

УДК 551.46.06+597.56

© А. А. Коник^{1*}, А. В. Зимин^{1,2}, О. А. Атаджанова^{1,3}, Е. И. Свергун¹, Д. А. Романенков¹, Е. В. Софьина^{1,4},
А. И. Варкентин^{1,5}, О. Б. Тепнин^{1,5}, Д. Я. Саушкина^{1,5}, 2024

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский проспект, д. 36, г. Москва

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Университетская наб., д. 7–9, г. Санкт-Петербург

³Морской гидрофизический институт, 299011, ул. Капитанская, д. 2, г. Севастополь

⁴Российский государственный гидрометеорологический университет, 192007, ул. Воронежская, д. 79,
г. Санкт-Петербург

⁵Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 683000, ул. Набережная, д. 18, г. Петропавловск-Камчатский
*konikrshu@gmail.com

ВНУТРИСУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИКРЫ МИНТАЯ В ГЛУБОКОВОДНЫХ КАНЬОНАХ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА: НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПЕРИОД НЕРЕСТА

Статья поступила в редакцию 23.09.2024, после доработки 01.11.2024, принята в печать 16.11.2024

Аннотация

На шельфе и континентальном склоне Тихого океана вдоль полуострова Камчатка приливная динамика является значимым, но недостаточно изученным фактором формирования изменчивости гидрологической структуры вод. Эта изменчивость влияет на распределение ранних стадий развития важнейшего объекта отечественного промысла — восточнокамчатскую популяцию минтая, основной нерест которого происходит в глубоководных каньонах Авачинского и Кроноцкого заливов. Целью статьи является описание особенностей разработанной методики натурального эксперимента по изучению влияния гидрофизических процессов, обусловленных приливом, на распределение икры минтая и краткое представление ее применения в рамках экспедиционных работ в глубоководных каньонах Авачинского залива. В рамках исследования были проведены два специализированных эксперимента в «Центральном» и «Северном» каньонах в апреле 2024 г. в сроки, близкие к пику нереста минтая. Даты выполнения измерений выбирались в период сизигийного прилива, когда влияние приливной динамики на характеристики среды максимально. Методика экспериментальной работы основывалась на учащенных гидрологических измерениях и послонных обловах ихтиопланктона, выполнявшихся в разные фазы прилива за период более суток. В работе представлены результаты профилирования в привязке к данным моделирования приливной динамики. Установлено, что амплитуда колебания глубоководного термоклина между теплым и холодным промежуточными слоями, залегающего на глубине 320–420 м, составляет около 50 м и имеет выраженный суточный период — в «Центральном» каньоне — и полусуточный — в «Северном» каньоне. По данным измерений описана изменчивость распределения икры минтая в зависимости от колебания термоклина. Представленные результаты показывают значимость приливной ритмики в изменчивости гидрофизических процессов, которые потенциально влияют на перемещения икры и её развитие в глубоководных каньонах Авачинского залива.

Ключевые слова: вертикальная структура вод, прилив, внутренние приливные волны, распределение икры минтая, районы глубоководного нереста, каньоны Авачинского залива, Тихий океан, FESOM-c

UDC 551.46.06+597.56

© А. А. Коник^{1*}, А. В. Зимин^{1,2}, О. А. Atadzhanova^{1,3}, Е. И. Svergun¹, Д. А. Romanenkov¹, Е. В. Sofina^{1,4}, А. И. Varkentin^{1,5},
О. Б. Тепнин^{1,5}, Д. Я. Saushkina^{1,5}, 2024

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36 Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia

²St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaja Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

³Marine Hydrophysical Institute, 2 Kapitanskaja Str., Sevastopol, 299011, Russia

⁴Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaja Str., St. Petersburg, 192007, Russia

Ссылка для цитирования: Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Свергун Е.И., Романенков Д.А., Софьина Е.В., Варкентин А.И., Тепнин О.Б., Саушкина Д.Я. Внутрисуточная изменчивость вертикальной структуры вод и распределения икры минтая в глубоководных каньонах Авачинского залива: натуральный эксперимент в период нереста // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2024. Т. 17, № 4. С. 77–89. doi:10.59887/2073-6673.2024.17(4)-6

For citation: Konik A.A., Zimin A.V., Atadzhanova O.A., Svergun E.I., Romanenkov D.A., Sofina E.V., Varkentin A.I., Tepnin O.B., Saushkina D. Ja. Intra-Day Variability of Vertical Water Structure and Distributions Walleye Pollock Eggs in the Deep-Sea Canyons of Avacha Bay: A Field Experiment During the Spawning Period. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2024;17(4):77–89. doi:10.59887/2073-6673.2024.17(4)-6

⁵Kamchatka branch of “Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography” (“KamchatNIRO”), 18 Naberezhnaja Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia
*konikrshu@gmail.com

INTRA-DAY VARIABILITY OF VERTICAL WATER STRUCTURE AND DISTRIBUTIONS WALLEYE POLLOCK EGGS IN THE DEEP-SEA CANYONS OF AVACHA BAY: A FIELD EXPERIMENT DURING THE SPAWNING PERIOD

Received 23.09.2024, Revised 01.11.2024, Accepted 16.11.2024

Abstract

Tidal dynamics along the shelf break and continental slope of the Kamchatka Peninsula, adjacent to the Pacific Ocean, are a significant but underexplored factor influencing the hydrological variability. This variability affects the distribution of early life stages of the Eastern Kamchatka population of Walleye pollock, a key species for Russian fisheries. Its spawning occurs mainly in the deep-sea canyons of Avacha and Kronotsky Bays. This study aims to describe the methodology developed to investigate the impact of tidally driven hydrophysical processes on pollock egg distribution, with a focus on its application in the deep-sea canyons of Avacha Bay. Two experiments were conducted in the "Central" and "Northern" canyons during the peak of pollock spawning in April 2024, coinciding with the spring tide when tidal effect on the environment is maximized. The experimental methodology was based on frequent hydrological profiling and layer-by-layer sampling of ichthyoplankton, carried out over a day. The study identified a 50-meter amplitudes of vertical oscillation of the thermocline, located at 320–420 meter between warm and cold intermediate layers, with a distinct diurnal rhythm in the "Central" canyon and semidiurnal one in the "Northern" canyon. These results highlight the critical role of tidal dynamics in shaping hydrophysical variability, which in turn potentially affects pollock eggs vertical redistribution and development in the deep-sea canyons of Avacha Bay.

Ключевые слова: vertical water structure, tides, internal tidal waves, distribution of pollock eggs, deep-sea spawning areas, canyons of Avacha Bay, Pacific Ocean, FESOM-c

1. Введение

Минтай (*Gadus chalcogrammus*) является одним из ключевых пелагических видов экосистемы северной части Тихого океана и важным объектом отечественного и мирового рыболовства. По общему мировому вылову минтай уступает только перуанскому анчоусу [1]. В тихоокеанских водах, прилегающих к Камчатскому полуострову, обитает одна из крупных популяций этого вида — восточнокамчатская [2]. Одним из ключевых районов размножения данной популяции являются глубоководные каньоны Авачинского залива. Основное икрометание минтая в каньонах происходит глубже 300 м и является адаптацией к комплексу квазистационарных гидрологических условий, формирующихся на этих локальных участках. Здесь же происходит стагнация макропланктона, который является пищей личинок минтая при переходе их на экзогенное питание [3]. Из икринок, выметанных в каньонах, предличинки выклеваются в горизонте около 180 м [4]. По мере дальнейшего развития, они всплывают в поверхностные слои, где выходят из-под защищающего действия каньонов и попадают под влияние течений. При благоприятном направлении течений, они либо остаются в системе каньона, либо выносятся в шельфовую зону [5]. Неблагоприятным считается вынос личинок в открытую часть океана.

