

# КОРОТКОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПРОЦЕССОВ В ЧЕТВЕРТОМ КУРИЛЬСКОМ ПРОЛИВЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.И. Свругун, А.А. Коник, А.А. Родионов, А.В. Зимин

В работе на основе синтеза результатов экспедиционных исследований и глобального приливного атласа рассматриваются причины возникновения короткопериодных внутренних волн в районе Четвертого Курильского пролива. Измерения на шельфе о-ва Парамушир около мыса Васильева при помощи термоксы позволили впервые для Четвертого Курильского пролива зарегистрировать внутренние волны с периодами от 5 до 25 минут и амплитудами до 2,5 м. Они проявлялись на протяжении 44% от суммарного времени наблюдений. Короткопериодные волны возникали на фоне приливных изменений вертикальной структуры вод, охватывающих всю толщу. Сопоставление записей колебаний температуры с ходом вектора приливных течений по данным атласа ТРХО9 показало, что короткопериодная изменчивость интенсифицировалась при смене направления приливного течения или увеличении его модуля. Оценка критерия tidal body force для лунно-солнечной суточной деклинационной гармоник ( $K_1$ ) позволила продемонстрировать, что основным источником регистрируемых короткопериодных волн является дезинтеграция внутренних приливных волн в области пролива.

**Ключевые слова:** экспедиционные исследования, короткопериодные внутренние волны, внутренний прилив, Четвертый Курильский пролив.

## Введение

Регион Курильских островов характеризуется весьма неоднородной структурой вод [1, 2]. Это связано с водообменом между Охотским морем и Тихим океаном. Процессы обмена через проливы усложняются из-за значительных неровностей дна, мощных приливных явлений и характера атмосферных процессов.

Четвертый Курильский пролив – один из самых широких проливов в северной части большой Курильской островной гряды. Ширина пролива составляет более 50 км, а глубина достигает 600 м [3]. Топографической особенностью является его открытость в сторону Охотского моря и наличие порога со стороны Тихого океана. В основной части пролива наблюдаются поверхностная и холодная промежуточная водные массы, а в мелководных прибрежных районах вертикальное перемешивание часто приводит к гомогенизации вод. Особенности рельефа дна

и пространственного распределения охотоморских и тихоокеанских вод в проливе приводят к образованию фронтальной зоны поперек пролива, которая четко прослеживается в поверхностном слое вод. Акватория пролива находится под доминирующим влиянием суточного баротропного прилива. При распространении вдоль Курильской гряды поступательной приливной волны из Тихого океана возникает внутренний прилив.

Внутренний прилив – типичная особенность акватории Курильских проливов [4]. Для внутреннего прилива суточного периода в этом регионе существуют особенности, следующие из линейной теории внутренних волн. Поскольку свободное распространение внутренних приливных волн ограничено критической широтой (которая для лунно-солнечной суточной деклинационной гармоник ( $K_1$ ) составляет  $30,0^\circ$ ), то в Курильском регионе суточные внутренние приливы могут существовать лишь в виде захваченных мод вблизи мест их генерации. Поэтому

возникающие внутренние приливные волны (ВПВ) не могут свободно распространяться и их дезинтеграция должна происходить в окрестности места генерации. При дезинтеграции ВПВ, как правило, возникают короткопериодные внутренние волны (КВВ) с периодами порядка десятков минут, длинами порядка сотен метров и скоростью распространения менее 1 м/с [5]. Известны измерения характеристик внутреннего прилива в проливе Буссоль Курильской гряды. По результатам измерений были оценены амплитуды внутренних приливов [6]. Амплитуды смещений изопикн варьировали от 30 до 120 м в зависимости от фазы сизигийного цикла. Также было обнаружено, что в изопикнических смещениях в проливе преобладают суточные приливные компоненты в форме топографически захваченной волны первой моды. Для Четвертого Курильского пролива оценки смещения изопикн по данным натуральных наблюдений отсутствуют.

Результаты моделирования для проливов Курильской гряды указывают на возможность генерации КВВ по типу запрепятственных волн [7]. Поверхностные проявления КВВ в регионе Курильской гряды рассматривались в работе [8] по спутниковым данным Sentinel-1 за летний период 2019 года. Было установлено, что над хребтом Витязь в районе о-ва Онекотан, в окрестности Четвертого Курильского пролива находится область повышенной частоты встречаемости поверхностных проявлений КВВ. На данном участке акватории регистрировались волновые пакеты с длиной волны около 450 м и длиной лидирующего гребня 2–3 км. Учитывая особенности распространения ВПВ в регионе, можно предположить, что КВВ в Четвертом Курильском проливе генерируются при дезинтеграции внутреннего прилива, но для подтверждения данной гипотезы необходимо проведение специализированных экспедиционных исследований в данном районе. Впервые провести подобные исследования удалось в июне 2021 года.

Таким образом, цель данной работы – описать по данным экспедиционных наблюдений характеристики короткопериодной изменчивости гидрофизических полей и процессов в Четвертом Курильском проливе в теплый сезон, а также выявить ее причины.

