

Особенности режима волнения в бухтах и на побережье острова Шикотан Малой Курильской гряды

© 2020 П. Д. Ковалев, Д. П. Ковалев*, А. А. Шишкин

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

*E-mail: d.kovalev@imgg.ru

Резюме. Представлены результаты изучения волнения в бухтах Церковная, Димитрова и на восточном побережье о. Шикотан (Малая Курильская гряда) по данным натурных наблюдений за волнением в течение 2015–2018 гг. Целью исследований был анализ опасного волнения в широком диапазоне периодов, его проявлений в бухтах и прибрежной зоне острова. Показано, что в бухтах хорошо выражены сейшевые колебания, которые могут усиливаться при приходе штормов. Наибольшую опасность представляют сейши в диапазоне периодов существования тягуна с периодами около 3 мин в бухте Димитрова и 3.8 мин в бухте Церковная. Расчет добротностей исследуемых бухт показал, что для приходящих на вход бухт волн с периодами близкими к резонансным возможно резонансное усиление амплитуды до 6.5 раз. Поэтому можно ожидать проявления в бухтах тягуна, который представляет опасность для маломерных судов, находящихся в бухтах во время шторма. Показано распространение краевых волн во внешней, береговой зоне, которые проникают в обе бухты, а также возбуждение шельфовой сейши с периодом около 15 мин.

Ключевые слова: ветровое волнение, зыбь, тягун, сейши, краевые волны, о. Шикотан.

Для цитирования: Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Шишкин А.А. Особенности режима волнения в бухтах и на побережье острова Шикотан Малой Курильской гряды. *Геосистемы переходных зон*, 2020, т. 4, № 2, с. 250–258. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.2.250-258>

Study of waves in the bays and on the coast of Shikotan Island in the Lesser Kuril ridge

Peter D. Kovalev, Dmitry P. Kovalev*, Alexander A. Shishkin

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

*E-mail: d.kovalev@imgg.ru

Abstract. The results of a study of waves occurring in the bays of Tserkovnaya, Dimitrov and on the east coast of Shikotan Island (the Lesser Kuril ridge) according to field observations during 2015–2018 are presented. The purpose of the research was to analyse dangerous waves occurring over a wide range of time periods and their manifestations in the bays and coastal zone of the island. It is shown that the bays have well-defined seiche fluctuations, which increase as a consequence of storms. A significant hazard is represented by seiches characterised by harbour oscillation having periods of about 3 minutes in the Bay of Dimitrov and 3.8 minutes in the Bay of Tserkovnaya. The calculation of the Q-factor of the studied bays showed that for waves with periods close to harbour resonance occurring at the entrance of bays, an amplification of the amplitude up to 6.5 times is possible, posing a danger to small vessels moored in the bays during times of storm. It is shown that the propagation of edge waves in the outer coastal zone, which penetrate into both bays, as well as the excitation of the shelf seiche, has a period of about 15 minutes.

Keywords: wind waves, swell, harbor oscillations, seiches, edge waves, Shikotan Island.

For citation: Kovalev P.D., Kovalev D.P., Shishkin A.A. Study of waves in the bays and on the coast of Shikotan Island in the Lesser Kuril ridge. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 250–258 (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.2.250-258>

Финансирование

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Института морской геологии и геофизики ДВО РАН.

Введение

Морские бухты используются в различных целях: для устройства портов, пляжей, другой инфраструктуры. Поэтому изучение динамических процессов в бухтах имеет большую практическую ценность. Одно из распространенных явлений в ограниченных бассейнах – сейши, они наблюдаются как в водоемах в целом, так и в отдельных бухтах [Манилюк, Черкесов, 2017; Долгих и др., 2016; Шевченко и др., 2010].

Сейши играют важную роль в динамике заливов или бухт и оказывают значительное влияние на условия работы расположенных на их побережье портов и других промышленных объектов. Для побережья Курильских островов и в несколько меньшей степени для Сахалина эти собственные колебания ассоциируются прежде всего с проблемой цунами – для большинства бухт их резонансные периоды близки к характерным периодам проявления волн цунами (от нескольких минут до нескольких часов).

Остров Шикотан располагается в северо-западной части Тихого океана и входит в состав островов Малой Курильской гряды. Восточное побережье острова обращено к океану и Курило-Камчатскому желобу с резким нарастанием глубины. Так, на расстоянии около 5 км от берега глубина достигает 80–100 м. Поэтому проблема укрытия малых рыбопромысловых судов, работающих вблизи острова, с возможностью якорной стоянки во время штормов при ветрах западных направлений является актуальной.