Развитие и выживаемость ранних стадий развития минтая во многом зависит от особенностей термодинамических условий среды [6]. Они формируются под влиянием степени «суровости» предшествовавшего осенне-зимнего выхолаживания, которое определяет интенсивность развития вертикального перемешивания; структуры основной струи холодного Камчатского течения; особенностей текущего весеннего прогрева и ветрового перемешивания. Комбинация перечисленных процессов в апреле на акватории формирует трехслойную структуру вод: тонкий слой весеннего прогрева (2–3 °C) толщиной несколько метров, ниже холодный промежуточный слой (ХПС) с аномально низкими значениями температуры (до –1 °C) толщиной до 400 м и еще глубже теплый промежуточный слой (ТПС) с температурой в ядре 3–3,2 °C и толщиной порядка 100–150 м. При этом основной нерест происходит именно в области границы ХПС и ТПС на глубинах 200–500 м [4]. Граница между слоями отличается значительной межгодовой, сезонной и короткопериодной изменчивостью. Так, по результатам суточных наблюдений, выполненных в 2006 г. в одном из глубоководных каньонов Авачинского залива, показано, что область термоклина между этими слоями совершала вертикальные перемещения с амплитудой 50 м и периодом около полусуток. Это дало основание авторам выдвинуть гипотезу о том, что эти относительно короткопериодные колебания термоклина, вероятно связанные с внутренними волнами, могут влиять на перемещения икры минтая. Вертикальные смещения могут быть критичны для ранних стадий рыб. Можно предположить, что подъем (опускание) икры на несколько десятков метров за несколько часов может напрямую сказываться на увеличении ее смертности.

Исследованию влияния внутренних, в том числе приливных, волн на перераспределение ихтиопланктона посвящен ряд немногочисленных работ. В 1982 г. путем использования трассеров, размещавшихся в областях поверхностных проявлений внутренних волн, была продемонстрирована возможность их влияния на перенос планктона [7]. Хотя поверхностные трассеры иногда не показывали чистого горизонтального смещения, в других случаях они смещались на 1–2 км к берегу за несколько часов. В 2009 г. на основе тралово-акустических съемок, было показано влияние приливных колебаний на распределение ихтиопланктона и взрослых особей рыб, обитающих на мелководной отмели недалеко от залива Мен в Атлантическом океане [8]. С тех пор был проведен целый ряд полевых экспериментов и также модельных расчетов, сведения о которых обобщены в [9]. Это позволило установить, что внутренние волны влияют на локальную среду обитания прибрежных морских организмов: либо путем их вертикального перемещения, либо путем адвекции вод с различными свойствами. Направление и величина переноса, испытываемого пассивными плавающими организмами во внутренних волнах, зависят от глубины и способности к вертикальной миграции. Стоит отметить, что линейные внутренние волны сами по себе не вызовут значительного переноса организмов, скорее всего, они будут способствовать их попаданию в зону действия течений, осуществляющих их вынос за пределы благоприятных зон для развития икры и личинок. Согласно исследованиям [10], постоянная полусуточная внутренняя приливная волна, наблюдаемая в верхней части подводного каньона залива Монтерей, приводит к регулярным внутренним борам и забросам холодных субтермоклинных и богатых питательными веществами вод на прилегающий шельф, тем самым подпитывая здесь первичную продукцию. Эти же перемещающиеся гидравлические скачки (внутренние боры) могут транспортировать личинки пелагических рыб за пределы каньона. Однако в Авачинском заливе широко распространены нелинейные (короткопериодные) внутренние волны [11], которые в отличие от линейных могут приводить к значительным горизонтальным переносам пассивных частиц. Сведения об их постоянном присутствии на акватории были получены по данным контактных наблюдений [12], выполненных как в глубоководной части залива, так и на шельфе у мыса Шипунский. Представление о характеристиках нелинейных внутренних волн и их постоянном присутствии на акватории были расширены по результатам круглогодичных спутниковых наблюдений [13]. При этом, как показано в [14], наиболее вероятный механизм генерации нелинейных внутренних волн связан с трансформацией внутреннего прилива. Этот вывод косвенно подтверждает предположение о потенциальной возможности значимого влияния гидрологических процессов, обусловленных приливом, на распределение икры минтая в глубоководных каньонах. Предполагается, что в результате этих процессов икра может попадать в неблагоприятные для ее развития условия, вследствие чего может отмечаться её повышенная смертность. Убыль икры минтая варьируется как по отдельным каньонам Авачинского залива, так и по годам [15]. Соответственно, исследование локальных динамических факторов, влияющих на распределение минтая на ранних этапах развития, является одной из приоритетных задач по выяснению механизмов, влияющих на формирование урожайности поколений этого вида.

Для проверки данной гипотезы необходимо проведение комплексного эксперимента, сочетающего одновременные учащенные гидрологические и ихтиологические исследования. Методическая основа эксперимента должна учитывать специфику работы на континентальном склоне в океане в районе с крайне сложными гидрометеорологическими условиями, позволяя, с одной стороны, охватывать наблюдениями значительные глубины, а с другой — получать детальные сведения об изменчивости гидрофизических полей и планктонных сообществ на небольших пространственно-временных масштабах. Отметим, что используемые в настоящее время в практике промысловой океанографии подходы [6, 16] ориентированы главным образом на слежение за изменчивостью большего масштаба, чем те, о которых говорилось выше. Изменчивость, связанная с приливом, остается вне поля подобных исследований.

Поэтому цель данной работы описать особенности разработанной методики натурального эксперимента по изучению влияния гидрофизических процессов, обусловленных приливом, на распределение икры минтая и кратко представить предварительные результаты работ в каньонах Авачинского залива, выполненных в апреле 2024 г.

2. Методика натурального эксперимента

Основная задача натурального эксперимента в Авачинском заливе заключалась в сборе гидрологической и ихтиологической информации с использованием стандартных приборов при минимальных затратах судового времени, анализ которой служит как для задач стандартного рыбохозяйственного мониторинга, так и для получения количественных оценок короткопериодной (внутрисуточной) изменчивости вертикальной структуры термохалинных полей и распределения ранних стадий развития минтая в период нереста с привязкой к особенностям приливного цикла.

Эпицентры размножения минтая в Авачинском заливе расположены в глубоководных каньонах, в т. ч. в так называемом «Северном» и «Центральном» каньонах (см. рис. 1, а). В последние 20 лет здесь, по возможности, в течение всего периода размножения в весенние месяцы специалистами КамчатНИРО проводятся работы на мониторинговых станциях, расположенных в вершинах каньонов [6]. Положение этих станций и определило районы проведения натурного эксперимента.

Время работ в области каньонов определялось заранее, как с учетом сроков массового нереста минтая (апрель), так и в предположении значимой роли приливных процессов. Приливная динамика в Авачинском заливе оценивалась по результатам модельных (региональная модель FESOM-c) расчетов на вычислительной сетке высокого пространственного разрешения [17], которые показали ранее хорошую точность при сравнении с данными мареографных наблюдений. Результаты моделирования также обнаружили значимые различия расчетных приливных течений от оценок из глобальных моделей. Соответственно даты выполнения эксперимента в пределах интервала ожидаемого нереста выбирались в период сизигийного прилива, когда влияние приливной динамики на характеристики среды максимально (см. рис. 1, б).

