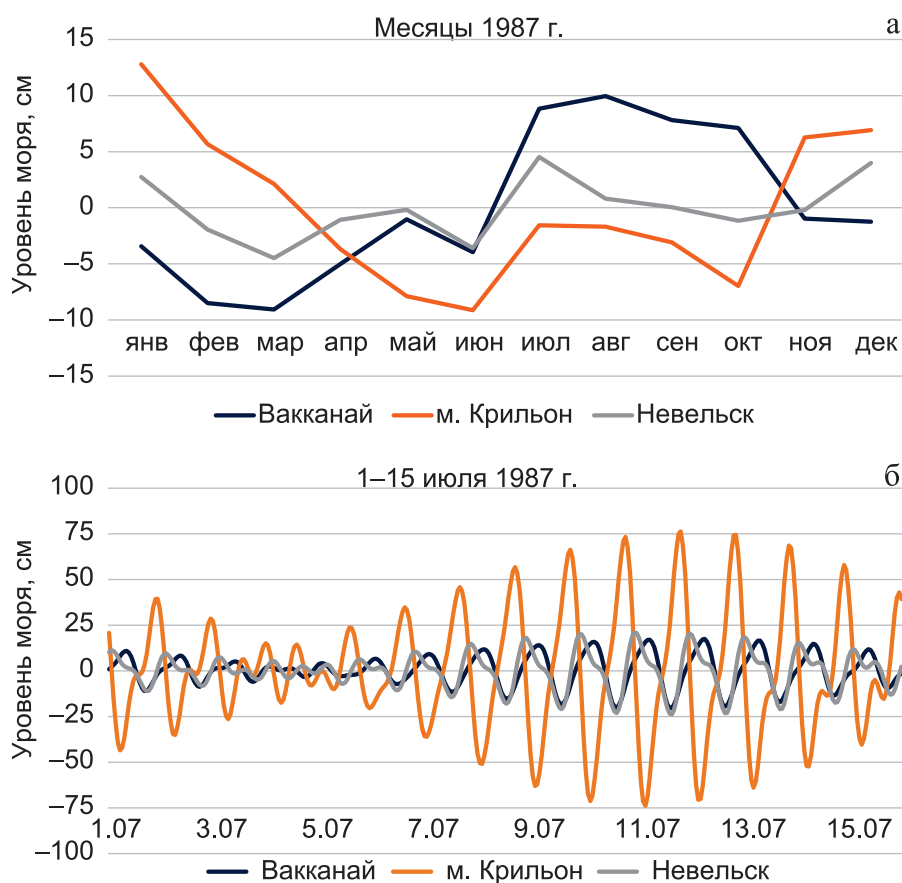


Рис. 2 – Вариации средних месячных значений уровня моря на станциях Вакканай, м. Крильон и Невельск в 1987 г.: а – приведены к нулевому среднему уровню; б – предвычисленного прилива с 1 по 15 июля 1987 г. на тех же станциях

Как следует из рисунка 2, и это согласуется с результатами предшествующих 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 близки. Таким образом, в соответствии с теорией С. О. Макарова, в теплый период наблюдается поток япономорской воды 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 воды (более холодной и менее соленой) вдоль берега полуострова Крильон 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 проливе и их влиянием на водообмен через него (Aota et al., 1998; Saveliev et al., 2002).

На рисунке 2 также 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  $O_1$  и  $K_1$  к сумме амплитуд полусуточных гармоник  $M_2$  и  $S_2$  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 по изучаемому отрезку 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 воды в северной части пролива в юго-восточную часть Татарского пролива. А на фазе отлива происходит существенное усиление затока япономорских вод 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 (ЗСТ), которое направлено в зону дивергенции Цусимского течения, разделяющегося вблизи пролива Лаперуза на две ветви, идущие на север и на восток (Kantakov, Shevchenko, 1999). Вода ЗСТ характеризуется низкими значениями температуры и высокими солености (Шевченко и др., 2018), примеры ее проявления в проливе Лаперуза будут рассмотрены ниже.

### **Распределения температуры и солености воды на фазе прилива**

Обратимся теперь к материалам океанологических съемок, выполненных на стандартном разрезе S1. Вначале рассмотрим результаты измерений, которые относились к теплому периоду года, как на фазе прилива, то есть когда приливная волна распространяется из Охотского моря в Японское, так и на отливе. В первом случае мы ожидали проявлений выноса более холодной и менее соленой охотоморской воды в юго-восточную часть Татарского пролива. Рассмотрим два характерных примера.