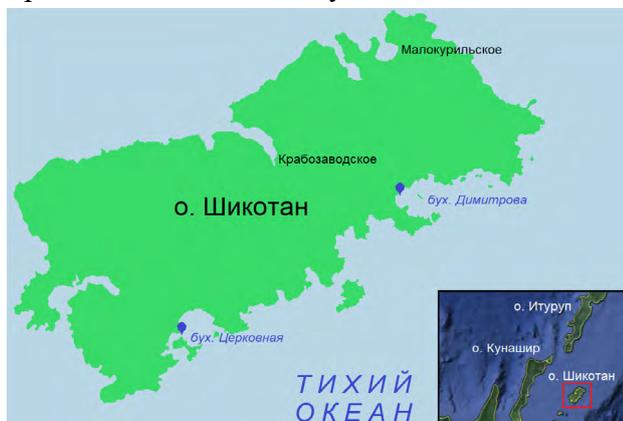


Рис. 1. Расположение о. Шикотан и исследуемых бухт. Показаны места установки регистраторов волнения.

Figure 1. Maps of Shikotan Island and Dimitrov and Tserkovnaya bays with the devices location.

Бухты Димитрова и Церковная, расположенные на восточном побережье о. Шикотан (рис. 1), хорошо защищены от южных, западных и северо-западных ветров и могут служить якорной стоянкой для малых судов. Бухта Церковная более закрытая, и здесь относительно спокойно даже при штормах с восточной стороны острова. Зимой бухты не замерзают, но при южных и восточных ветрах забиваются дрейфующим льдом, который в них долго не задерживается.

В то же время приходящая из океана на вход бухты зыбь или волна цунами может вызвать усиление собственных колебаний в бухтах и даже появление тягуна, что может оказаться опасным для судов, находящихся в бухтах. Поэтому необходимо изучение собственных колебаний бухт.

С этой целью, а также для регистрации возможных волн цунами в бухтах Димитрова и Церковная на протяжении многих лет Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН устанавливаются регистраторы волнения. С 2009 г. институт начал использовать новые регистраторы волнения с секундной дискретностью и автономностью до 1 года, позволяющие более детально и качественно проводить изучение волнения в прибрежной зоне. Интерес к сейшам обусловлен необходимостью решения задач не только чисто прикладного характера, но и, в основном, задач фундаментальных, связанных с энергообменом геосфер, механизмом возбуждения сейш, их линейным и нелинейным поведением.

Целью настоящего исследования был анализ опасного волнения в широком диапазоне периодов, его проявлений в бухтах и прибрежной зоне острова. Ранее работы других исследователей в этом регионе были сфокусированы в основном на проблеме цунами, где модовая структура собственных колебаний в бухтах рассматривалась лишь как важная характеристика проявлений цунами [Шевченко и др., 2017; Шевченко и др., 2018], тогда как настоящее исследование посвящено анализу модовой структуры в качестве интересной и самостоятельной задачи, как, например, в [Манилюк и др., 2019].

Материалы и методы

В настоящей работе для бухты Димитрова анализируются временные ряды колебаний уровня моря (волнения) с дискретностью 1 с длительностью 5 мес. в 2015 г. и 14 мес. в 2017–2018 гг. За это время наблюдались два сильных шторма: 8 октября 2015 г. с высотой волн до 2.2 м и 23 января 2018 г. с высотой волн до 2 м. В остальных штормовых случаях высота волн была около 1 м. Следует отметить, что с середины февраля до середины сентября море в бухте Димитрова обычно относительно спокойно, с высотой волн до 30 см.

Для бухты Церковная использовался временной ряд с октября 2017 по сентябрь 2018 г. продолжительностью 12 мес. Высота волн здесь существенно ниже, чем в бухте Димитрова, во время шторма 23 января 2018 г. высота волн достигала только 30 см. Это объясняется большей закрытостью бухты. Следует также отметить, что с октября 2017 по январь 2018 г. записи проводились синхронно в обеих бухтах, и это позволяет провести взаимно-спектральный анализ волнения, которое может возбуждаться приходящими на вход бухт волнами, и установить связь между проявлениями волнения в обеих бухтах.

Результаты и обсуждение

С использованием специальной, разработанной в лаборатории волновой динамики и прибрежных течений ИМГиГ ДВО РАН программы Кута [Ковалев, 2018] была проведена визуализация и выполнен спектральный и взаимно-спектральный анализ полученных временных рядов. Следует отметить, что с целью более детального анализа изучение волнения проводилось в диапазонах периодов волн от 2 с до 200 мин с необходимой детализацией для исследуемых типов волнения.

В диапазоне ветровых волн и зыби в бухтах Димитрова и Церковная с приходом шторма вначале наблюдается появление коротких ветровых волн с периодами от 2.5 с (рис. 2). Их период медленно растет и примерно через 12 ч волнение переходит в зыбь, периоды которой также растут в течение 12 ч, пока не достигнут максимума 15–18 с в бухте Димитрова и примерно 15 с в бухте Церковная. При этом поведение волнения в бухтах, как показывают данные наблюдений, не зависит от времени года.