Сами работы разделялись на четыре этапа. На первом и четвертом этапах выполнялись стандартные (мониторинговые) исследования: профилирование термохалинных параметров, облов ихтиопланктона от 500 м до поверхности и затем послойный облов для горизонтов: 0–25, 25–50, 50–100, 100–200, 200–300, 300–400, 400–500 м. На втором этапе оценивались особенности гидрологической структуры вод по

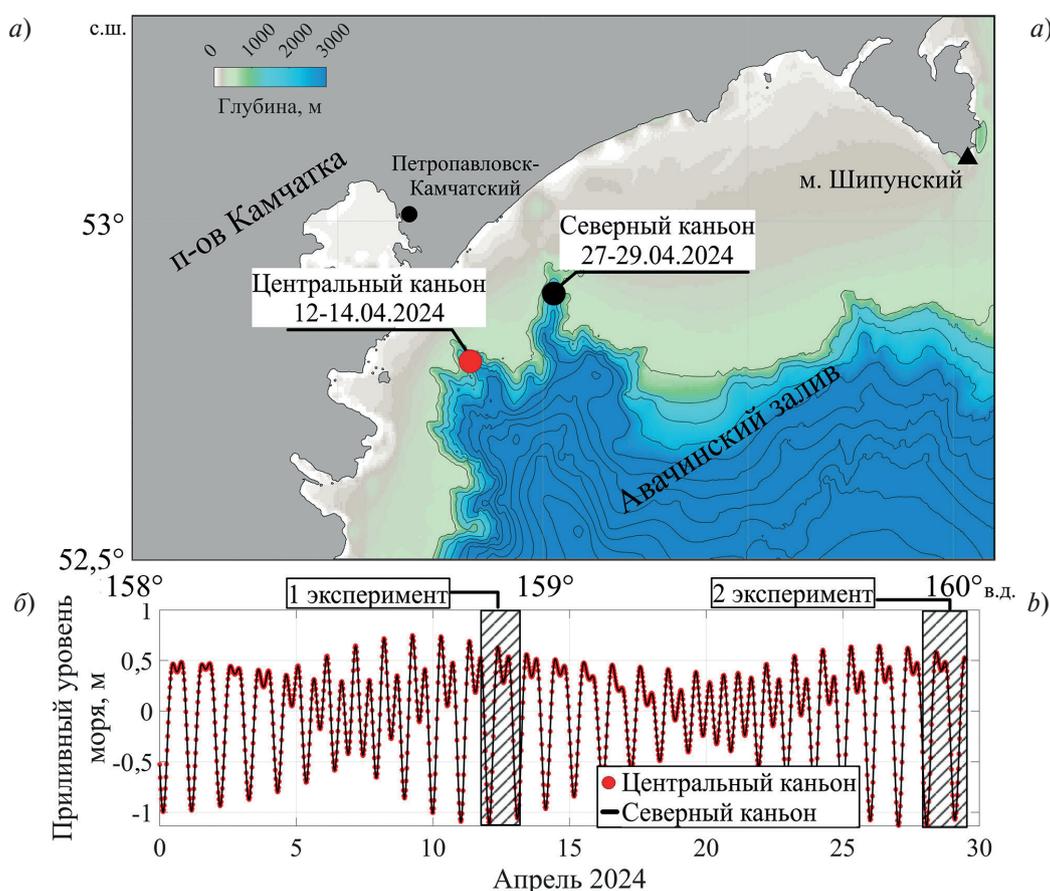


Рис. 1. Батиметрическая карта Авачинского залива, красной и черной точками указаны положения «Центрального» и «Северного» каньонов с датами проведения натурных экспериментов (а); в этих точках — приливные колебания уровня моря по модели FESOM-c [17] в апреле 2024 г. Заштрихованные области соответствуют периодам экспериментов в «Центральном» (1 эксперимент) и «Северном» (2 эксперимент) каньонах (б)

Fig. 1. Bathymetric map of Avacha Bay, red and black dots indicate the positions of the “Central” and “Northern” canyons with the dates of in-situ experiments (a); tidal sea level heights according to the FESOM-c model [17] are provided at these dates in April 2024. The shaded areas in Figure 1b correspond to the periods of experiments in the “Central” (1st experiment) and “Northern” (2nd experiment) canyons (b)

вертикальному профилю температуры, определялась граница между ХПС и ТПС, а по профилю частоты Вайселя-Брента решалась задача Штурма-Лиувилля [18] для определения положения максимумов вертикальных скоростей первой и второй мод внутренней волны и вертикального распределения ранних стадий развития минтая (по послойным обловам определяются горизонты с максимальным количеством икры). На основании полученных оценок выбирались горизонты для учащенных обловов икры. На третьем этапе продолжительностью не менее суток выполнялись учащенные комплексные станции, включающие гидрологические измерения и обловы ихтиопланктона на выбранных горизонтах с дискретностью по времени два часа. Работы производились в одних и тех же координатах для каждого каньона над глубиной 550 м. По результатам этих измерений оценивались внутрисуточная изменчивость положения границы ХПС — ТПС и количества икры на выбранных горизонтах.

Профилирование температуры и солёности производилось STD-зондом типа STD-48 (Sea Sun Technology, Германия) с шагом по глубине не менее 0,5 м. Обловы выполнялись ихтиопланктонной конической сетью ИКС-80 со скоростью подъёма 0,5 м/с. Использовался газ № 14. Полученные пробы планктона фиксировались в 4 % растворе формальдегида для последующей камеральной обработки в лабораторных условиях. В лаборатории из общей массы планктона отделялся ихтиопланктон, определялся его видовой состав с акцентом на ранние стадии развития минтая, подсчитывалось количество икринок, определялись стадии развития икры по шкале Д. Блад с соавторами [19]. Стадия 1 по этой шкале при температуре воды 1–2 °С (средняя температура воды, при которой происходит развитие икры в каньонах Авачинского залива) соответствует возрасту икринок примерно 3 ч.

3. Особенности проведения работ

Экспедиционные работы в вершине «Центрального» каньона выполнялись с 12 по 14 апреля, «Северного» — с 27 по 29 апреля 2024 г. с борта НИС МРТК «Инженер Мартынов» (КамчатНИРО). В обоих случаях время экспериментов удалось совместить с периодом максимумов приливов в сизигийно-квадратурном цикле (рис. 1, б). Все работы выполнялись согласно описанным выше методикам. В ходе каждого эксперимента сделано по 17 комплексных (гидрологических и ихтиопланктонных) станций. Единственным отклонением от программы работ из-за навигационных предписаний была отмена повторного послойного облова на горизонтах 0–200 м в «Северном» каньоне. Далее рассмотрим преимущественно результаты гидрологических наблюдений, а результаты послойных обловов подробно будут рассмотрены в последующих работах.

В периоды проведения экспериментов погодные условия были сложными. Во время работ в вершине «Центрального» каньона синоптические условия обуславливались малоградиентным барическим полем, сильных ветров не отмечалось. Однако в районе работ наблюдались волны зыби высотой до 0,7 м, пришедшие со стороны открытого океана. Во время работ в «Северном» каньоне атмосферные процессы формировались под влиянием приближения крупного циклона. Преобладала пасмурная погода с осадками в виде мокрого снега и дождя. Ветер и волнение постоянно усиливались. К концу работ высота волн достигла 1 м.

Результаты профилирования температуры и солёности на первом этапе экспериментов, выполненных в «Центральном» и «Северном» каньонах, представлены на рис. 2.

В «Центральном» каньоне (рис. 2, а) у поверхности отмечался тонкий слой прогретых и распресненных вод. Под ним до глубины 320 м залегали относительно холодные воды (ХПС). При этом абсолютный минимум температуры наблюдался в слое 10–20 м и составлял 0,4 °С. Глубже в ХПС наблюдался монотонный рост как температуры (до 1,2 °С), так и солёности (до 33,2 psu). Далее следовала область толщиной около 100 м, где градиент температуры возрос в среднем до 2 °С/100 м, а ниже 400 м залегали теплые воды ТПС (выше 3 °С). Модовый анализ (рис. 2, в) показал наличие максимума вертикальных скоростей для первой моды внутренних волн на горизонте 320 м. По результатам выполненных 12 апреля послойных обловов, подробное обсуждение которых будет представлено в последующих работах, более двух третей всех икринок находилось в слое выше 300 м, а максимальное количество икры (46,2 %) учтено в горизонте 200–300 м. Поэтому для суточных послойных обловов в рамках третьего этапа эксперимента в «Центральном» каньоне были выбраны горизонты 250–300 и 300–350 м.