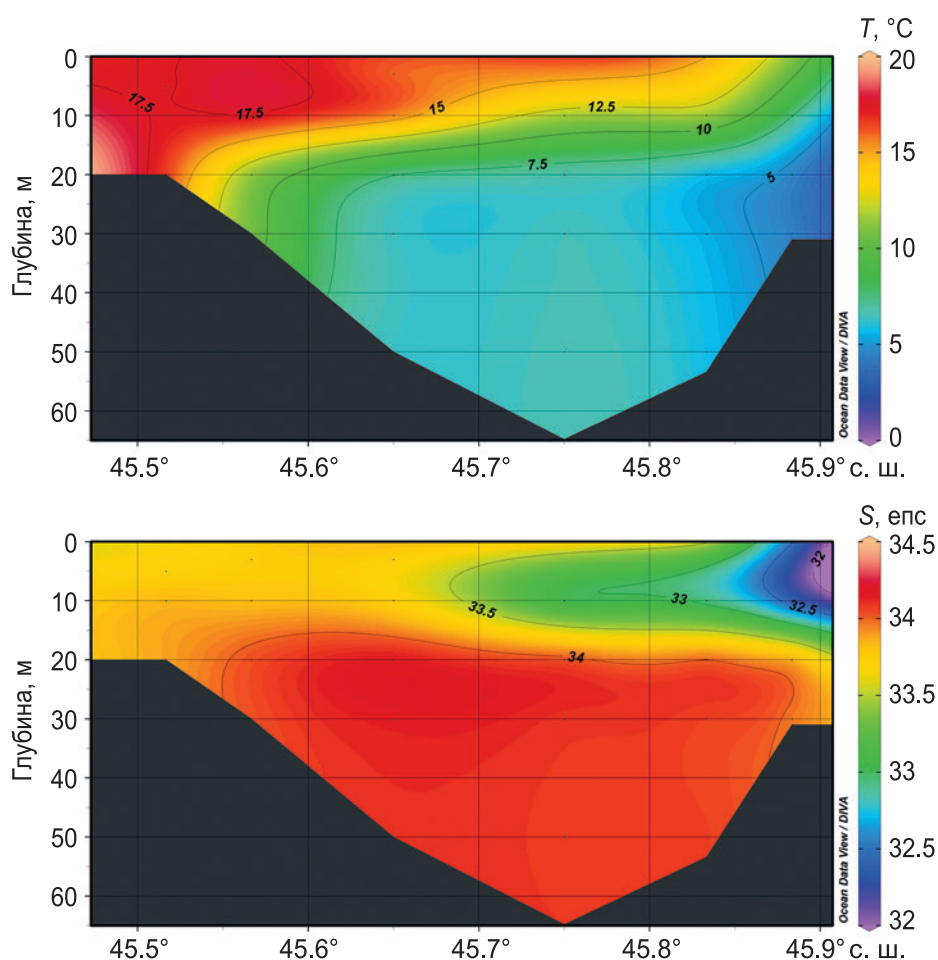


Рис. 3 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °С) и солёности (нижний, в епс) на разрезе S1 в июле 1997 г.

На рисунке 3 приведены вертикальные распределения температуры и солёности на этом разрезе в июле 1997 г. (сведения о скорости и направлении приливного течения в период проведения CTD-зондирований приведены ниже). Обращают внимание значительные различия в значениях океанологических параметров в северной и южной частях разреза. Так, температура вблизи м. Крильон составляла около 6 °С, а у м. Соя в три раза выше – 17–18 °С. Солёность на самой северной станции была также очень низкой, около 32 епс, в то время на юге максимальное значение достигало 33.8 епс. Аналогичные проявления более холодной и менее солёной охотоморской воды у северного края разреза S1 были выявлены и по другим съёмкам, выполненным на фазе прилива, в том числе только в российских водах. Подобное распределение океанологических элементов позволяет сделать вывод о наличии двух противоположно направленных потоков в проливе Лаперуза, хотя расчет геострофических потоков показал сравнительно небольшие значения скорости течения на запад вблизи м. Крильон (около 5 см/с в против 35 см/с у м. Соя). Это связано с тем, что вариации плотности морской воды вдоль разреза из-за различного влияния температуры и солёности сравнительно невелики, при этом важно,

что менее плотная вода в северной части охватывает слой толщиной около 10, а в южной – около 20 м.

Отметим, что океанологические зондирования выполнялись с разрывом двое суток, 29 июля на станциях 101–103 в южной и 31 июля на станциях 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, в первом – его скорость во время проведения измерений изменялась от 100 до 150 см/с, во втором – от 150 до 200 см/с. Эти различия не являются принципиальными, но осложняют интерпретацию полученных результатов.

Очевидно, что движение япономорской и охотоморской воды с различными океанологическими характеристиками под действием приливов существенно усложняет интерпретацию полученных в результате океанологических съемок распределений температуры и солености в проливе и прилегающих к нему акваториях, не позволяет определить картину квазистационарных сезонных потоков и получить представление о них в равновесном, невозмущенном приливами состоянии. Скорее всего, это возможно только при проведении съемки в период экваториальных приливов, когда их влияние минимально.

На рисунке 4 представлены вертикальные распределения температуры и солености, полученные в результате океанологической съемки 7 августа 1996 г. Вертикальные распределения океанологических параметров на стандартном разрезе S1 были в целом идентичны рассмотренным выше, хотя их изменения вдоль него не были монотонными. Так, минимальные значения температуры были отмечены не на северном краю разреза, а на станции S105 (около 8 °С). Максимальные значения солености, в отличие от большинства съемок, были зафиксированы не на самой южной станции, а на некотором удалении от берега Японии, на станции S102. Вероятно, эти особенности были обусловлены влиянием приливных течений, которые имели максимальную величину как раз в то время, когда производилось зондирование на станции S101 (около 2 м/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. По этой причине значения солености 32.6 епс отмечены только на прибрежной станции в тонком поверхностном слое, на других станциях российской части разреза они были сравнительно высокими. Уже на глубине 10 м наблюдалась холодная и соленая вода (менее 5 °С и около 34 епс). Расчет геострофических течений показал наличие узкого потока на запад со скоростью до 15 см/с на севере и широкого в центральной части пролива, там, где на рисунке 4 выделяется область более теплой воды, на восток (20–30 см/с).

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, соленость была примерно на 1.5 епс ниже, чем в южной, а температурные различия в поверхностном слое достигали 14 °С.