## ■ Материалы и методы

Экспедиционные исследования пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей в Четвертом Курильском проливе выполнялись 18–24 июня 2021 года. Карта рельефа дна района

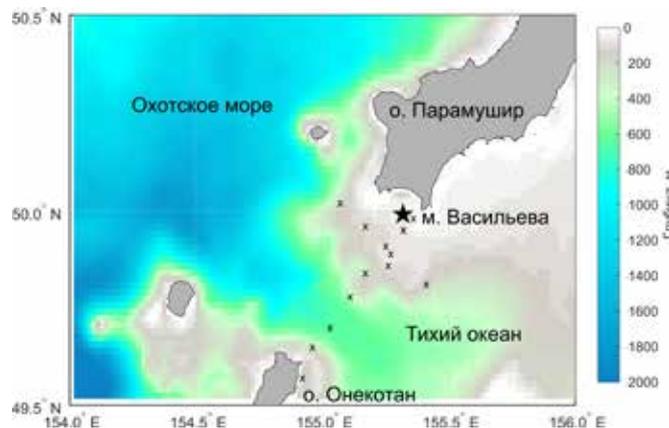


Рис. 1. Рельеф дна в районе проведения экспедиционных работ в Четвертом Курильском проливе в июне 2021 года (символ «звезда» указывает положение точки контактных измерений характеристик КВВ, символ «x» указывает точки гидрологических станций).

и географические точки проведения экспедиционных работ показаны на рис. 1. Работы включали STD-зондирования на 20 гидрологических станциях и 4 серии многочасовых (6–9 часов) учащенных наблюдений с помощью измерительной системы «термокоса» (Россия, Марлин-Юг), которая представляла собой гирлянду из последовательно расположенных 17 термисторов с погрешностью  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ , последний из которых дополнялся датчиком давления с погрешностью  $\pm 0,2\%$  от измеряемой величины. Термокоса крепилась на несущую линию, погружаемую в воду. На нижнюю часть несущей линии крепился груз массой около 50 кг. Термисторы располагались вдоль несущей линии длиной 45 м на расстоянии от 2 до 5 м между собой. Наблюдения термокосой выполнялись от поверхности до дна с заякоренного над глубиной 50 м судна. Дискретность измерений по времени составляла 20 с. Суммарная продолжительность измерений – 28 часов.

По результатам измерений производилось построение записей колебаний изотерм. Согласно целевой установке эксперимента колебания изолиний в области термоклина амплитудой более полуметра и длительностью от 1,5 до 30 минут ассоциировались с короткопериодными внутренними волнами (ККВ). Амплитуды и периоды КВВ определялись по выделенной на записи изотерме по методике из [9]. По результатам STD-зондирований выявлено совпадение положений термоклина и пикноклина, поэтому колебания изотермы, выделенной в области термоклина, с достаточной степенью точности отражают колебания пикноклина. Рассчитывалась перемежаемость внутреннего волнения как отношение времени существования короткопериодных колебаний термоклина к общему времени наблюдений.

Для привязки записей колебаний температуры к фазам прилива с использованием ПО Tidal Model Driver (TMD) рассчитывался ход вектора приливного течения по данным из атласа ТРХО9 [10]. Для анализа возможных механизмов генерации КВВ рассчитывался интегрированный по глубине критерий tidal body force [11], который, являясь функцией стратификации, приливного потока и градиента глубины, выявляет положение очагов генерации ВПВ. Градиент глубин определялся по батиметрии ЕТОР01 [12]. Частота плавучести определялась по среднемесячным полям температуры и солёности морской воды из реанализа [13].

Для определения режима внутреннего прилива в точках контактных наблюдений выполнялся расчёт внутреннего числа Фруда [14] как отношения модуля скорости приливного течения к фазовой скорости внутренних волн. Фазовая скорость внутренних волн определялась исходя из дисперсионного соотношения в приближении двухслойной стратификации для мелкой воды [5]. Если число Фруда <1, то внутренний прилив характеризуется докритическим режимом. При числе Фруда =1 режим критический, а при превышении 1 – суперкритический. При критическом режиме происходит генерация КВВ по механизму запрятственных волн.

### ■ Фоновая гидрологическая структура вод

На рис. 2 показан разрез поперёк Четвёртого Курильского пролива, а на рис. 3 – вдоль его оси. Положение станций, входящих в состав разрезов было показано на рис. 1.

Из рис. 2 видно, что в северной части пролива около о-ва Парамушир наблюдалась ярко выраженная двухслойная структура вод, а в южной части около острова Онекотан структура вод была близка к однородной. Воды с разной структурой разделял гидрологический фронт, расположенный по оси пролива. Данный фронт выделялся как на поперечном разрезе, так и на продольном (рис. 3). Выявленные особенности фоновой гидрологической структуры вод согласуются с результатами измерений, выполненных ранее в данном районе [1]. На рис. 4 показаны вертикальные профили температуры, солёности и плотности по данным STD-зондирования около о-ва Парамушир.