В «Северном» каньоне (рис. 2, б) на поверхности наблюдался более мощный тёплый (около 2 °С) и относительно пресный слой (31,9 psu). Ниже отмечался ХПС с ядром на уровне 100 м и температурой ниже 1 °С. С глубиной температура (как и солёность) в данном слое медленно возрастала, достигая на глубине 400 м около 1 °С (33,1 psu). Далее наблюдался резкий рост температуры и солёности — слой скачка между ХПС и ТПС. Он прослеживался до глубины 420 м. Наиболее ярко граница между ХПС и ТПС была выражена на горизонтах от 400 до 420 м. Ниже температура достигала более 2,5 °С, а солёность — 33,5 psu. Модовый

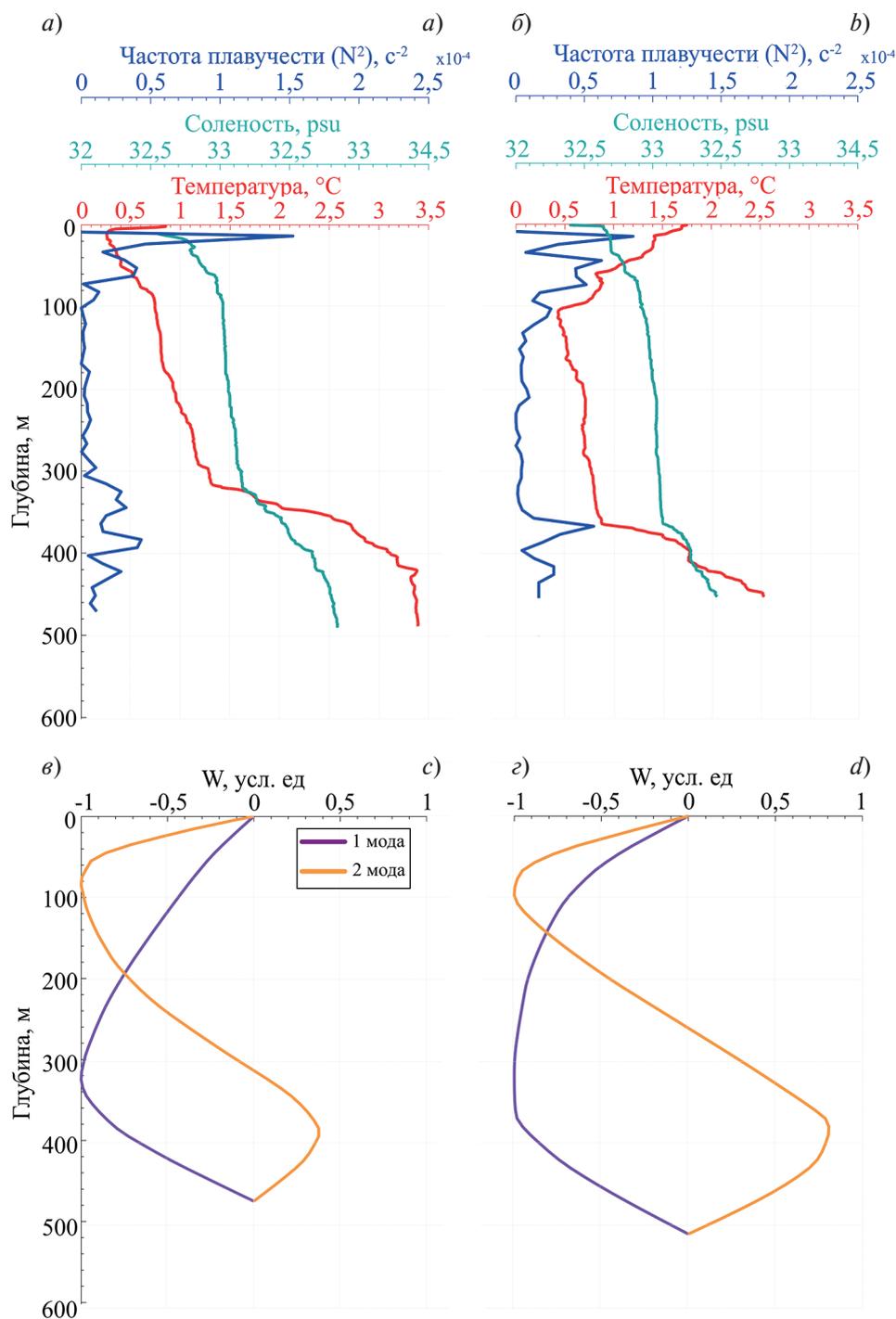


Рис. 2. Вертикальная изменчивость температуры и солёности морской воды и частоты плавучести для «Центрального» (а) и «Северного» каньонов (б) Авачинского залива; собственная функция вертикальной скорости (W) 1 и 2 моды внутренних волн в «Центральном» (в) и «Северном» (г) каньонах

Fig. 2. Vertical variability of seawater temperature, salinity and buoyancy frequency for the “Central” (a) and “Northern” canyons (b) of Avacha Bay; the vertical velocity eigenfunctions (W) of 1st and 2nd internal waves modes in the “Central” (c) and “Northern” (d) canyons

анализ (рис. 2, г) показал наличие максимума вертикальных скоростей для первой моды внутренних волн в районе 400 м. По результатам послойных обловов, выполненных 27 апреля, около 72 % всех икринок минтая было учтено в горизонте 400–500 м. В результате для суточных послойных обловов в рамках третьего этапа эксперимента в «Центральном» каньоне были выбраны горизонты 400–450 и 450–500 м.

4. Результаты экспериментов

4.1. Изменчивость гидрологических полей

Представление об изменчивости температуры вод в области «Центрального» каньона в ходе приливного цикла можно получить по данным синхронных наблюдений за температурой и расчетов баротропных приливных течений, представленных на рис. 3. Стоит отметить, что по данным моделирования [17] отдельных приливных гармоник (полусуточной M2 и суточной K1) эллипсы течений были ориентированы преимущественно поперек оси «Центрального» и вдоль оси «Северного» каньонов, а их величина у суточных приливов была в несколько раз больше, чем у полусуточных гармоник. Соответственно расчётный суммарный прилив из 12 составляющих относится к неправильному суточному типу. В период наблюдений общий размах колебаний уровня составил около 1,5 м, а скорости баротропных приливных течений достигали 12,5 см/с. Максимальные скорости течений наблюдались в направлении вдоль материкового склона в фазу отлива по колебаниям уровня. В то же время течения в ходе прилива были на порядок слабее и имели направление на шельф.

Температура вод в течение проведения эксперимента в «Центральном» каньоне в слое ХПС менялась в пределах от 0,4 до 1 °С, а в области ТПС — от 2,8 до 3,6 °С. Наибольший уровень подъема вод ТПС и термоклина, отделяющего ТПС от ХПС, приходился на период максимума скоростей приливных течений, а также при направлении приливного течения на юго-запад, т. е. направленного преимущественно поперек оси каньона. Напротив, заглупление термоклина происходило на минимуме приливных течений. Максимальный скачок температуры между ТПС и ХПС примерно соответствовал глубине залегания изотермы 1,5 °С. Амплитуда вертикального перемещения слоя скачка достигала 50 м. Кроме того, колебания температуры