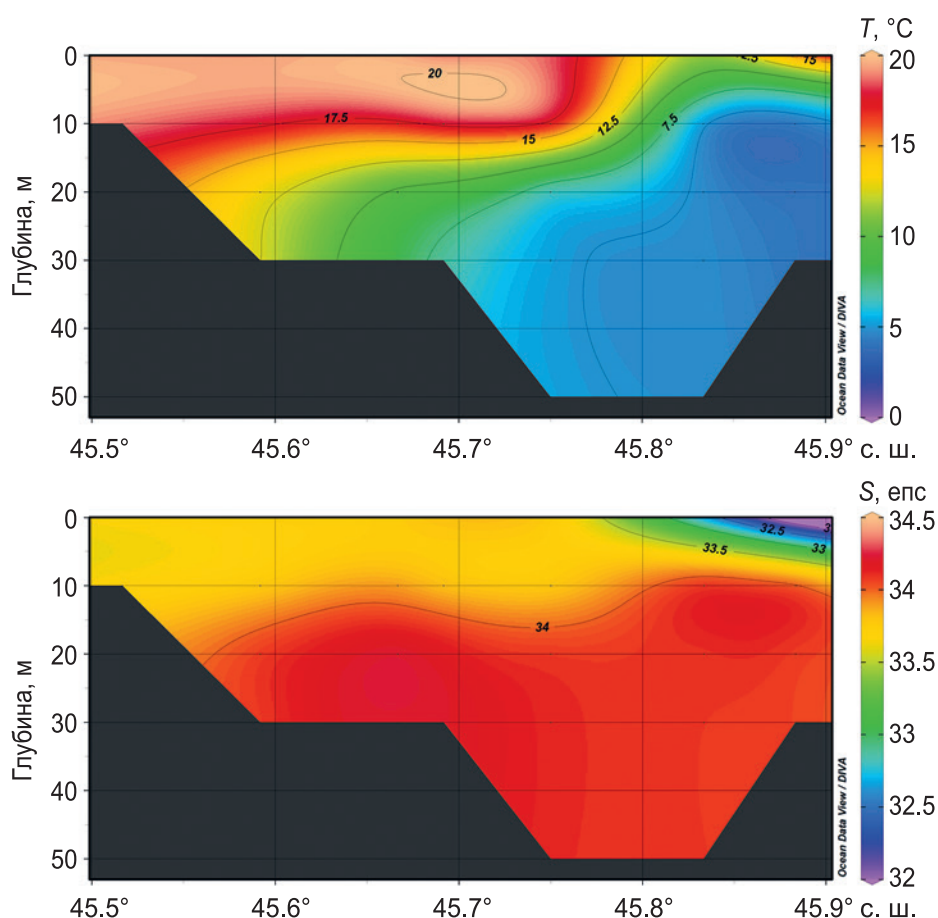


Рис. 4 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °С) и солёности (нижний, в eps) на разрезе S1 в августе 1996 г.

### Особенности гидрологических условий в проливе при отливе

Рассмотрим еще одну важную ситуацию, которая наблюдалась при выполнении океанологических зондирований на разрезе S1 12 июня 1996 г. Японские специалисты начали свои работы несколько раньше российских и выполнили станцию S103 до подхода НИС «Дмитрий Песков», на фазе ослабевавшего 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).

Распределение температуры морской воды (рисунок 5) в целом не так сильно отличается от рассмотренных выше при приливном потоке западного направления: в южной части разреза вода намного теплее (10–11°C), чем в северной (3–4 °С). Однако холодная вода распространена на большей, чем обычно, части разреза, и охватывает всю водную толщу, а не только ее верхнюю часть.

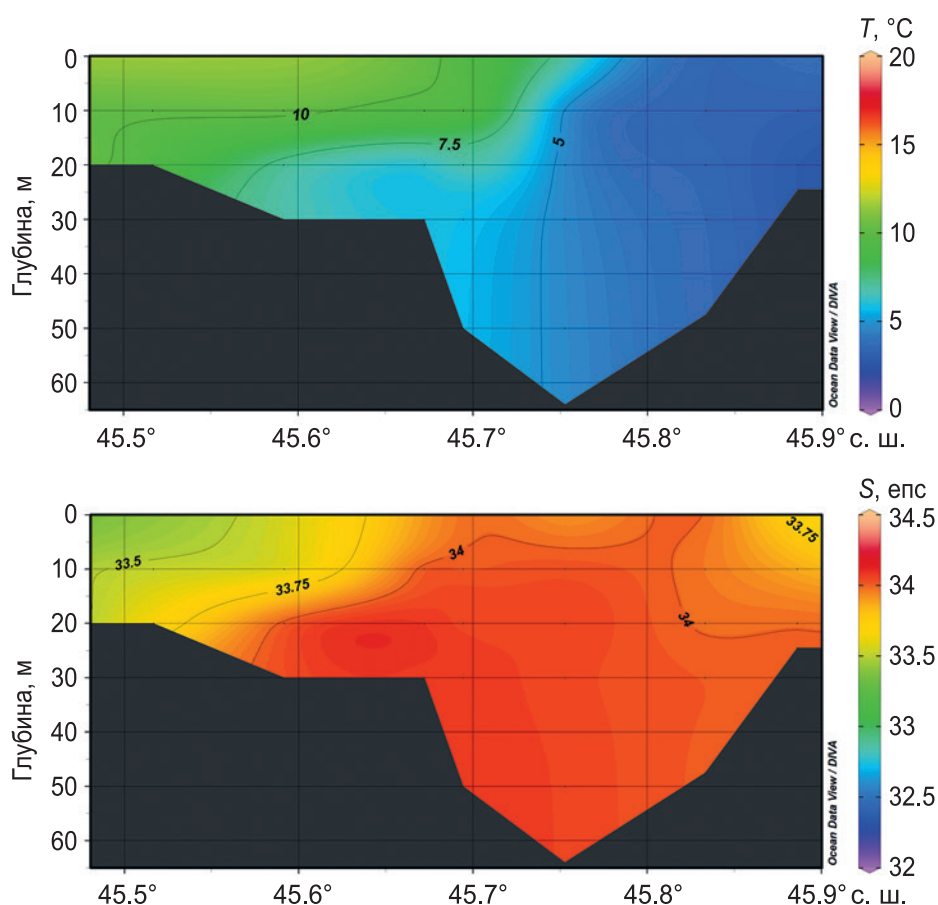


Рис. 5 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °С) и солёности (нижний, в eps) на разрезе S1 в июне 1996 г.