По данным зондирования было выявлено, что верхний перемешанный слой выделялся от поверхности до горизонта 10 м, далее в слое от 10 м до 20 м располагался сезонный термоклин, совпадающий с галоклином и пикноклином. Градиент плот-

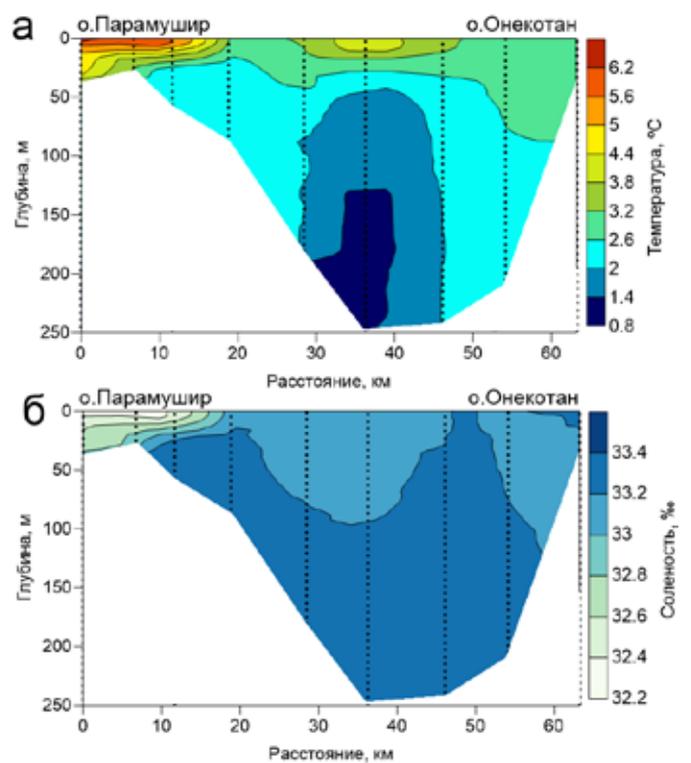


Рис. 2. Разрез гидрологических характеристик через Четвёртый Курильский пролив: а – температуры; б – солёности

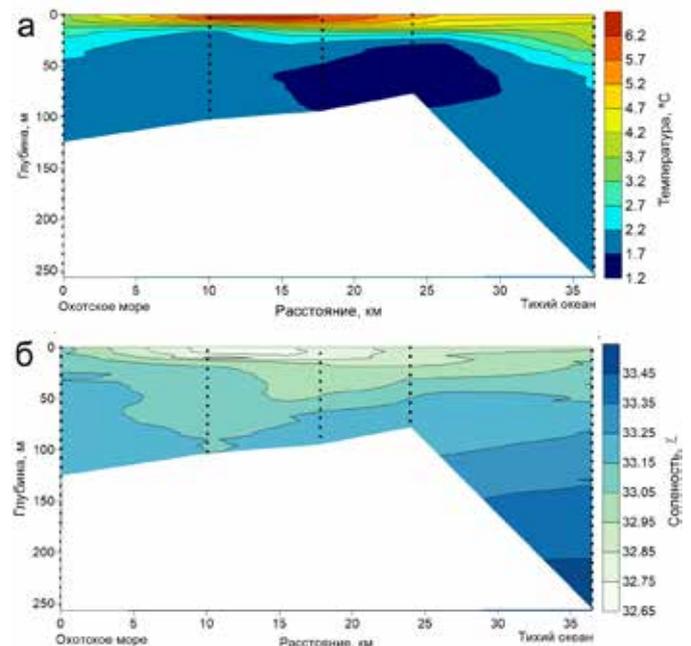


Рис. 3. Разрез гидрологических характеристик вдоль оси Четвёртого Курильского пролива: а – температуры; б – солёности

ности в пикноклине составлял 0,8 у.е./м. Стоит отметить, что по данным [1] в начале летнего сезона только начинается формирование сезонного пикноклина, поэтому градиент плотности в пикноклине не-