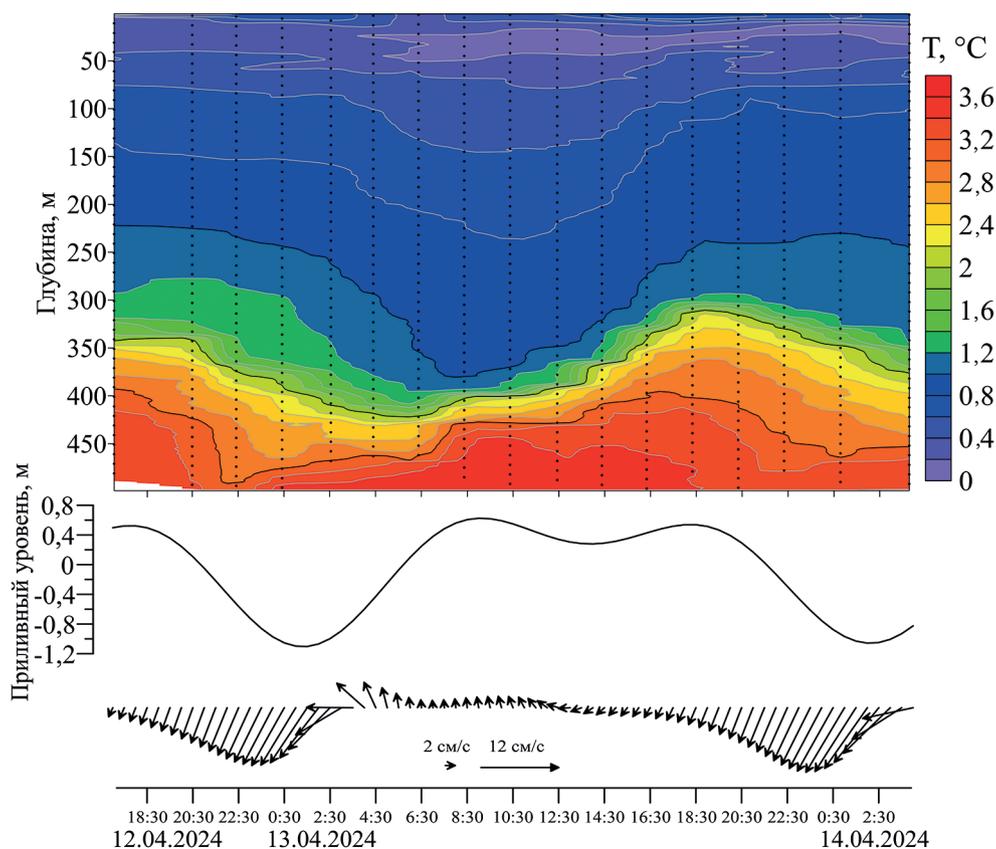


Рис. 3. Результаты зондирования в рамках эксперимента в «Центральном» каньоне с 12 по 14 апреля 2024 г., совмещённые с ходом приливного уровня (черная линия) и баротропных приливных течений (черные стрелки) по [17]. Вертикальными рядами точек обозначены измерения CTD-зондом

Fig. 3. Results of in situ measurements during the experiment in the “Central” canyon from April 12–14, 2024, combined with the tidal heights (black line) and barotropic tidal currents (black arrows) according to [17]. Vertical rows of points indicate CTD measurements

отмечались и в области ядра ХПС, глубина залегания его нижней границы колебалась с амплитудой 20 м. Хотя, как отмечалось выше, уровень изменчивости температуры в этом слое был незначителен и составлял порядка 0,5 °С.

В целом колебания приливного уровня и нижней границы раздела ХПС–ТПС совпадают. Минимальные глубины ее погружения соответствуют максимумам скорости приливного течения, что позволяет предполагать формирование в каньоне вынужденной или захваченной внутренней волны с суточным приливным периодом.

Представление об изменчивости температуры вод в области «Северного» каньона в ходе приливного цикла можно получить по данным синхронных наблюдений за температурой и расчетов характеристик баротропных приливных течений, представленных на рисунке 4. Суммарный прилив здесь так же относится к неправильному суточному типу и по ходу уровня весьма схож с описанным ранее. В период наблюдений общий размах колебаний уровня составил чуть более 1,5 м, а скорости приливных течений достигали 12,5 см/с. Максимальные скорости течений наблюдались также в фазу отлива в направлении вдоль оси каньона. В прилив течения были несколько слабее, чем в отлив, но не такие слабые, как в «Центральном» каньоне. Приливной поток, направленный в сторону берега, по продолжительности был меньше, чем от берега.

Во время проведения работ в «Центральном» каньоне температура на поверхности колебалась в зависимости от времени суток от 2,2 до 1,7 °С. Область ядра ХПС, которая имела температуру менее 0,5 °С, испытывала значительные колебания особенно в части положения нижней границы. Она могла сместиться на десятки метров за несколько часов. В целом температура вод в ХПС менялась в пределах от 0,2 до 1,4 °С.

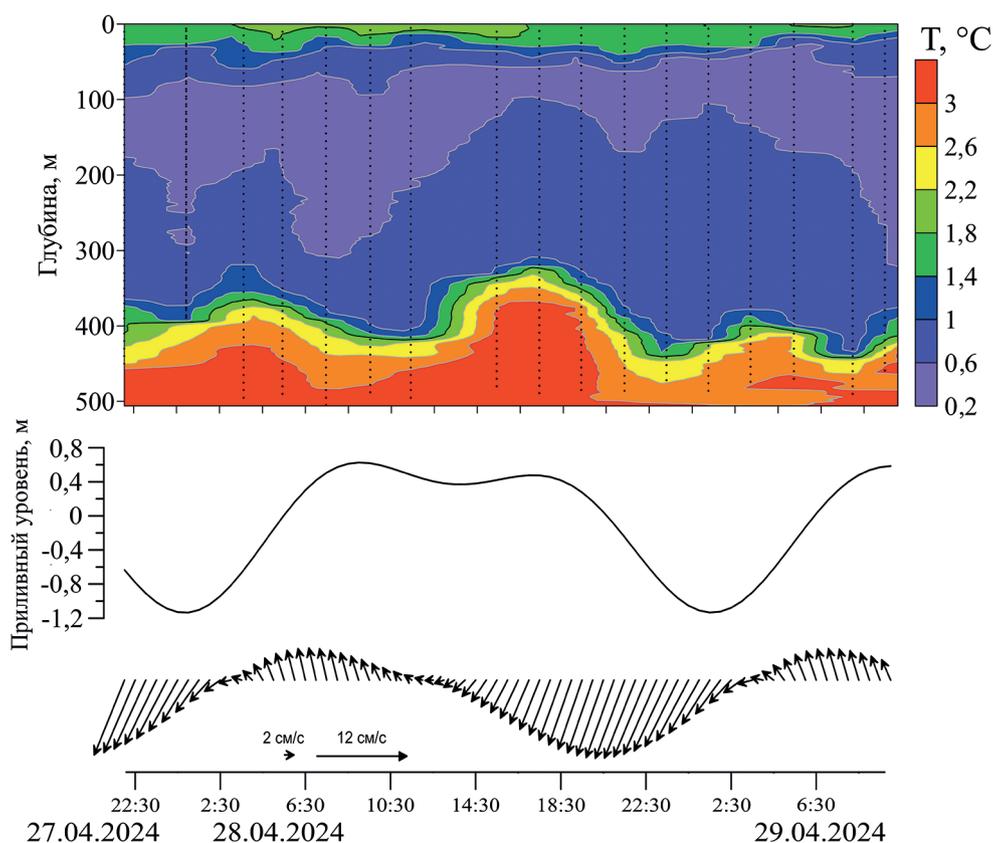


Рис. 4. Результаты зондирований в рамках эксперимента в «Северном» каньоне с 27 по 29 апреля 2024 г., совмещённые с ходом приливного уровня (черная линия) и баротропных приливных течений (черные стрелки) по [17]. Вертикальными рядами точек обозначены измерения CTD-зондом

Fig. 4. Results of in situ measurements during the experiment in the “Northern” canyon from April 27–29, 2024, combined with the tidal heights (black line) and barotropic tidal currents (black arrows) according to [17]. Vertical rows of points indicate CTD measurements

При этом граница между ХПС и ТПС прослеживалась достаточно четко на глубинах около 400 м, и максимальный градиент наблюдался на глубине залегания изотермы 2,5 °С. Эта изотерма испытывала неправильные полусуточные колебания с амплитудой от 20 до 50 м.

В целом прослеживается связь между колебаниями приливных течений и нижней границей слоя вод, ассоциируемых с ядром ХПС. Течения, направленные в сторону шельфа на северо-запад, приводят к увеличению охватываемых ими толщи вод. При юго-западных течениях картина меняется. С небольшой временной задержкой после максимумов течений наблюдалось заглубление границы раздела ХПС-ТПС. Периоды времени, в которые отмечались минимальные по глубине положения термоклина, соответствовали максимумам скорости приливного течения. О механизме происхождения отмеченных колебаний, повторяющихся входе приливного цикла, можно выдвинуть два требующих проверки предположения. Первое заключается в том, что недалеко от точки наблюдений происходит отражение внутренней приливной волны от дна и начинается ее распад. Второе — при смене направления приливного течения распадается внутренний гидравлический скачок, образовавшийся в вершине каньона.