Солёность вблизи полуострова Крильон гораздо больше, чем в рассмотренных ранее случаях (33.7–33.9 eps), и превышает значения на станции S101 у мыса Соя, которая выполнялась на фазе слабеющего прилива (около 33.6 eps в верхнем 10-метровом слое). Такая солёная и холодная вода, которая отмечена в северной части пролива Лаперуза, характерна для Западно-Сахалинского течения, параметры которого анализировались в (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 солёности в юго-западной части залива Анива, диагностированные как интрузии вод япономорского происхождения течения (Будаева и др., 2005), связаны с затоками воды ЗСТ, которая распространяется параллельно северному берегу о. Хоккайдо, но на большем удалении от него (и ближе к заливу), чем теплое течение Соя. В указанной работе отмечено, что эти воды распространяются в заливе в придонном слое, что характерно для холодной воды с высокой солёностью.

## Распределения температуры и солёности в холодный период года

Как следует из рисунка 2, в холодный период года в Охотском море высота уровня поверхности больше, чем в Японском, поэтому должен существовать постоянный поток охотоморской воды 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 проведена 4 декабря 1996 г., 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. По большому счету, данную ситуацию можно отнести к случаям, когда гидрологические условия в проливе лишь в малой степени испытывают влияние прилива, а сформированы преимущественно факторами сезонного характера, что представляет особый интерес.

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 °С при солёности более 34 епс (рисунок 6).

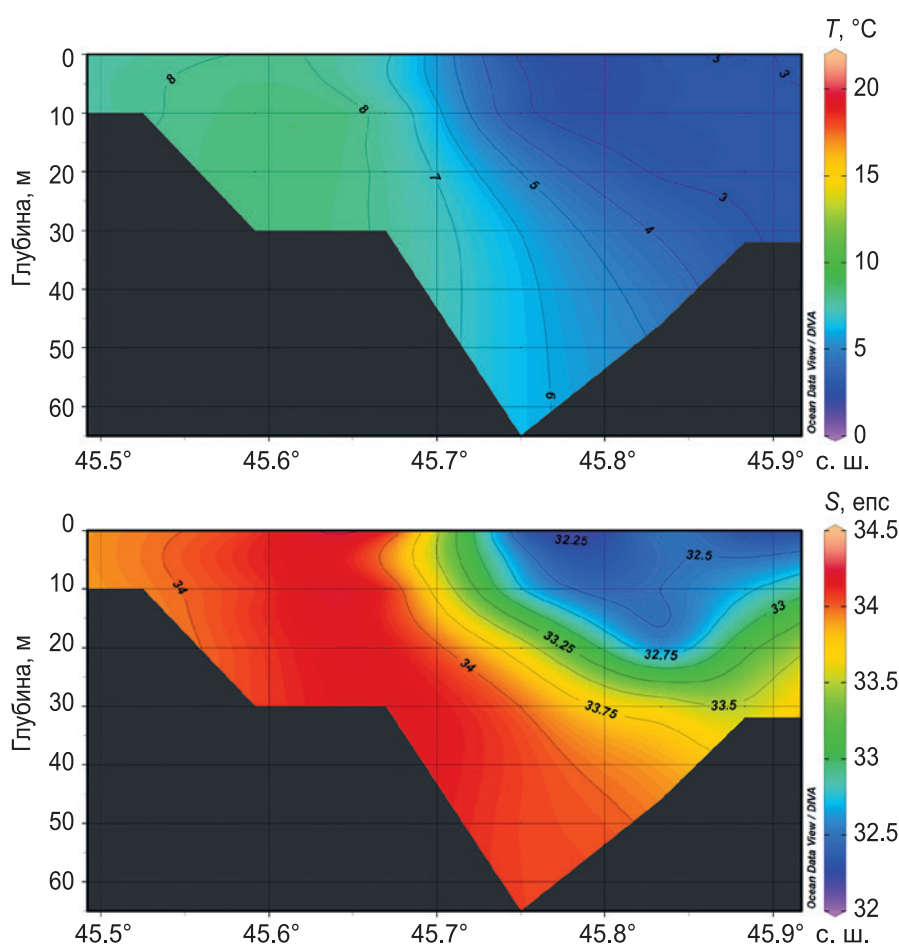


Рис. 6 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °С) и солёности (нижний, в епс) на разрезе S1 в декабре 1996 г.

В северной половине разреза на глубинах менее 25 м отмечена существенно более холодная (3–3.5 °С) и менее соленая вода (32.3–32.7 епс), что указывает на наличие постоянного потока охотоморской воды в Японское море вне зависимости от наличия или отсутствия приливного потока. В отличие от залива, обусловленного влиянием прилива, поток охотоморской воды в холодный период отмечен на протяжении от м. Крильон до середины разреза и в большей степени развит в глубину.

Второй пример основан на океанологической съемке, выполненной на разрезе S1 14 марта того же года. 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 приливное течение направлено против потока, обусловленного сезонными факторами.

Различия в термических условиях в северной и в южной частях разреза в период максимального выхолаживания не так велики, но они также имеют место: вблизи м. Крильон значения температуры морской воды отрицательные (минимум –1.4 °С), а у м. Соя около 3 °С. Вариации солености вдоль разреза более существенны, от 34 епс на юге до 32.3 епс на севере (рисунок 7).