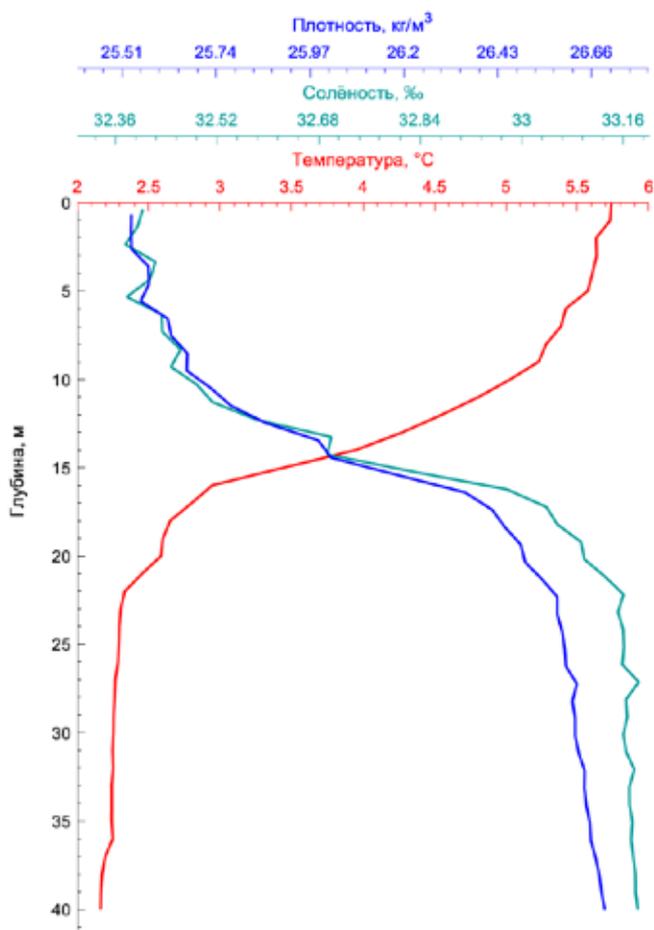


Рис. 4. Вертикальные профили температуры, солёности и плотности по данным измерений STD-зондом STD48M от 18 июня 2021 года около о-ва Парамушир

лик. Однако представленная структура вод вполне отвечает критериям двухслойной стратификации [5].

### ■ Характеристики КВВ по данным измерений в Четвёртом Курильском проливе

На рис. 5 показано сопоставление записи колебаний температуры в термоклине от 18–19 июня с ходом вектора приливных течений в точке измерений по данным атласа ТРХО9.

Из рис. 5 видно, что в период с 18 до 21 ч происходило заглубление нижней границы термоклина с 20 до 30 м. В данный период короткопериодные колебания изотерм практически не выделялись. Затем, в период с 21 до 23 ч наблюдалась группа КВВ

с периодом около 15 мин и амплитудой до 1 м. Данная группа проявлялась в период смены направления приливного течения. В последующие 2 часа термоклин не испытывал короткопериодных колебаний, а затем, с 01:00 до 02:00 в период роста модуля приливного течения проявлялась группа волн с периодом около 10 мин.

На рис. 6 показана запись колебаний температуры, совмещенная с ходом вектора приливных течений от 22–23 июня.

Из рис. 6 видно, что в первые часы измерений в термоклине регистрируются КВВ, не превышающие 1 м. Однако с 3:00 до 3:45 регистрируются ярко выраженные волны с амплитудой до 2 м. В период регистрации этих волн отмечался рост модуля приливного течения. В период с 3:30 до 4:30 наблюдалось плавное заглубление термоклина, которое с 4:30 сменилось резким провалом всех изотерм. При этом на глубине около 40 м оказалась изотерма 5,3°C, которая в период начала измерений находилась выше глубины 5 м. Столь резкое заглубление изотерм сопровождалось ростом модуля приливного течения до 90 см/с. Зарегистрированное явление весьма близко к описанному в литературе внутреннему бору [15], когда за довольно короткий промежуток времени происходит значительное изменение положения изотерм.

Резюмируя представленные результаты учащенных наблюдений за температурой, можно отметить, что даже в начале летнего периода в условиях формирования вертикальной структуры вод, когда градиенты плотности в пикноклине малы, в толще вод регистрируются ярко выраженные короткопериодные волны. На рис. 7 показаны гистограммы повторяемости амплитуд и периодов КВВ, зарегистрированных по данным измерений гирляндой с заякоренного судна около м. Васильева (см. рис. 1).

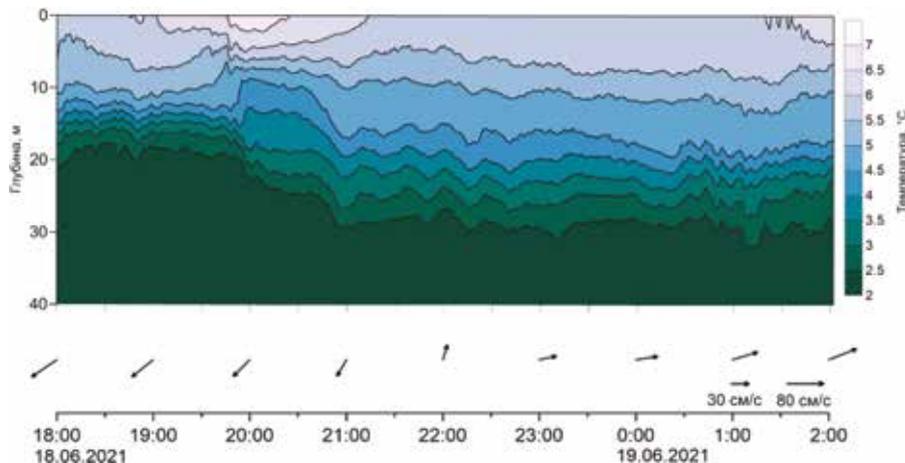


Рис. 5. Сопоставление записи колебаний температуры в термоклине от 18-19 июня с ходом вектора приливных течений в точке измерений по данным атласа ТРХО9