4.2. Изменчивость распределения икры минтая

По результатам работ 12 апреля в «Центральном» каньоне в рамках камеральной обработки было учтено 9714 икринок минтая под 1 м². Все икринки находились на 1–13 стадиях развития, и доминировала 9 стадия (25 %). Принимая во внимание, что большая часть икры находилась на начальных стадиях развития, можно предположить, что эксперимент пришелся на сроки, близкие к пику воспроизводства вида в этом каньоне. По результатам облова, выполненного 27 апреля в «Северном» каньоне, было учтено 5020 икринок минтая под 1 м². В пробах превалировала икра на 6 (22,0 %) и 14–17 (48,0 %) стадиях развития. Преобладание в уловах икры на более поздних стадиях развития свидетельствует о том, что к моменту эксперимента пик размножения минтая в «Северном» каньоне заканчивался.

Результаты натурального эксперимента по изменчивости во времени общего количества икры минтая и икринок на 1 стадии развития на отдельных горизонтах и колебаний изотерм, соответствующих границе между ХПС–ТПС в «Центральном» и «Северном» каньонах, представлены на рис. 5.

Как можно видеть из рис. 5, *a–б*, колебания количества выметанной икры в «Центральном» каньоне имеют преимущественно суточную ритмику. Максимальное количество на обоих облавливаемых горизонтах отмечалось в 16:30 13 апреля. В это время наблюдался подъем верхней границы ТПС и чрезвычайно слабые приливные течения. Минимум отмечался за 12 ч до этого при минимальной глубине залегания слоя скачка в условиях перестройки направления течений. Стоит обратить внимание, что повышенный нерест (обилие икры на 1 стадии развития) над границей ХПС отмечался преимущественно в условиях слабых приливных течений и обострения вертикального градиента температуры с 12:30 до 16:30 13 апреля. В условиях интенсификации приливных течений и ослабления вертикальных градиентов температуры количество икры было меньше.

Анализ результатов обловов в «Северном» каньоне (рис. 5, *в–г*) показал отсутствие ярко выраженных пиков как в предыдущем эксперименте. При этом максимальный объем учтенной икры не соответствовал пику ее воспроизводства. Значительная часть икры облавливалась утром, а максимум икры 1 стадии пришелся на вечернее и ночное время, что требует отдельного рассмотрения. Стоит отметить, что максимальное общее количество икры и икры на 1 стадии развития отмечалось при заглублении ТПС и ослаблении вертикальных градиентов на его границе, что соответствовало перестройке и ослаблению приливных течений. Нерест происходил преимущественно на верхней границе ТПС.

5. Заключение

Вертикальная изменчивость вод и распределения икры в глубоководных каньонах Авачинского залива имеют значительную динамику. Наличие трехслойной структуры вод в весенний период года — характерная особенность данного региона, которая в очередной раз подтвердилась с помощью проведенного высокочастотного профилирования. Оценки температуры выделенных слоев в целом соотносятся с литературными данными [6]: температура ХПС колебалась в пределах 0,5–1 °С, а ТПС — 2,5–3,5 °С, средняя толщина холодного слоя составляла 200 м, а теплого — 100 м. При этом стоит указать на обнаруженные отличия. Так, в «Центральном» каньоне в момент эксперимента толщина ХПС со средней температурой около 0,8 °С составляла 200 м, в то время как в «Северном» — 300 м при средней температуре вод 0,5 °С. Характеристики ТПС также отличались: в «Центральном» каньоне его температура составляла 3,5 °С, а в «Северном» — 2,5 °С. Амплитуда колебания границы раздела ХПС–ТПС по данным наблюдений оставила около 50 метров и имела выраженный суточный период — в «Центральном» каньоне — и неправильный полусуточный — в «Северном» каньоне.

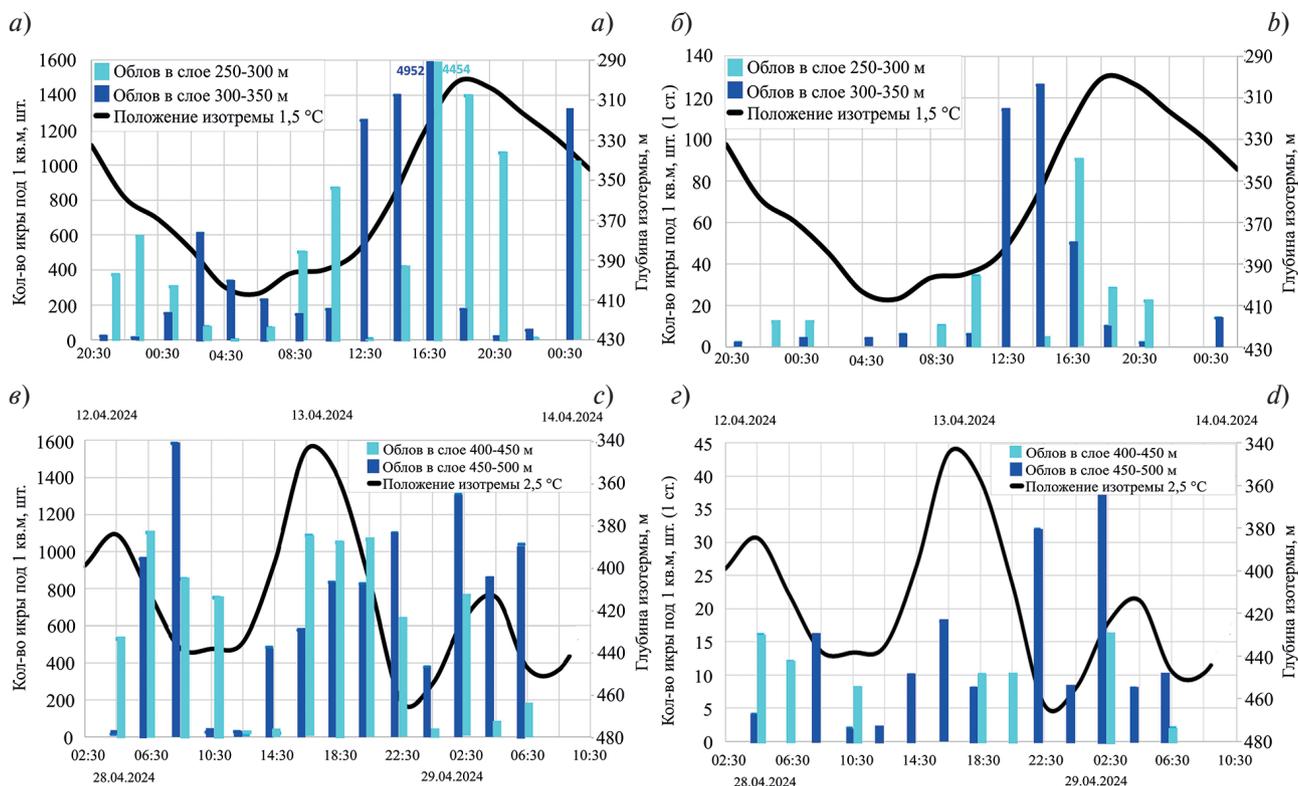


Рис. 5. Количество икры в двух слоях облова и положение изотермы между ХПС и ТПС за период проведения эксперимента: *a* — общего количества икры минтая и 1,5 °C в «Центральном» каньоне; *b* — икры на 1 стадии развития и 1,5 °C в «Центральном» каньоне; *c* — общего количества икры и 2,5 °C в «Северном» каньоне; *d* — икры минтая на 1 стадии развития и 2,5 °C в «Северном» каньоне. Синими и голубыми цифрами на рис. 5, *a* показаны максимальные значения икры на 16:30

Fig. 5. Number of pollock eggs in two layers and isotherm position between cold intermediate layer and warm intermediate layer during the experiment period: *a* — total number of eggs and 1.5 °C in the “Central” canyon; *b* — number of eggs at the 1st developmental stage and 1.5 °C in the “Central” canyon; *c* — total number of eggs and 2.5 °C in the “Northern” canyon; *d* — number of eggs at the 1st developmental stage and 2.5 °C in the “Northern” canyon. The blue and cyan figures in Fig. 5a show the maximum number of pollock eggs at 16:30

Полученные в рамках экспериментов количественные оценки икры минтая указывают на то, что первый эксперимент пришелся на сроки, близкие к пику воспроизводства вида в этом каньоне, что хорошо согласуется с ранними оценками [16]. При этом второй эксперимент проходил в условиях окончания нереста. Общая комплексная картина результатов проведенных экспериментов показывает, что связь между колебаниями границы холодного и теплого промежуточного слоев под влиянием процессов, обусловленных приливом, и количеством икры в целом прослеживается. В то же время в ряде случаев колебание численности облавливаемой икры происходит с некоторым запаздыванием от колебаний характерной изотермы между слоями. Вероятно, из-за нейтральной плавучести икринок достаточно небольшого импульса для поднятия/опускания в области границы ХПС и ТПС. Кроме того, опускание ихтиопланктонной сети и профилирование проводились не одновременно, а с небольшой задержкой на 15–30 мин.