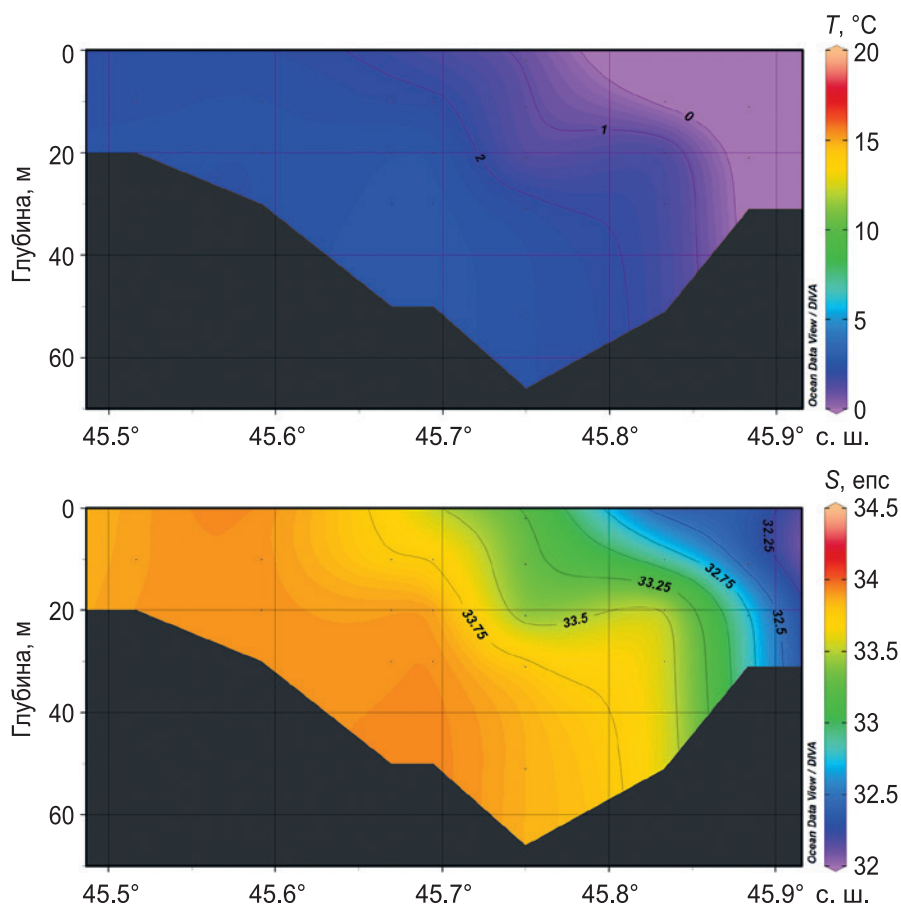


Рис. 7 – Вертикальные распределения температуры (верхний рисунок, в °С) и солености (нижний, в епс) на разрезе S1 в марте 1996 г.

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

### 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 8 представлены пространственные распределения ТПМ по пролетам ИСЗ над изучаемым районом в 3:02 и UTC 3 июля и 2:38 7 июля 2020 г. 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 2 м/с). 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.). Еще более холодная вода отмечена в северной части пролива, причем отчетливо видно, что она движется из юго-восточной части Татарского пролива, из зоны влияния Западно-Сахалинского течения. Возможно, сделанный в работе (Kantakov, Shevchenko, 1999) вывод о том, что ЗСТ отклоняется от побережья полуострова Крильон и ориентировано в зону дивергенции Цусимского течения, справедлив для фазы прилива, при отливе вода этого течения движется вдоль берега и непосредственно попадает в пролив и в Охотское море.

Наиболее холодная вода ( $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ ) 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 через пролив между полуостровом Крильон и упомянутой скалой. Если эта холодная вода характеризуется еще и высокой соленостью, то, вероятно, она опускается и распространяется в заливе в придонных слоях, что согласуется с результатами (Будаева и др., 2005).

Позднее, примерно через 5 часов (пролет ИСЗ был в 7:45 UTC), когда уже заканчивался отлив, 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 полуострова Крильон на фазе отлива. Зависимость величины пятна и контраста температуры в нем с окружающими водами было отмечено ранее в работе (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, изменения направления приливного потока произошло за 2 часа до этого, хотя его скорость быстро нарастала и уже превысила 1.5 м/с. Однако эту ситуацию можно, вероятно, отнести к случаям слабого влияния прилива, холодное пятно, начинающееся от скалы Камень опасности, тянется к мысу 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.

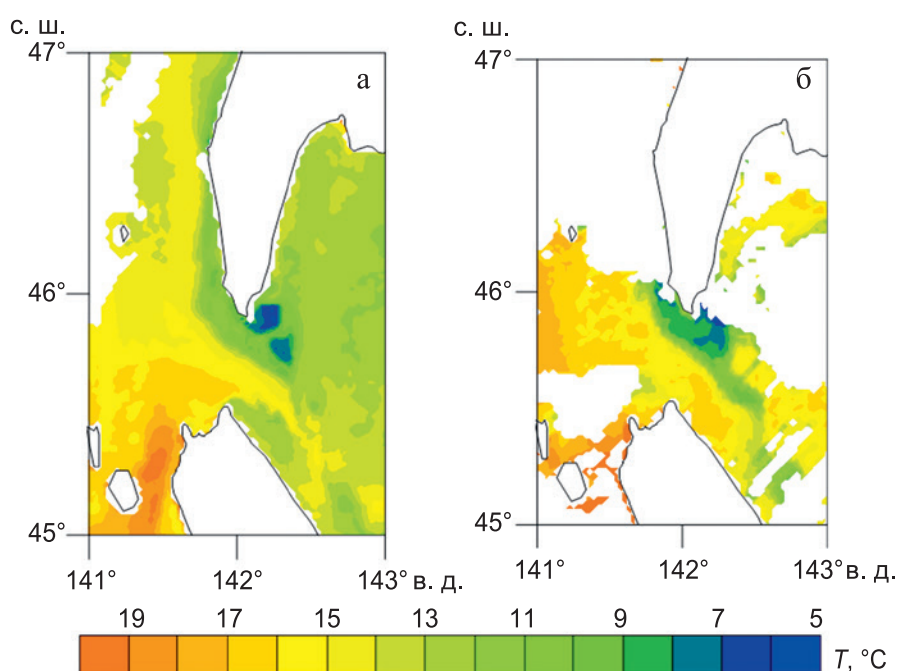


Рис. 8 – Пространственные распределения температуры поверхности моря (в °С) в районе пролива Лаперуза 3 июля в 3:02 UTC (а) и 7 июля в 2:48 UTC (б) 2020 г. по спутниковым данным

Рассмотрим теперь пространственные распределения среднесуточных ТПМ в осенний период 2003 г. и 2004 г., они представлены на рисунке 9 (данные по отдельным пролетам за эти годы не сохранились). В октябре еще уровень воды в Японском море выше, чем в Охотском, хотя различия уже сравнительно невелики, ситуация близка к равновесной. Из рисунка 9а следует, что зоны влияния теплой (14–15 °С) и холодной

(8–9 °С) воды четко разделяются, полоса холодной воды у западного побережья полуострова Крильон, теплая вода Цусимского течения отеснена 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 ЗСТ (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 в особенности на фазе отлива.