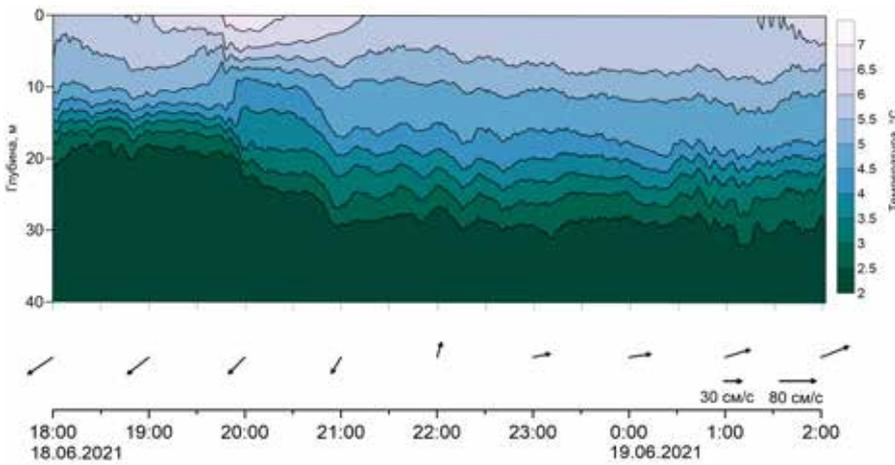


Рис. 6. Сопоставление записи колебаний температуры в термоклине от 22–23 июня с ходом вектора приливных течений в точке измерений по данным атласа ТРХО9

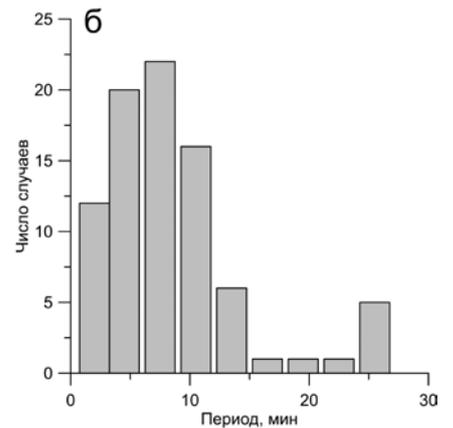
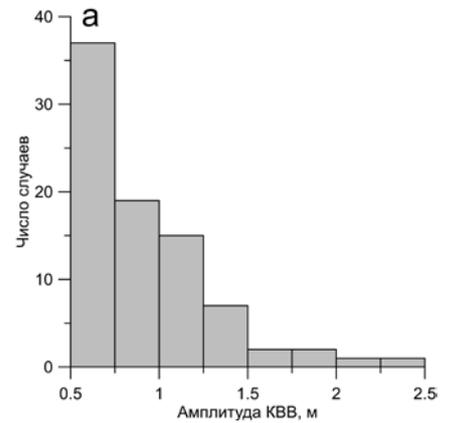


Рис. 7. Гистограммы повторяемости характеристик КВВ в Четвёртом Курильском проливе: а) амплитуд; б) периодов

Всего за 28 ч измерений было зарегистрировано 84 КВВ суммарной длительностью 12 ч. Таким образом, перемежаемость внутреннего волнения составляет около 44 %. Средняя амплитуда КВВ по данным измерений составила около 1 м, а максимальная – 2,5 м. Средний период КВВ составил 10 мин, а максимальный – 27 мин. Наибольшей повторяемостью в 44 % характеризовались КВВ с минимальной амплитудой в 0,5 м. Волны максимальной амплитуды наблюдались 2 раза за время измерений. Наиболее часто встречались волны с периодом около 8 мин.

### Возможные механизмы генерации КВВ

Как было указано ранее, внутренний прилив на акватории Курильской гряды не может распространяться, поэтому была выдвинута гипотеза о генерации КВВ при дезинтеграции внутреннего прилива в непосредственной близости от очагов его генерации. Для выявления очагов генерации был рассчитан интегрированный по глубине критерий tidal body force, горизонтальное распределение которого показано на рис. 8.

Исходя из рис. 8, вдоль оси Четвёртого Курильского пролива находится ярковыраженный очаг генерации суточных ВПВ. При дезинтеграции ВПВ в данном очаге генерации могут возникать КВВ, которые и были зарегистрированы в ходе измерений на

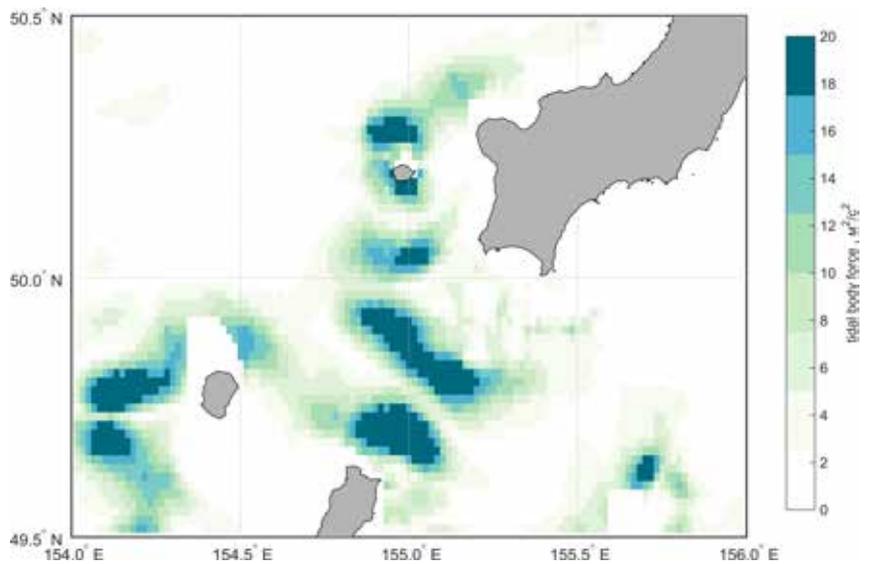


Рис. 8. Горизонтальное распределение интегрированного по глубине критерия tidal body force, рассчитанного для гармоник K1, с использованием среднемесячных данных реанализа за июнь 2021 года