По результатам экспериментальных исследований показано, что горизонты основного икрометания в глубоководных каньонах меняются в течение суток под влиянием процессов, обусловленных приливом. Стоит отметить, что ранее наличие колебаний вертикальной структуры вод в каньонах, как и перераспределение икры и личинок минтая, отмечалось по данным отрывочных наблюдений [3, 16, 20], но объяснялось главным образом влиянием вихревых структур. Однако отмеченная в экспериментах приливная ритмика показала, что ее учет так же важен при оценках распределения икры минтая в глубоководных каньонах. Влияние динамических факторов, в том числе прилива, на количество и изменчивость икры минтая уже отмечалось в других районах Мирового океана [21]. Однако текущие экспериментальные результаты отличаются от других постановок высокой частотой облова и профилирования, что ранее для данной области не выполнялось. Отдельно стоит отметить, что колебания границы между ХПС и ТПС

имеют разный период, несмотря на то, что расстояние между двумя глубоководными каньонами составляет всего 30 км. Причины этого требуют отдельного рассмотрения с использованием региональной модели внутренних приливов.

Дальнейшие исследования будут направлены на более глубокий анализ результатов эксперимента с привлечением данных дистанционного зондирования и результатов моделирования внутреннего волнения.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 23-17-00174, <https://rscf.ru/project/23-17-00174>.

Funding

This work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-17-00174, <https://rscf.ru/en/project/23-17-00174/>.

Литература

1. Колончин К.В., Павлова А.О., Бетин О.И., Яновская Н.В. Минтай как объект российского и мирового промысла // Труды ВНИРО. 2022. Т. 189. С. 5–15. doi:10.36038/2307-3497-2022-189-5-15
2. Антонов Н.П. Биология и динамика численности восточнокамчатского минтая: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО, 1991. 23 с.
3. Буслов А.В. Минтай восточного побережья Камчатки: современное состояние запасов и рекомендации по рациональной эксплуатации // Известия ТИНРО. 2008. Т. 152. С. 3–17.
4. Буслов А.В., Тепнин О.Б. Условия нереста и эмбриогенеза минтая *Theragra chalcogramma* (GADIDAE) в глубоководных каньонах тихоокеанского побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. 2002. Т. 42, № 5. С. 617–625.
5. Буслов А.В., Тепнин О.Б., Дубинина А.Ю. Особенности экологии нереста и эмбриогенеза восточнокамчатского минтая // Известия ТИНРО. 2004. Т. 138. С. 282–298.
6. Тепнин О.Б. Изменчивость гидрологических условий в местах нереста восточно- камчатского минтая (*Gadus chalcogrammus*) в 2012–2022 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2022. № 66. С. 79–93. doi:10.15853/2072-8212.2022.66.79-93
7. Shanks A.L. Surface slicks associated with tidally forced internal waves may transport pelagic larvae of benthic invertebrates and fishes shoreward // Marine Ecology Progress Series 13. 1983. P. 311–315. doi:10.3354/meps013311
8. Guida V.G., Valentine P.C., Gallea L.B. Semidiurnal Temperature Changes Caused by Tidal Front Movements in the Warm Season in Seabed Habitats on the Georges Bank Northern Margin and Their Ecological Implications // Public Library of Science One. 2013. Vol. 8, No. 2. e55273. doi:10.1371/journal.pone.0055273
9. Garwood J.C., Musgrave R.C., Lucas A.J. Life in internal waves // Oceanography 2020. Vol. 33, No. 3. P. 38–49. doi:10.5670/oceanog.2020.313
10. Phelan P.J., Steinbeck J., Walter R.K. Influence of internal bores on larval fish abundance and community composition // Regional Studies in Marine Science. 2018. Vol. 20. P. 1–12. doi:10.1016/j.rsma.2018.03.010
11. Свергун Е.И., Зимин А.В., Коник А.А. Короткопериодные внутренние волны на тихоокеанской акватории полуострова Камчатка и северных Курильских островов по данным спутниковых радиолокационных наблюдений 2017–2021 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 2. С. 251–260. doi:10.21046/2070-7401-2024-21-2-251-260
12. Свергун Е.И., Зимин А.В. Характеристики короткопериодных внутренних волн Авачинского залива по данным экспедиционных и спутниковых наблюдений, выполненных в августе — сентябре 2018 года // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 3(213). С. 300–312. doi:10.22449/0233-7584-2020-3-300-312
13. Svergun E.I., Sofina E.V., Zimin A.V., Kruglova K.A. Seasonal variability of characteristics of nonlinear internal waves in the Kuril-Kamchatka region by Sentinel 1 data // Continental Shelf Research. 2023. Vol. 259. 104986. doi:10.1016/j.csr.2023.104986
14. Свергун Е.И., Зимин А.В., Романенков Д.А., Софьина Е.В. Короткопериодные внутренние волны в шельфовых районах с интенсивной приливной динамикой // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58, № 6. С. 690–705. doi:10.31857/S0002351522060165
15. Ильин О.И., Саушкина Д.Я. К оценке продукции икры минтая (*Gadus chalcogrammus*) в каньонах Авачинского залива // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2022. № 64. С. 80–84. doi:10.15853/2072-8212.2022.64.80-84

16. Варкентин А.И., Саушкина Д.Я. О некоторых вопросах воспроизводства минтая в тихоокеанских водах, прилегающих к Камчатке и северным Курильским островам в 2013–2022 гг. // Труды ВНИРО. 2022. Т. 189. С. 105–119. doi:10.36038/2307-3497-2022-189-105-119
17. Романенков Д.А., Софьина Е.В., Родикова А.Е. Моделирование баротропного прилива у юго-восточного побережья п-ва Камчатка с учетом точности глобальных приливных моделей в северо-западном регионе Тихого океана // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16, № 4. С. 45–62. doi:10.59887/2073-6673.2023.16(4)-4
18. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Том 1. М.: МИР, 1986. 396 с.
19. Blood D.M., Matarese A.C., Yoclavich M.M. Embryonic development of walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, from Shelikof Strait, Gulf of Alaska // Fishery Bulletin. 1994. Vol. 92. P. 207–222.
20. Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. Оценка запасов и прогнозирования ОДУ восточно-камчатского минтая (*gadus chalcogrammus*) на основе преосторожного подхода // Труды ВНИРО. 2014. Т. 151. С. 62–74.
21. Hollowed A.B., Wilson C.D., Stabeno P.J., Salo S.A. Effect of ocean conditions on the cross-shelf distribution of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and capelin (*Mallotus villosus*). // Fisheries Oceanography. 2007. Vol. 16, No. 2. P. 142–154. doi:10.1111/j.1365-2419.2006.00418.x