С появлением зыби с периодами около 12 с в результате нелинейного взаимодействия этих волн начинается генерация инфрагравитационных волн [Munk, 1949; Tucker,

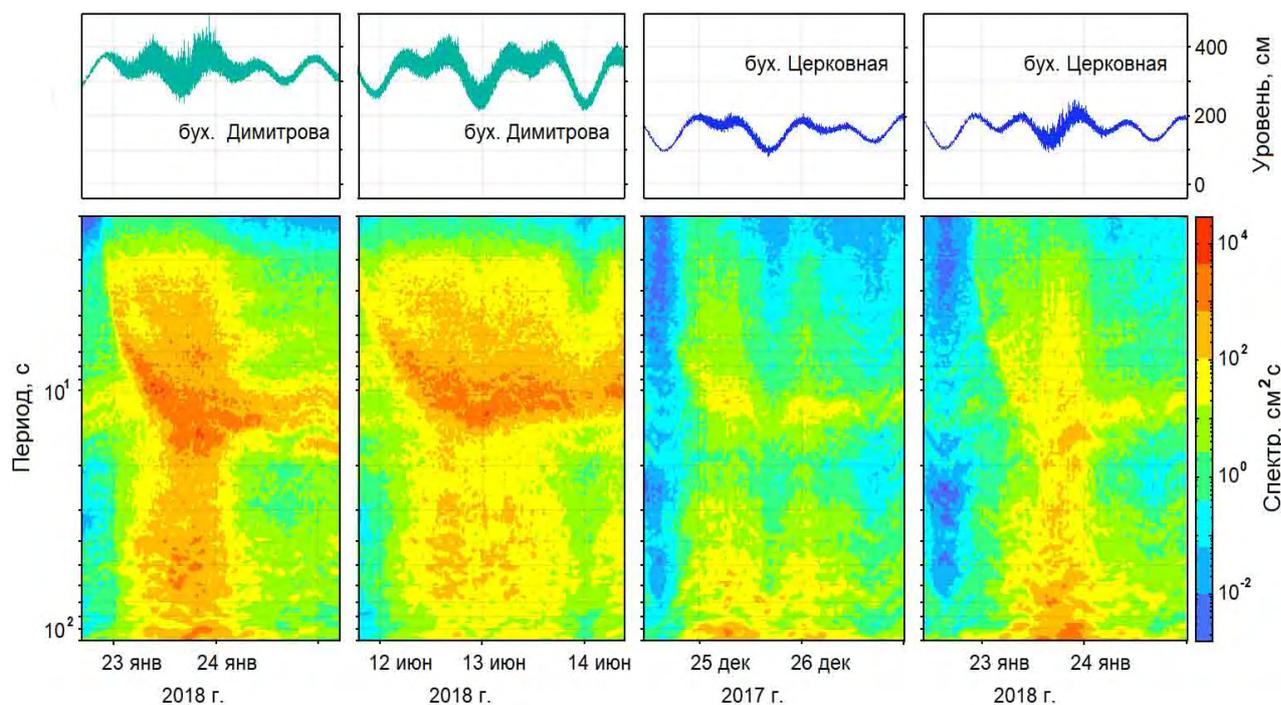


Рис. 2. Спектры волнения в бухтах для диапазона периодов 2–100 с.

Figure 2. Wave spectra in the bays for the period range 2–100 s.

1950] без ярко выраженной модовой структуры в диапазоне периодов от 18 с до почти 10 мин. Эти инфрагравитационные волны способствуют генерации в бухтах сейш, в том числе и ответственных за явление тягуна. Следует отметить, что во время наших исследований волнения в прибрежной зоне о. Сахалин вначале регистрировалась зыбь, приходящая от удаленного шторма, и только с приходом шторма начиналось ветровое волнение [Ковалев и др., 2019].

Такое поведение ветровых волн, опережающих приход зыби, обусловлено прежде всего розой ветров для данного района. Так, диаграмма розы ветров для близкого к району наблюдений пункта на о. Кунашир в Южно-Курильске (по данным <https://www.meteoblue.com/>) показывает, что основные направления ветров южное и северо-западное. Карты скоростей поверхностного ветра над океаном, приведенные на сайте NASA (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>), также подтверждают, что ветра для рассматриваемого события 22–24 января были северо-западного направления. И, по-видимому, о. Шикотан закрывает бухты восточного побережья от раннего прихода в них зыби.

По спектрам для диапазона периодов до 1 мин видно, что записи волнения в обеих бухтах схожи, но ветровое волнение и зыбь в бухте Димитрова имеют большие высоты волн, чем в Церковной, в связи с большей закрытостью последней. Поэтому и энергия инфрагравитационных волн, являющихся результатом взаимодействия волн зыби, в бухте Димитрова больше.

Спектры для диапазона периодов 1–40 мин (рис. 3) свидетельствуют, что в каждой бухте имеется своя система сейш с различными периодами колебаний, энергия которых увеличивается во время шторма. Интересной особенностью является наличие в обеих бухтах колебаний с периодом около 15 мин, когерентность на этих периодах достигает 0.8.