шельфе о-ва Парамушир. Подтверждением данного механизма генерации КВВ служит выявленная длиннопериодная (несколько часов) изменчивость положения изотерм, которая может быть ассоциирована с ВПВ. Однако по данным моделирования [7] было получено, что КВВ в прибрежной зоне Курильской

гряды могут генерироваться по типу запрепятственных волн при обтекании неоднородностей рельефа дна критическим приливным потоком. Согласно [16], прибрежная зона Курильских проливов, и в частности Четвёртого Курильского, характеризуется числом Фруда близким к единице, то есть наблюдается критическое приливное течение. Однако при стратификации в июне 2021 г. по данным натурных наблюдений оценки скорости внутренних волн, в двухслойном приближении, не превышают 23 см/с. Скорости приливного течения в момент наблюдений колебались от 30 до 90 см/с. Соответственно число Фруда в любой момент времени будет соответствовать сверхкритическому режиму, и наиболее вероятным механизмом генерации КВВ в Четвёртом Курильском проливе в условиях наблюдаемой стратификации является дезинтеграция ВПВ. Более детально изучить закономерности возникновения КВВ в будущем помогут длительные контактные измерения, выполняемые на протяжении нескольких приливных циклов.

### Заключение

В работе представлены результаты исследований короткопериодной изменчивости гидрофизических полей и процессов в Четвёртом Курильском проливе по данным экспедиционных измерений, выполненных в июне 2021 года. Была выявлена сильная горизонтальная неоднородность вертикальной структуры вод в проливе. У о-ва Онекотан наблюдалось практически однородное распределение температуры по вертикали, а у о-ва Парамушир – структура вод, близкая к двухслойной. По результатам измерений термоксомой были впервые для Четвёртого Курильского пролива выявлены характеристики КВВ со средним периодом 10 мин и средней амплитудой около 1 м. Максимальная амплитуда КВВ достигала 2,5 м. Даже в условиях начала формирования устойчивой вертикальной структуры вод пролива, несмотря на сравнительно малые градиенты плотности в пикноклине, в толще вод присутствуют ярко выраженные КВВ. Сопоставление записей колебаний температуры с ходом приливных течений показало, что цуги КВВ преимущественно регистрировались при смене направления приливных течений или в периоды максимума приливного течения. Анализ распределения критерия tidal body force и числа Фруда показал, что источником зарегистрированных КВВ вероятнее всего является дезинтеграция суточных ВПВ в области пролива.

Данная работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2021-0014.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов К.Т., Мороз В.В. Структура, динамика и гидролого-акустические характеристики вод проливов Курильской гряды. Владивосток: Дальнаука, 2000. 152 с.
2. Родионов А.А., Андросов А.А., Фофонова В.В., Кузнецов И.С., Вольцингер Н.Е. Моделирование приливной динамики северных проливов Курильской гряды // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2021. Т. 14, No 3. С. 20–34. doi: 10.7868/S2073667321030023
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 9. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Б.Х. Глуховского. Л.: Гидрометеоздат, 1998. 318 с.
4. Morozov E. G. *Oceanic Internal Tides. Observations, Analysis and Modeling. A Global View*. Springer, Switzerland, 2018. 316 p.
5. Коняев К.В., Сабинин К.Д. Волны внутри океана. Л.: Гидрометеоздат, 1992. 269 с.
6. Tanaka Y., Yasuda I., Osafune S., Tanakab T., Nishiokad J., Volkove Y.N. Internal tides and turbulent mixing observed in Bussol Strait // *Prog. Oceanogr.* 2014. Vol. 126. P. 98–108.
7. Nakamura T., Awaji T. Tidally induced diapycnal mixing in the Kuril Straits and its role in water transformation and transport: A three-dimensional nonhydrostatic model experiment // *J. Geophys. Res.* 2004. V109. C09S07.
8. Свєргун Е.И., Зимин А.В., Лазуткина Е.С. Характеристики проявлений короткопериодных внутренних волн Курило-Камчатского региона по данным спутниковых наблюдений в летний период // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2021. Т. 14. № 1. С. 106–115.
9. Жегулин Г. В. Оценка статистической взаимосвязи гидрологических и гидрооптических характеристик по данным измерения короткопериодных внутренних волн в глубоководном районе Баренцева моря // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12, № 1. С. 85–94.
10. Egbert G. D., Erofeeva S. Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides // *J. Oceanic Atmos. Technol.* 2002. Vol. 19. P. 183–204.
11. Pichon A., Morel Y., Baraille R., Quaresma L. Internal tide interactions in the Bay of Biscay: Observations and modelling // *Journal of Marine Systems*. 2013. 109. V. 109–110. P. S26–S44.
12. Батиметрия ETOPO1 – <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ngdc.mgg.dem:316> (дата обращения: 30.06.2022).
13. Copernicus Marine Service. [https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL\\_REANALYSIS\\_PHY\\_001\\_030/INFORMATION](https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030/INFORMATION) (дата обращения: 30.06.2022).
14. Jackson C.R., da Silva J.C.B., Jeans. G. 2012. The generation of nonlinear internal waves // *Oceanography*. 2012. Vol. 25(2). P.108–123.
15. Зимин А.В., Родионов А.А., Жегулин Г.В. Короткопериодные внутренние волны на шельфе Белого моря: сравнительный анализ наблюдений в различных районах // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2013. Т. 6, № 3. С. 19–33.
16. Itoh S., Tanaka Y., Osafune S., Yasuda I., Yagi M., Kaneko H., Konda S., Nishioka J., Volkov Y.N. Direct breaking of large-amplitude internal waves in the Urup Strait // *Progress in Oceanography*. 2014. Vol. 126. P. 109–120.