В третьей декаде ноября сезонный уклон уровня уже способствует формированию потока холодной охотоморской воды с низкой соленостью к западному побережью полуострова Крильон. Наблюдавшаяся картина пространственного распределения ТПМ 21 ноября 2004 г. (рисунок 9б) хорошо согласуется с этим представлением. Причем отчетливо видно, что охотоморская вода не распространяется севернее м. Богдановича, что согласуется с результатами работы (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.

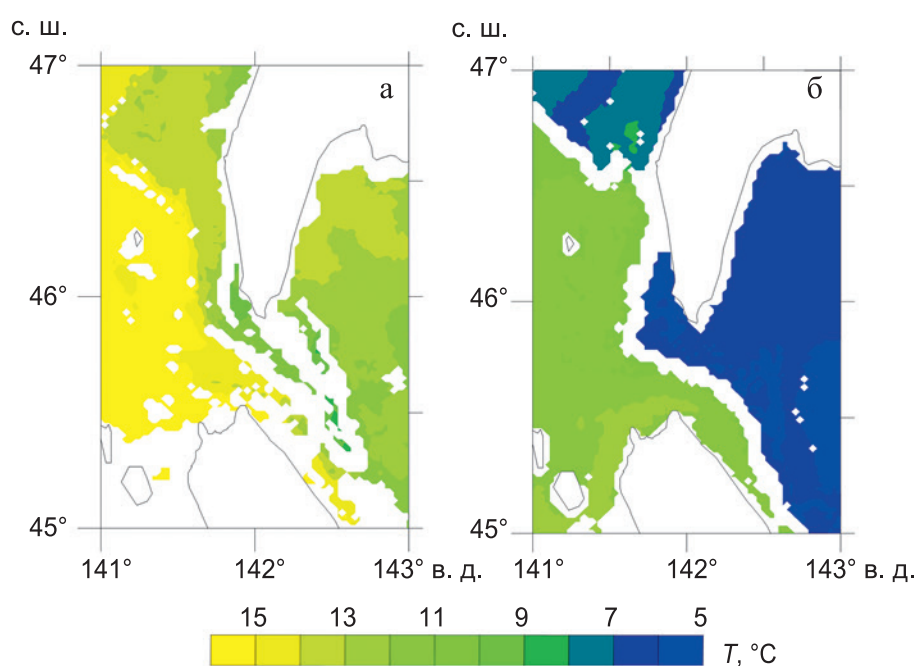


Рис. 9 – Пространственные распределения среднесуточной температуры поверхности моря (в °С) в районе пролива Лаперуза 8 октября 2003 г. (а) и 21 ноября 2004 г. (б) по спутниковым данным

### Заключение

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, 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 воды 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 вода более холодная, но с высокой соленостью, что отвечает характеристикам холодного Западно-Сахалинского течения, движущегося в сторону пролива вдоль западного побережья полуострова Крильон. 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 полуострова Крильон 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 в юго-западную часть залива Анива между полуостровом Крильон и скалой Камень Опасности. Распространение соленой воды япономорского происхождения в этом бассейне в придонном слое отмечалось ранее в (Будаева и др., 2005). Вероятно, холодная и соленая вода ЗСТ опускается в нижние слои водной толщи залива, вода в котором имеет более низкую соленость.

В холодный период года уровень воды выше в Охотском море, в северной части пролива Лаперуза формируется постоянный поток охотоморской воды 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 воды. Спутниковые распределения ТПМ показывают, что эта вода у западного побережья полуострова Крильон не распространяется севернее м. Богдановича, что согласуется с результатами работы (Шевченко и др., 2018).



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.

### Список литературы

1. Бобков А. А. Течение Соя и его ветви // Известия ВГО. 1989. Т. 121. С. 531–535.
2. Будаева В. Д., Макаров В. Г., Частиков В. Н. Результаты гидрологических исследований залива Анива в 2001–2003 гг. (структура и циркуляция вод) // Труды СахНИРО. Южно-Сахалинск, 2005. Т. 7. С. 83–110.
3. Веселова Л. Е. Некоторые особенности температурного режима вод у юго-западного побережья о. Сахалин // Труды ДВНИГМИ. 1963. Вып. 013. С. 42–63.
4. 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.
5. Леонов А. К. Водные массы Японского моря // Метеорология и гидрология. 1948. № 6. С. 61–78.
6. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. М: ГУНиО МО СССР, 2003. 425 с.
7. Макаров С. О. Гидрологические исследования, произведенные в 1895 и 1896 гг. в Лаперузовом проливе и других местах // Океанографические работы. М.: Географгиз., 1950. С. 263–275.
8. Пицальник 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.
9. Пицальник В. М., Архипкин В. С. Сезонная изменчивость термохалинной структуры вод пролива Лаперуза // Вестник МГУ. Серия 5 «География». 2000. № 5. С. 43–47.
10. 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.
11. 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. Южно-Сахалинск, 2005. Т. 7. С. 271–285.
12. Цхай Ж. Р., Шевченко Г. В. Сезонные колебания температуры поверхности моря в проливе Лаперуза по спутниковым наблюдениям 1998–2003 гг. // Труды СахНИРО. Южно-Сахалинск, 2005. Т. 7. С. 255–270.