Рассмотрим подробнее волновые процессы в диапазоне периодов 1 – 40 мин, для которого были рассчитаны спектры колебаний уровня моря, приведенные на рис. 4. Видно, что при шторме энергия волнения в диапазо-

не периодов до 6 мин возрастает на два порядка. При этом основные энергонесущие пики, на которых можно ожидать проявления тягуна, расположены на периодах около 3 мин для бухты Димитрова и 3.8 мин для бухты Церковная.

Известно [Рабинович, 1993], что способность усиливать приходящие на вход бухты волны определяется добротностью бухты.

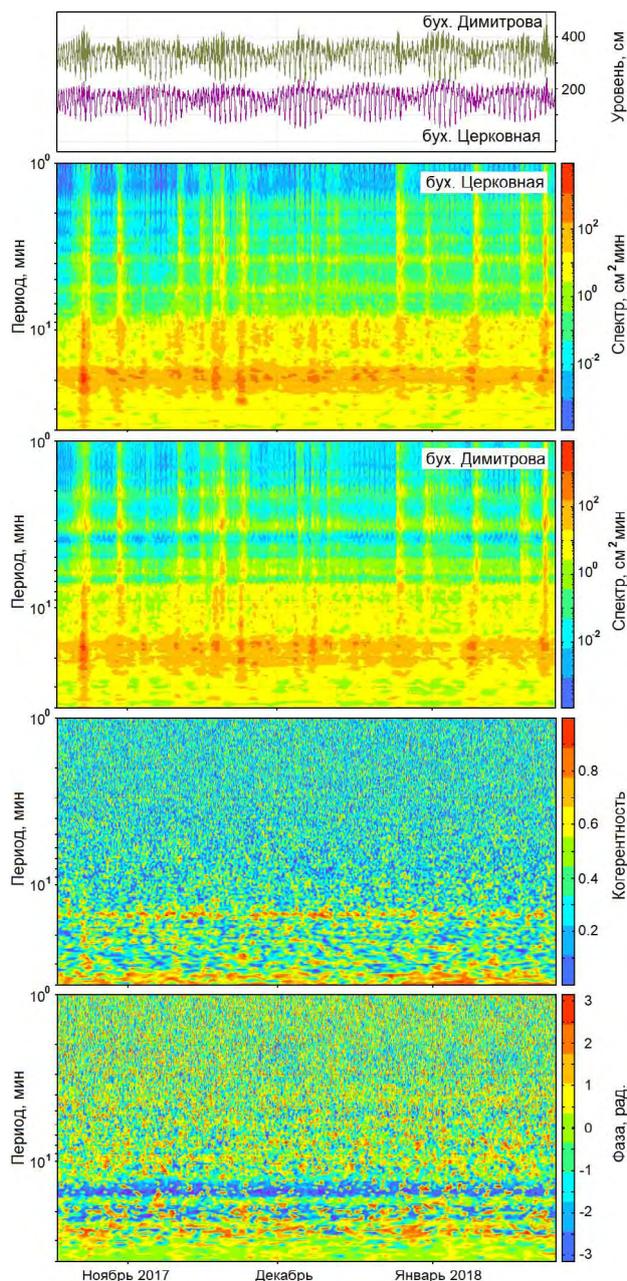


Рис. 3. Временные ряды наблюдений и взаимно-спектральные характеристики волнения для бухт Димитрова и Церковная для периодов волн от 1 до 40 мин.

Figure 3. Time series of observations and cross-spectral characteristics of waves for Dimitrov and Tserkovnaya bays for wave periods from 1 to 40 minutes.

Расчет добротности Q резонансной системы акваторий бухт для указанных выше периодов проводился из спектров, основываясь на том, что добротность определяет относительную величину резонансного максимума в энергетическом спектре колебаний [Зернов, Карпов, 1972]. Если система обладает достаточно высокой добротностью, то она определяется выражением:

$$Q = \omega_0 / \Delta\omega, \quad (1)$$

где ω_0 – резонансная частота системы (резонансного максимума), $\Delta\omega$ – ширина максимума. При этом ширина максимума определяется как полоса частот, в пределах которой энергия колебаний спадает в 2 раза [Зернов, Карпов, 1972].

Максимальное (резонансное) значение амплитуды вынужденных колебаний можно определить из выражения:

$$A_{\text{рез}} = A_{\text{вн}} \omega_0^2 / 2\delta \sqrt{(\omega_0^2 - \delta^2)}, \quad (2)$$

где δ – коэффициент затухания ($\delta = \omega_0 / 2Q$), ω_0 – резонансная частота системы, $A_{\text{вн}}$ – амплитуда приходящей волны [Рабинович, 1993].