References

1. Kolonchin K.V., Pavlova A.O., Betin O.I., Yanovskaya N.V. Walleye pollock as an object of Russian and world fishery. *Trudy VNIRO*. 2022;189:5–15. doi:10.36038/2307-3497-2022-189-5-15 (in Russian).
2. Antonov N.P. Biology and population dynamics of East Kamchatka pollock: Abstract of Cand. of Biological Sciences diss. Vladivostok: TINRO; 1991. 23 p. (in Russian).
3. Buslov A.V. Walleye pollock of the eastern Kamchatka coast: modern state of stock and recommendations for rational exploitation. *Izvestiya TINRO*. 2008;152:3–17. (in Russian).
4. Buslov A.V., Tepnin O.B. Conditions of spawning and embryogenesis of pollock *Theragra chalcogramma* (GADIDAE) in deep-water canyons of the Pacific coast of Kamchatka. *Voprosy Ichthyologii*. 2002;42(5):617–625 (in Russian).
5. Buslov A.V., Tepnin O.B., Dubinina A. Yu. Some features of spawn ecology and embryogenesis of the east Kamchatka walleye pollock. *Izvestiya TINRO*. 2004;138:282–298 (in Russian).
6. Tepnin O.B. Variability of hydrological conditions in the spawning grounds of East Kamchatka pollock (*Gadus chalcogrammus*) in 2012–2022. *Issledovaniya Vodnyh Biologicheskikh Resursov Kamchatki i Severo-Zapadnoj Chasti Tihogo Okeana*. 2022;66:79–93. doi:10.15853/2072-8212.2022.66.79–93 (in Russian).
7. Shanks A.L. Surface slicks associated with tidally forced internal waves may transport pelagic larvae of benthic invertebrates and fishes shoreward. *Marine Ecology Progress Series* 13. 1983;311–315. doi:10.3354/meps013311
8. Guida V.G., Valentine P.C., Gallea L.B. Semidiurnal Temperature Changes Caused by Tidal Front Movements in the Warm Season in Seabed Habitats on the Georges Bank Northern Margin and Their Ecological Implications. *Public Library of Science One*. 2013;8(2): e55273. doi:10.1371/journal.pone.0055273
9. Garwood J.C., Musgrave R.C., Lucas A.J. Life in internal waves. *Oceanography* 2020;33(3):38–49. doi:10.5670/oceanog.2020.313
10. Phelan P.J., Steinbeck J., Walter R.K. Influence of internal bores on larval fish abundance and community composition. *Regional Studies in Marine Science*. 2018;20:1–12. doi:10.1016/j.rsma.2018.03.010
11. Svergun E.I., Zimin A.V., Konik A.A. Short-period internal waves in the Pacific area of the Kamchatka Peninsula and the Northern Kuril Islands according to 2017–2021 satellite radar observations. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2024;21(2):251–260. doi:10.21046/2070-7401-2024-21-2-251-260 (in Russian).
12. Svergun E.I., Zimin A.V. Characteristics of Short-Period Internal Waves in the Avacha Bay Based on the In Situ and Satellite Observations in August–September, 2018. *Physical Oceanography*. 2020;27(3):278–289. doi:10.22449/1573-160X-2020-3-278-289
13. Svergun E.I., Sofina E.V., Zimin A.V., Kruglova K.A. Seasonal variability of characteristics of nonlinear internal waves in the Kuril-Kamchatka region by Sentinel 1 data. *Continental Shelf Research*. 2023;259:104986. doi:10.1016/j.csr.2023.104986
14. Svergun E.I., Zimin A.V., Romanenkov D.A., Sofina E.V. Short-Period Internal Waves in Shelf Regions with Intense Tidal Dynamics. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2022;58(6):585–597. doi:10.1134/s0001433822060160
15. Ilin O.I., Saushkina D. Ya. On the assessment of pollock (*Gadus chalcogrammus*) roe production in the canyons of Avacha Bay. *Issledovaniya Vodnyh Biologicheskikh Resursov Kamchatki i Severo-Zapadnoj Chasti Tihogo Okeana*. 2022;64:80–84. doi:10.15853/2072-8212.2022.64.80–84 (in Russian).

16. Varkentin A.I., Saushkina D. Ya. On some issues of pollock reproduction in the Pacific waters adjacent to Kamchatka and the northern Kuril Islands in 2013–2022. *Izvestia TINRO*. 2022;189:105–119. doi:10.36038/2307-3497-2022-189-105-119 (in Russian).
17. Romanenkov D.A., Sofina E.V., Rodikova A.E. Modeling of barotropic tide off the southeastern coast of the Kamchatka Peninsula in view of the accuracy of global tidal models in the Northwest Pacific Ocean. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2023; 16(4):45–62. doi:10.59887/2073-6673.2023.16(4)-4
18. Gill A. Dynamics of the atmosphere and ocean. Vol. 1. M.: MIR; 1986. 396 p. (in Russian).
19. Blood D.M., Matarese A.C., Yoclavich M.M. Embryonic development of walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, from Shelikof Strait, Gulf of Alaska. *Fishery Bulletin*. 1994;92:207–222.
20. Пин О.И., Сергеева Н.Р., Варкентин А.И. East-Kamchatka Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) Stock and TAC Assessment Based on the Precautionary Approach. *Trudy VNIRO*. 2014;151:62–74 (in Russian).
21. Hollowed A.B., Wilson C.D., Stabeno P.J., Salo S.A. Effect of ocean conditions on the cross-shelf distribution of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and capelin (*Mallotus villosus*). *Fisheries Oceanography*. 2007;16(2):142–154. doi:10.1111/j.1365-2419.2006.00418.x

Об авторах

- КОНИК Александр Александрович**, научный сотрудник СПбФ ИО РАН, кандидат географических наук, SPIN-код (РИНЦ): 5839-1738, ORCID: 0000-0002-2089-158X, Scopus AuthorID: 57203864647, WoS ResearcherID: AAB-7195-2020, e-mail: konikrshu@gmail.com
- ЗИМИН Алексей Вадимович**, главный научный сотрудник СПбФ ИО РАН, доктор географических наук, SPIN-код (РИНЦ): 9833-3460, ORCID: 0000-0003-1662-6385, Scopus AuthorID: 55032301400, WoS ResearcherID: C-5885-2014, e-mail: zimin2@mail.ru
- АТАДЖАНОВА Оксана Алишеровна**, старший научный сотрудник СПбФ ИО РАН, кандидат географических наук, SPIN-код (РИНЦ): 5016-2970, ORCID: 0000-0001-6820-0533, Scopus AuthorID: 57188718743, WoS ResearcherID: R-7835-2018, e-mail: oksanam07@list.ru
- СВЕРГУН Егор Игоревич**, научный сотрудник СПбФ ИО РАН, кандидат географических наук, SPIN-код (РИНЦ): 3212-7041, ORCID: 0000-0002-9228-5765, Scopus AuthorID: 57195066881, WoS ResearcherID: AAC-7289-2020, e-mail: egor-svergun@yandex.ru
- РОМАНЕНКОВ Дмитрий Анатольевич**, ведущий научный сотрудник СПбФ ИО РАН, кандидат географических наук, SPIN-код (РИНЦ): 4872-3349, ORCID: 0009-0005-0374-486X, Scopus AuthorID: 6506855768, WoS ResearcherID: U-8280-2017, e-mail: dmromanenkov@yandex.ru
- СОФЬИНА Екатерина Владимировна**, ведущий научный сотрудник СПбФ ИО РАН, кандидат физико-математических наук, SPIN-код (РИНЦ): 8904-4934, ORCID: 0000-0001-9206-8253, Scopus AuthorID: 23111468200, WoS ResearcherID: E-3920-2014, e-mail: sofjina_k@mail.ru
- ВАРКЕНТИН Александр Иванович**, ведущий научный сотрудник КамчатНИРО, кандидат биологических наук, SPIN-код (РИНЦ): 6126-6033, ORCID: 0000-0002-1735-0088, WoS ResearcherID: ADK-2588-2022, e-mail: a.varkentin@kamniro.vniro.ru
- ТЕПНИН Олег Борисович**, научный сотрудник КамчатНИРО, SPIN-код (РИНЦ): 4002-1975, ORCID: 0000-0001-9596-4336, WoS ResearcherID: KIL-1378-2024, e-mail: tenpin@ya.ru
- САУШКИНА Дарья Ярославовна**, старший специалист КамчатНИРО, SPIN-код (РИНЦ): 4059-2130, ORCID: 0000-0001-8913-0386, Scopus AuthorID: 57219658866, WoS ResearcherID: AAY-8161-2021, e-mail: d_melnik@rambler.ru