## Сведения об авторах

**СВЕРГУН Егор Игоревич**, м.н.с.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 199004, Санкт-Петербург, 1-я Линия В.О. д. 30

**Область научных интересов:** короткопериодные внутренние волны, мезомасштабные вихревые структуры, приливная динамика, спутниковые наблюдения, контактные измерения.

Тел.: +79214435087

E-mail: egor-svergun@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-9228-5765

**КОНИК Александр Александрович**, м.н.с.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 199004, Санкт-Петербург, 1-я Линия В.О. д. 30

**Область научных интересов:** короткопериодные внутренние волны, мезомасштабные вихревые структуры, фронтальная динамика, спутниковые наблюдения, контактные измерения.

Тел.: +79522816745

E-mail: konikrshu@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2089-158X

**РОДИОНОВ Анатолий Александрович**, д.т.н., член-корреспондент РАН, директор филиала

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 199004, Санкт-Петербург, 1-я Линия В.О. д. 30

**Область научных интересов:** фундаментальные проблемы гидрофизики и гидродинамики

Тел.: +7 (812) 328-50-66

E-mail: office@spb.ocean.ru

ORCID: 0000-0002-2377-5621

**ЗИМИН Алексей Вадимович**, д.г.н., доцент, г.н.с.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 199004, Санкт-Петербург, 1-я Линия В.О. д. 30

**Область научных интересов:** физика океана, волновые процессы в океане, турбулентность и мелкомасштабные процессы, методы и средства океанологических наблюдений, Северный Ледовитый океан

Тел.: +79626959172

E-mail: zimin2@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1662-6385

## Для цитирования:

Свергун Е.И., Коник А.А., Родионов А.А., Зимин А.В. КОРОТКОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПРОЦЕССОВ В ЧЕТВЕРТОМ КУРИЛЬСКОМ ПРОЛИВЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ // Подводные исследования и робототехника. 2022. № 4 (42). С. 53–61. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_42\_04\_05. EDN: IHVDEO.



# SHORT-PERIOD VARIABILITY OF HYDROPHYSICAL FIELDS AND PROCESSES IN THE FOURTH KURIL STRAIT ACCORDING TO EXPEDITION STUDIES

**E.I. Svergun, A.A. Konik, A.A. Rodionov, A.V. Zimin**

Based on the synthesis of the results of expeditionary research and the global tidal atlas, the paper examines the causes of short-period internal waves in the area of the Fourth Kuril Strait. Measurements on the shelf of Paramushir Island near Cape Vasiliev using a thermistor chain made it possible for the first time for the Fourth Kuril Strait to register internal waves with periods from 5 to 25 minutes and amplitudes up to 2.5 m. They were manifested during 44% of the total observation time. Short-period waves appeared against the background of tidal changes in the vertical structure covering the entire water column. Comparison of records of temperature fluctuations with the tidal current vector according to the TPXO9 atlas showed that short-period variability intensified with a change in the direction of the tidal current or an increase in its modulus. Evaluation of the tidal body force criterion for the lunar-solar diurnal declination harmonic ( $K_1$ ) allowed us to demonstrate that the main source of the recorded short-period waves is the disintegration of internal tidal waves in the strait region.