Расчет показал, что добротность резонансной системы бухты Димитрова 6.1, а бухты Церковная 6.3, и при этом следует ожидать резонансного усиления приходящих на вход бухт на резонансных периодах волн примерно в 6.5 раза. Таким образом, возмож-

но значительное усиление волн и проявление тягуна в обеих бухтах на периодах около 3 мин. Заметим, что на близких к 3 мин периодах тягун проявляется в бухтах портов Холмск и Корсаков [Ковалев и др., 2007; Ковалев, 2012], и этот период определяется, по видимому, особенностями судов и их меньшей устойчивостью к раскачке.

Далее проведем расчет собственных колебаний в изучаемых бухтах и сравним с экспериментальными данными. Применение сложной модели с конформным отображением области бухты на круг или кольцо с помощью рекуррентного численного RT -алгоритма [Рабинович, Тюрин, 1983 а, б] существенно усложняет расчет, но не дает значительного выигрыша в точности определения периодов сейш в связи с изменением глубины и береговой линии на приливно-отливном цикле. Расчет сейш проводился с использованием формулы для открытого с одного конца бассейна по формуле (3), приведенной в работе [Рабинович, 1993]:

$$T_n = \frac{4L}{(2n + 1)\sqrt{gH}}, \quad (3)$$

где L – длина бассейна, $n = 0, 1, 2, \dots$ – номер моды, H – глубина, g – ускорение свободного падения.

Наряду с (3) использовалось выражение из [Манилюк, Черкесов, 2016] для вычисления

периодов сейшевых колебаний жидкости. Расчеты, выполненные в диапазоне периодов от 0.5 до 10 мин, показали, что для хорошо выраженных в спектрах пиков близкие к наблюдаемым значения периодов в обеих бухтах получены с применением уравнения (3). Вычисления подтвердили наличие сейш на периодах около 3 мин для бухты Димитрова и 3.8 мин для бухты Церковная.

Расчеты показали наличие пиков в спектрах волнения для обеих бухт на пери-

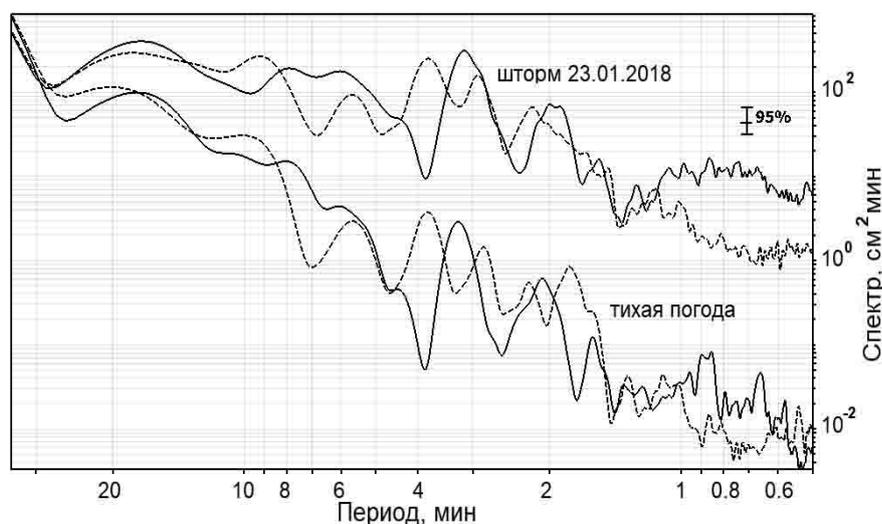


Рис. 4. Спектры колебаний уровня моря в бухтах Димитрова (сплошная линия) и Церковная (пунктирная линия).

Figure 4. Spectra of the sea level fluctuations in Dimitrov (solid line) and Tserkovnaya (dotted line) bays.

одах около 18 мин для Церковной и 17 мин для Димитрова, что согласуется с данными наблюдений и присутствием в спектрах обеих бухт (рис. 4) широкого максимума на указанных периодах, при этом в бухте Димитрова его величина значительно больше доверительного интервала. Текущие спектры также имеют максимумы на периодах 18 и 17 мин. Эти максимумы соответствуют нулевым модам (модам Гельмгольца) для обеих бухт.

Однако ранее отмеченный на диаграмме когерентности (рис. 3) узкий максимум располагается на периоде около 15 мин, который на спектрах колебаний уровня моря визуально не обнаруживается, поскольку его энергия на порядок меньше, чем энергия сейш с нулевой модой, и он как бы сливается с их пиками. Диаграмма текущей фазы подтверждает наличие колебаний в бухтах с этим периодом, обусловленных, по-видимому, волной с периодом 15 мин, приходящей из внешней акватории и, возможно, передающей энергию близким по периодам волнам. То, что это волна из внешней акватории – прибрежной (шельфовой) зоны о. Шикотан, как раз и подтверждает когерентность, показывая высокую степень связи между волнами в бухтах, и эта связь может осуществляться только через внешнюю акваторию.

Рассмотрим возможность существования волны с периодом около 15 мин в краевой области вблизи о. Шикотан. Для этого используем профиль глубины для этого района, который приведен в [Рабинович, 1993]. Там же взяты и выражения для расчета дисперсионной диаграммы для модели выпуклого экспоненциального профиля.