13. 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.
14. Шевченко Г. В., Марыжихин В. Е., Частиков В. Н. Сезонные вариации морских гидрологических характеристик у юго-западного побережья острова Сахалин // Метеорология и гидрология. 2018. № 12. С. 98–105.
15. Шевченко Г. В., Марыжихин 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.
16. 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.
17. Bobkov A. A., Fux V. R. Tidal origin of thermohalinic anomalies in the La-Perouse Strait // 12-th International Symp. on Okhotsk Sea & Sea Ice. Mombetsu, Hokkaido, Japan., 1997. P. 242–247.
18. Dantchenkov M. A., Aubrey D., Riser S. Oceanographic features of La Perouse Strait // PICES Sci. Reports. 1999. No. 12. P. 159–171.
19. Ebuchi N., Fukamachi Y., Ohshima K. I., Shirasawa K., Ishikawa M., Takatsuka T., Daibo T., Wakatsuchi M. Observation of the Soya Warm Current using HF radar // J. Oceanogr., 2006. Vol. 62. P. 47–61.
20. Ebuchi N., Fukamachi Y., Ohshima K. I., Wakatsuchi M. Subinertial and seasonal variations in the Soya Warm Current revealed by HF radars, coastal tide gauges, and a bottom-mounted ADCP // J. Oceanogr., 2009. Vol. 65. P. 31–43.
21. Kantakov G. A., Shevchenko G. V. In situ observations of Tsushima and West-Sakhalin currents near La Perouse (Soya) Strait // PICES Sci. Reports. 1999. No. 12. P. 177–185.
22. Odamaki M. Tides and tidal currents along the Okhotsk Coast of Hokkaido // J. Oceanogr. Soc. Japan., 1994. Vol. 45. P. 65–82.
23. 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. No. 2. P. 147–152.
24. 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.
25. Uda M. Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in the Japan Sea and its adjacent waters during May – June 1932 // Recent oceanographical works in Japan. 1934. Vol. 6. No. 1. P. 19–107.

Статья поступила в редакцию 13.09.2024, одобрена к печати 16.10.2024.

**Для цитирования:** Шевченко Г. В., Марыжихин В. Е. Влияние прилива на водообмен через пролив Лаперуза // Океанологические исследования. 2024. № 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).

## THE EFFECT OF THE TIDE ON WATER EXCHANGE THROUGH THE LA PEROUSE STRAIT

G. V. Shevchenko<sup>1,2</sup>, V. E. Maryzhikhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,  
196, Komsomolskaya str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia;

<sup>2</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch  
of Russian Academy of Sciences,  
1B, Nauki str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia,  
e-mail: Shevchenko\_zhora@mail.ru

Based on the analysis of oceanographic survey materials on the standard section S1 and satellite information, important features of the influence of tidal currents on the formation of hydrological conditions in the La Perouse Strait and adjacent waters have been identified. It was revealed that in the warm season, when the seasonal flow is directed from the Sea of Japan to the Sea of Okhotsk (Soya Warm Current), at the high tide in the northern part of S1 section the cold water with low salinity is observed in the surface layer (the temperature may differ from the southern stations by 3 times, and the salinity by 2 psu). At low tide in the northern part of S1 the water is also cold, but with high salinity, which indicates the inflow of water from the West Sakhalin current into the Sea of Okhotsk. The temperature contrasts between the northern and southern parts of the Strait are also confirmed by satellite observations. During the cold season in the northern part of the strait, there is a flow of colder and less salty Okhotsk Sea water into the southeastern part of the Tatar Strait. It is wider and more developed in depth compared to the summer season. At low tide, when the tidal current is directed to the east, this flow narrows noticeably.

**Keywords:** La Perouse Strait, standard oceanological section, temperature, salinity, tide, sea level, Soya Warm current, West Sakhalin current

### References

1. Aota, M., I. Tanaka, A. Nakata, and H. Yagi, 1998: Gradient of sea level and currents in the Strait Soya. *13-th International Sym. on Okhotsk Sea & Sea ice. Abstracts*. Mombetsu, Hokkaido, Japan, 7–12.
2. Bobkov, A. A., 1989: Techenie Soya i ego vetvi (Soya current and its branches). *Izvestiya RGO*, **121**, 531–535.
3. Bobkov, A. A. and V. R. Fux, 1997: Tidal origin of thermohalinic anomalies in the La Perouse Strait. *12-th International Sym. on Okhotsk Sea & Sea ice. Abstracts*. Mombetsu, Hokkaido, Japan, 242–247.
4. Budaeva, V. D., V. G. Makarov, and V. N. Chastikov, 2005: Rezul'taty gidrologicheskikh issledovaniy zaliva Aniva v 2001–2003 gg. (struktura i cirkulyaciya vod) (The results of hydrological studies of the Aniva Bay in 2001–2003 (water structure and circulation)). *Trudy SahNIRO*, **7**, 83–110.
5. Dantchenkov, M. A., D. Aubrey, and S. Riser, 1999: Oceanographic features of La Perouse Strait. *PICES Sci. Reports*, **12**, 159–171.
6. Ebuchi, N., Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, K. Shirasawa, M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo, and M. Wakatsuchi, 2006: Observation of the Soya Warm Current using HF radar. *J. Oceanogr.*, **62**, 47–61.