**Keywords:** un situ observations, short-period internal waves, internal tide, Fourth Kuril Strait.

## References

1. Bogdanov K.T., Moroz V.V. *Struktura, dinamika i gidrologo-akusticheskie kharakteristiki vod prolivov Kuril'skoi gryady*. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 152 p.
2. Rodionov A.A., Androsov A.A., Fofonova V.V., Kuznetsov I.S., Voltzinger N.E. Modeling the Tidal Dynamics of the Northern Straits of the Kuril Ridge. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2021, 14, 3, 20–34. doi: 10.7868/S2073667321030023.
3. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei SSSR*. Vol. 9. Okhotskoe more. Vyp.1. *Gidrometeorologicheskie usloviya*. Pod red. B. Kh. Glukhovskogo. L.: Gidrometeoizdat. 1998. 318 p.
4. Morozov E. G. *Oceanic Internal Tides. Observations, Analysis and Modeling*. A Global View, Springer, Switzerland, 2018. 316 p.
5. Konyaev K.V., Sabinin K.D. *Volny vnutri okeana*. L.: Gidrometeoizdat. 1992. 269 p.
6. Tanaka Y., Yasuda I., Osafune S., Tanakab T., Nishiokad J., and Volkove Y.N. Internal tides and turbulent mixing observed in Bussol Strait. *Prog. Oceanogr.* 2014. V. 126. P. 98-108.
7. Nakamura T., Awaji T. Tidally induced diapycnal mixing in the Kuril Straits and its role in water transformation and transport: A three-dimensional nonhydrostatic model experiment. *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109. C09S07
8. Svergun E.I., Zimin A.V., Lazutkina E.S. *Kharakteristiki proyavlenii korotkoperiodnykh vnutrennikh voln Kurilo-Kamchatskogo regiona po dannym sputnikovyykh nablyudenii v letnii period*. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 106-115.
9. Zhegulin G. V. *Otsenka statisticheskoi vzaimosvyazi gidrologicheskikh i gidroopticheskikh kharakteristik po dannym izmereniya korotkoperiodnykh vnutrennikh voln v glubokovodnom raione Barentseva morya*. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*. 2019. Vol. 12. No.1. P. 85–94.
10. Egbert G. D., Erofeeva S. Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *J. Oceanic Atmos. Technol.* 2002. Vol. 19. P. 183–204
11. Pichon A., Morel Y., Baraille R., Quaresma L. Internal tide interactions in the Bay of Biscay: Observations and modelling. *Journal of Marine Systems*. 2013. 109. Vol. 109–110. P. S26-S44.
12. ETOPO1 Bathymetry. <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ngdc.mgg.dem:316>. Accessed: 30.06.2022.
13. Copernicus Marine Service. [https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL\\_REANALYSIS\\_PHY\\_001\\_030/INFORMATION](https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030/INFORMATION). Accessed: 30.06.2022.
14. Jackson C.R., da Silva J.C.B., Jeans. G. 2012. The generation of nonlinear internal waves. *Oceanography*. 2012. Vol. 25(2). P. 108–123.
15. Zimin A.V., Rodionov A.A., Zhegulin G.V. *Korotkoperiodnye vnutrennie volny na shel'fe Belogo morya: sravnitel'nyi analiz nablyudenii v razlichnykh raionakh*. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*. 2013. Vol. 6. No. 3. P. 19-33.
16. Itoh S., Tanaka Y., Osafune S., Yasuda I., Yagi M., Kaneko H., Konda S., Nishioka J., Volkov Y.N. Direct breaking of large-amplitude internal waves in the Urup Strait. *Progress in Oceanography*. 2014. Vol. 126. P. 109-120.

## Recommended citation:

Svergun E.I., Konik A.A., Rodionov A.A., Zimin A.V. SHORT-PERIOD VARIABILITY OF HYDROPHYSICAL FIELDS AND PROCESSES IN THE FOURTH KURIL STRAIT ACCORDING TO EXPEDITION STUDIES. *Underwater investigations and robotics*. 2022. No. 4 (42). P. 53–61. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_42\_04\_05. EDN: IHBD EO.

## About authors

**SVERGUN Egor Igorevich**, Junior Researcher  
 P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences  
**Address:** 199004, Saint Petersburg, Pervaya Liniya V.O. 30  
**Area of scientific interests:** short-period internal waves, mesoscale vortex structures, tidal dynamics, satellite observations, contact measurements.  
**Phone:** +79214435087  
**E-mail:** egor-svergun@yandex.ru  
**ORCID:** 0000-0002-9228-5765

**KONIK Alexandr Alexandrovich**, Junior Researcher  
 P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences  
**Address:** 199004, Saint Petersburg, Pervaya Liniya V.O. 30  
**Area of scientific interests:** short-period internal waves, mesoscale vortex structures, frontal dynamics, satellite observations, contact measurements.  
**Phone:** +79522816745  
**E-mail:** konikrshu@gmail.com  
**ORCID:** 0000-0002-2089-158X

**RODIONOV Anatoly Aleksandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Branch Director  
 P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences  
**Address:** 199004, Saint Petersburg, Pervaya Liniya V.O. 30  
**Research interests:** fundamental problems of hydrophysics and hydrodynamics  
**Phone:** +7 (812) 328-50-66  
**E-mail:** office@spb.ocean.ru  
**ORCID:** 0000-0002-2377-5621

**ZIMIN Alexey Vadimovich**, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher  
 P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences  
**Address:** 199004, Saint Petersburg, Pervaya Liniya V.O. 30  
**Research interests:** ocean physics, wave processes in the ocean, turbulence and small-scale processes, methods of oceanological observations, the Arctic Ocean  
**Phone:** +79626959172  
**E-mail:** zimin2@mail.ru  
**ORCID:** 0000-0003-1662-6385