Расчет дисперсионной диаграммы показал, что для модели профиля, аппроксимирующего реальный профиль глубины, возможно существование краевой волны с периодом 15.2 мин и длиной 25.3 км. При расстоянии между бухтами Церковная и Ди-

митрова около 12.4 км эта дистанция будет составлять около $\frac{1}{2}$ длины краевой волны. И это будет соответствовать фазовому спектру (рис. 3) с разностью фаз около 3 рад. В этом случае волна распространяется с севера и сначала проходит к входу в бухту Димитрова, а далее к бухте Церковная.

При анализе колебаний с периодом около 15 мин проверялись все возможные варианты генерации волн с этим периодом в рассматриваемом районе. Поэтому были рассчитаны периоды шельфовых сейш для наклона дна $\alpha = 0.036$ и ширины шельфа $L = 225$ км по приведенной в [Рабинович, 1993] формуле:

$$T_n = 8\sqrt{L}/(n\sqrt{g\alpha}), \quad (4)$$

где $n = 1, 3, 5, \dots$, – номер моды. Вычисления показали, что период седьмой моды шельфовой сейши равен 15.2 мин и близок к обнаруженному максимуму в спектрах на периоде 15 мин. Это подтверждает предположение о том, что проходящая краевая волна возбуждает шельфовые сейши в резонансной акватории восточного побережья о. Шикотан.

Анализ спектров для диапазона периодов 30–200 мин (рис. 5) показал наличие нескольких максимумов волновой энергии в обеих бухтах. Расчеты, сделанные с целью идентификации типов волн, позволили установить,

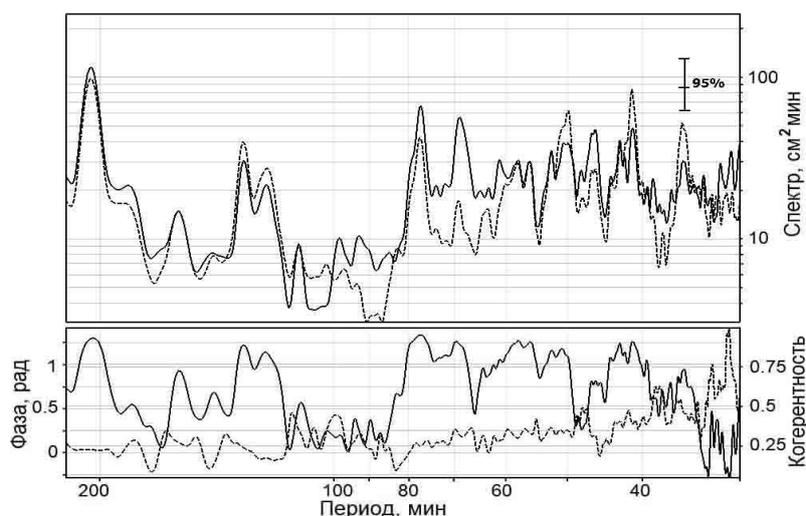


Рис. 5. Спектры колебаний уровня моря для диапазона периодов 30–200 мин по данным наблюдений в бухтах Димитрова (пунктирная линия) и Церковная (сплошная линия). Когерентность – сплошная линия, фаза – пунктирная.

Figure 5. Spectra of sea level fluctuations for a range of periods of 30–200 minutes according to observations in Dimitrov (dotted line) and Tserkovnaya (solid line) bays. Coherence is a solid line, phase is a dotted line.

что волны с периодом около 35 мин обусловлены третьей модой шельфовой сейши. Волны более длинных периодов, согласно рассчитанной дисперсионной диаграмме, могут быть отнесены к краевым волнам. В то же время, поскольку краевые волны распространяются вдоль побережья, должна существовать разность фаз между двумя точками наблюдения.

Разность фаз между бухтами Димитрова и Церковная уменьшается с увеличением длины периода, поскольку при этом растет и длина волны. Поэтому на расстоянии около 12 км более длинные волны будут иметь меньший набег фазы, и разность фаз будет уменьшаться с увеличением периода. Расчеты показывают, что для краевой волны первой моды с периодом 42 мин длина волны составляет около 440 км. При этом набег фазы на дистанции 12 км равен 0.18 рад. Из графика (рис. 5) можно видеть, что разность фаз несколько больше – около 0.25 рад. Возможно, что это расхождение связано с изрезанностью береговой линии и допущениями при аппроксимации. При дальнейшем увеличении периода краевых волн набег фазы должен уменьшаться, что и наблюдаем на графике фазы рис. 5.

Заключение

Проведен детальный анализ волнения в бухтах Димитрова и Церковная, расположенных на восточном побережье о. Шикотан Малой Курильской гряды, с целью исследования опасных сейшевых колебаний для обеспечения безопасности мореплавания в бухтах и в частности якорной стоянки малых судов.