7. Ebuchi, N., Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, and M. Wakatsuchi, 2009: Subinertial and seasonal variations in the Soya Warm Current revealed by HF radars, coastal tide gauges, and a bottom-mounted ADCP. *J. Oceanogr.*, **65**, 31–43.
8. Kantakov, G. A., and G. V. Shevchenko, 1999: *In situ* observations of Tsushima and West-Sakhalin currents near La Perouse (Soya) Strait. *PICES Sci. Reports*, **12**, 177–185.
9. Kantakov, G. A. and G. V. Shevchenko, 2001: Analiz neperiodicheskikh techenij v prolive Laperuza (Soya) v svyazi s izmeneniyami urovnya i vozdejstviem vetra (Analysis of residual currents in the La Perouse Strait (Soya Strait) in connection with changes in the sea level and the wind effects). *Dinamicheskie processy na shel'fe Sahalina i Kuril'skih ostrovov*. Yuzhno-Sahalinsk, IMGiG DVO RAN, 62–74.
10. Leonov, A. K., 1948: Vodnye massy Yaponskogo morya (Water masses of the Sea of Japan). *Meteorologiya i gidrologiya*, **6**, 61–78.
11. *Lociya Tatarskogo proliva, Amurskogo limana i proliva Laperuza (The lot of the Tatar Strait, the Amur Estuary and the La Perouse Strait)*. Moscow, GUNiO MO SSSR, 2003, 425 p.
12. Makarov, S. O., 1950: Gidrologicheskie issledovaniya, proizvedennye v 1895 i 1896 gg. v Laperuzovom prolive i drugih mestah (Hydrological studies carried out in 1895 and 1896 in the La Perouse Strait and other places). *Okeanograficheskie raboty*. Moscow, Geografiz, 263–275.
13. Odamaki, M., 1994: Tides and tidal currents along the Okhotsk Coast of Hokkaido. *J. Oceanogr.*, **45**, 65–82.
14. Pishchal'nik, V. M. and S. M. Klimov, 1991: *Katalog glubokovodnyh nablyudenij, vypolnennyh v shel'fovoj zone ostrova Sahalin za period 1948–1987 gg. (Catalog of deep-sea observations made in the offshore zone of Sakhalin Island during the period 1948–1987)*. Yuzhno-Sahalinsk, IMGiG DVO RAN, 166 p.
15. Pishchal'nik, V. M. and V. S. Arhipkin, 2000: Sezonnaya izmenchivost' termohalinnoj struktury vod proliva Laperuza (Seasonal variability of the thermohaline structure of the waters of the La Perouse Strait). *Vestnik MGU, Seriya 5 Geografiya*, **5**, 43–47.
16. Propp, L. N. and L. Yu. Gavrina, 2019: Sezonnnye variacii gidrologo-gidrohimicheskikh parametrov i hlorofilla-a v prolive Laperuza (Soya) i privileyushchih rajonah Ohotskogo i Yaponskogo morej v 1996–1997 gg. (Seasonal variations of hydrological and hydrochemical parameters and chlorophyll-a in the Laperouse Strait (Soy) and adjacent areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan in 1996–1997). *Trudy SahNIRO*, **15**, 243–279.
17. Romanov, A. A., O. S. Sedaeva, and G. V. Shevchenko, 2005: Prilivnye i sezonnye kolebaniya urovnya morya mezhdru ostrovami Sahalin i Hokkajdo po dannym sputnikovoj al'timetrii i beregovykh stancij (Tidal and seasonal fluctuations in sea level between Sakhalin and Hokkaido islands according to satellite altimetry and coastal stations data). *Trudy SahNIRO*, **7**, 271–285.
18. Saveliev, A. V., M. A. Danchenkov, and G. H. Hong, 2002: Volume transport through the La Perouse (Soya) Strait between the East Sea (Sea of Japan) and the Sea of Okhotsk. *Ocean and Polar Research*, **24** (2), 147–152.
19. Shevchenko, G. V., G. A. Kantakov, and V. N. Chastikov, 2005: Analiz dannyh instrumental'nyh izmerenij techenij v prolive Laperuza (Analysis of data from instrumental measurements of currents in the La Perouse Strait). *Izvestiya TINRO*, **140**, 203–227.
20. Shevchenko, G. V., V. N. Chastikov, and V. E. Maryzhihin, 2018: Sezonnnye variacii gidrologicheskikh harakteristik u yugo-zapadnogo poberezh'ya o. Sahalin (Seasonal variations of hydrological characteristics off the southwestern coast of Sakhalin Island). *Meteorologiya i gidrologiya*, **12**, 98–105.
21. Shevchenko, G. V., V. E. Maryzhihin, and V. N. Chastikov, 2023: Gidrologo-gidrohimicheskaya struktura vod v zone apvellinga u yugo-zapadnogo poberezh'ya o. Sahalin (Hydrological and

- hydrochemical water structure in the upwelling zone off the Southwestern coast of Sakhalin Island). *Journal of Oceanological Research*, **5** (11), 54–70.
22. Tanaka, I. and A. Nakata, 1999: Results of direct current measurements in the La Perouse Strait (the Soya Strait). *PICES Sci. Reports*, **12**, 173–176.
  23. Tshaj, Zh. R. and G. V. Shevchenko, 2005: Sezonnnye kolebaniya temperatury poverhnosti morya v prolive Laperuza po sputnikovym nablyudeniya 1998–2003 gg. (Seasonal fluctuations in sea surface temperature in the La Perouse Strait according to satellite observations 1998–2003). *Trudy SahNIRO*, **7**, 255–270.
  24. Uda, M., 1934: Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in the Japan Sea and its adjacent waters during May–June 1932. *Recent oceanographical works in Japan*, **6** (1), 19–107.
  25. Veselova, L. E., 1963: Nekotorye osobennosti temperaturnogo rezhima vod u yugo-zapadnogo poberezh'ya o. Sahalin (Some features of the temperature regime of the waters off the southwestern coast of Sakhalin I.). *Trudy DVNIGMI*, **013**, 42–63.

Submitted 13.09.2024, accepted 16.10.2024.

**For citation:** Shevchenko, G. V. and V. E. Maryzhikhin, 2024: The effect of the tide on water exchange through the La Perouse Strait. *Journal of Oceanological Research*, **52** (3), 95–115, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR2024.52\(3\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR2024.52(3).6).