Анализ волновых процессов в диапазоне периодов 30 с – 40 мин по данным натурных наблюдений показал наличие в бухтах хорошо выраженных систем собственных колебаний. Основные энергонесущие пики в спектрах расположены на периодах около 3 мин

для бухты Димитрова и 3.8 мин для бухты Церковная.

Показано, что добротность бухты Димитрова 6.1, а бухты Церковная 6.3. И на периодах около 3 мин следует ожидать резонансного усиления амплитуды до 6.5 раза приходящих на вход бухт волн с периодами близкими к резонансным. Поэтому на данных периодах возможно проявление тягуна, опасного для маломерных судов, находящихся в бухтах во время шторма.

Расчет периодов сейш в бухтах Димитрова и Церковная показал возможность генерации сейш с периодами от 1.6 до 9 мин и соответствие периодов сейш зарегистрированным в спектрах максимумам. Кроме того, в спектрах выделяются максимумы с периодами 18 мин для бухты Церковная и 17 мин для бухты Димитрова, что согласуется с данными расчетов для мод Гельмгольца этих бухт.

На рассчитанной диаграмме текущей когерентности наблюдается устойчивый максимум, достигающий 0.8 на периоде колебаний около 15 мин, который на спектрах колебаний уровня моря не выделяется, поскольку его энергия на порядок меньше, чем сейш с нулевой модой, и он как бы сливается с их пиками. Объяснение этому волновому процессу дано путем расчета, показавшего существование краевой волны с периодом 15.2 мин на восточном побережье о. Шикотан, что подтверждается и рассчитанной диаграммой текущей фазы. Показано, что проходящая краевая волна возбуждает шельфовые сейши в резонансной акватории восточного побережья о. Шикотан.

Спектры колебаний уровня показали наличие волновых процессов в диапазоне периодов 30–200 мин. Установлено, что первый из них, с периодом около 35 мин, вызван третьей модой шельфовой сейши, а другие относятся к краевым волнам.

Список литературы

1. Долгих Г.И., Будрин С.С., Долгих С.Г., Плотников А.А., Чупин В.А., Швец В.А., Яковенко С.В. 2016. Собственные колебания уровня воды в бухтах залива Посьета Японского моря. *Метеорология и гидрология*, 8: 57–63.
2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. 1972. *Теория радиотехнических цепей*. Л.: Энергия, 816 с.

3. Данные и информационная система наблюдения Земли. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov> (дата обращения: 23.06.2019).
4. Ковалев Д.П. **2012**. Экспериментальные исследования явления тягуна в основных портах Сахалинской области. *Мир транспорта*, 6: 36–43.
5. Ковалев Д.П. **2018**. *Кута: программа для ЭВМ*. RU 2018618773. № 2018612587; заявл. 20.03.2018; опубл. 19.07.2018.
6. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. **2007**. Экспериментальные исследования явления тягуна в порту г. Холмск. *Известия АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика*. Н-Новгород: НГТУ, 20: 106–112.
7. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Хузеева М.О. **2019**. Оценка параметров волн зыби для прогнозирования штормовых ситуаций. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2(372): 114–128.
8. Манилюк Ю.В., Лазоренко Д.И., Фомин В.В. **2019**. Резонансные колебания в системе смежных бухт. *Морской гидрофизический журнал*, 5: 423–436. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-5-423-436>
9. Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В. **2016**. Исследование свободных колебаний жидкости в ограниченном бассейне, представляющем приближенную модель Азовского моря. *Морской гидрофизический журнал*, 2: 16–26. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2016-2-16-26>
10. Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В. **2017**. Исследование сейшевых колебаний в бухте со свободным входом. *Морской гидрофизический журнал*, 4: 16–25. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-4-16-25>
11. Рабинович А.Б. **1993**. *Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение*. Л.: Гидрометеоздат, 325 с.
12. Рабинович Б.И., Тюрин Ю.В. **1983а**. Об одном рекуррентном численном методе конформного отображения. *Докл. АН СССР*, 272(3): 532–535.
13. Рабинович Б.И., Тюрин Ю.В. **1983б**. Рекуррентный численный метод конформного отображения двусвязных областей на круговое кольцо. *Докл. АН СССР*, 272(4): 795–798.
14. Шевченко Г.В., Лоскутов А.В., Кайстренко В.М. **2018**. Новая карта цунамирайонирования Южных Курильских островов. *Геосистемы переходных зон*, 2(3): 225–238. <http://dx.doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.3.225-238>
15. Шевченко Г.В., Лоскутов А.В., Шишкин А.А., Ивельская Т.Н. **2017**. Особенности появления Чилийских цунами 1 апреля 2014 г. и 16 сентября 2015 г. на Тихоокеанском побережье России. *Океанология*, 57(6): 967–977. <https://doi.org/10.7868/S0030157417060119>
16. Шевченко Г.В., Чернов А.Г., Ковалев П.Д., Горин И.И. **2010**. Резонансные колебания в заливах и бухтах: натурные эксперименты и численное моделирование. *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*, 1(80): 52–62.
17. Munk W.H. **1949**. Surf beats. *Transactions of the American Geophysical Union*, 30(6): 849–854.
18. Tucker M.J. **1950**. Surf beats; sea waves of 1 to 5 min period. *Proceedings of the Royal Society of London*, A202(1071): 565–573.

Об авторах

КОВАЛЕВ Петр Дмитриевич (ORCID 0000-0002-7509-4107), доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории волновой динамики и прибрежных течений, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, p.kovalev@imgg.ru, КОВАЛЕВ Дмитрий Петрович (ORCID 0000-0002-5184-2350), доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории волновой динамики и прибрежных течений, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, d.kovalev@imgg.ru, ШИШКИН Александр Алексеевич, научный сотрудник лаборатории цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск.

References

1. Dolgikh G.I., Budrin S.S., Dolgikh S.G., Plotnikov A.A., Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. **2016**. Free oscillations of water level in the Posyet Gulf bays (the Sea of Japan). *Russian Meteorology and Hydrology*, 41(8): 559–563. <https://doi.org/10.3103/S1068373916080057>
2. *Earth Observing System Data and Information System*. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov> (accessed 29.09.2019).
3. Kovalev D.P. **2012**. [Experimental studies of the harbor oscillation phenomenon in the main ports of the Sakhalin region]. *Mir transporta [World of Transport]*, 6: 36–43. (In Russ.).

4. Kovalev D.P. **2018**. *Кума*: The software. RU 2018618773. № 2018612587; registration 20.03.2018; publication 19.07.2018.
5. Kovalev P.D., Shevchenko G.V., Kovalev D.P. **2007**. [Experimental studies of the harbor oscillation phenomenon in the port of Kholmnsk]. *Izvestiya AIN im. A.M. Prohorova. Prikladnaya matematika i mekhanika* [News Academy of Engineering Sciences A.M. Prokhorov. Applied mathematics and mechanics]. Nizhnii Novgorod: NGTU, 20: 106–112. (In Russ.).
6. Kovalev P.D., Kovalev D.P., Khuzeeva M.O. **2019**. Estimation of swell wave parameters for predicting storm situations predicting. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Studies and Forecasts], 2(372): 114–128. (In Russ.).
7. Manilyuk Yu.V., Cherkesov L.V. **2016**. Investigation of free liquid oscillations in a bounded basin representing an approximate model of the Sea of Azov. *Physical Oceanography*, 2: 14–23. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2016-2-14-23>
8. Manilyuk Yu.V., Cherkesov L.V. **2017**. Investigation of seiche oscillations in a free entrance bay. *Physical Oceanography*, 4: 16–25. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2017-4-16-25>
9. Manilyuk Yu.V., Lazorenko D.I., Fomin V.V. **2019**. Resonance oscillations on the system of adjacent bays. *Physical Oceanography*, 5: 374–386. doi:10.22449/1573-160X-2019-5-374-386
10. Munk W.H. **1949**. Surf beats. *Transactions of the American Geophysical Union*, 30(6): 849–854.
11. Rabinovich A.B. **1993**. *Long ocean gravity waves: Trapping, resonance, and leaking*. Saint Petersburg: Hydrometeoizdat, 325 p. (In Russ.).
12. Rabinovich B.I., Tyurin Yu.V. **1983a**. [On a recurrent numerical method for conformal mapping]. *Doklady AN USSR*, 272(3): 532–535. (In Russ.).
13. Rabinovich B.I., Tyurin Yu.V. **1983b**. [A recurrent numerical method for conformal mapping of two-connected regions to a circular ring]. *Doklady AN USSR*, 272(4): 795–798. (In Russ.).
14. Shevchenko G.V., Chernov A.G., Kovalev P.D., Gorin I.I. **2010**. Resonant vibrations in bays and coves: field experiments and numerical modeling. *Trudy NGTU im. R.E. Alexeeva = Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*, 1(80): 52–62. (In Russ.).
15. Shevchenko G.V., Loskutov A.V., Shishkin A.A., Ivel'skaya T.N. **2017**. Features of manifestation of the Chilean Tsunami on April 1, 2014, and September 16, 2015, on Russia's Pacific Coast. *Oceanology*, 57(6): 870–879. <https://doi.org/10.1134/S0001437017060145>
16. Shevchenko G.V., Loskutov A.V., Kaystrenko V.M. **2018**. A new map of tsunami hazard for the South Kuril Islands. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2(3): 225–238. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.3.225-238>
17. Tucker M.J. **1950**. Surf beats; sea waves of 1 to 5 min period. *Proceedings of the Royal Society of London*, A202(1071): 565–573.
18. Zernov N.V., Karpov V.G. **1972**. *Teoriya radiotekhnicheskikh cepej* [Theory of radio-engineering circuits]. Leningrad: Energiia [Energy Publ.], 816 p. (In Russ.).