

УДК 551.465

ОПАСНЫЕ МОРСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ о. МАТУА КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ

© 2020 г. Д. П. Ковалев¹, *, П. Д. Ковалев¹

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

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

Поступила в редакцию 30.10.2019 г.

После доработки 28.01.2020 г.

Принята к публикации 22.06.2020 г.

В работе рассмотрены результаты анализа данных наблюдений за волнением, выполненных в бухте Двойная в южной части о. Матуа Курильской гряды. Экспериментальные исследования проводились с целью определения возможности усиления приходящих волн в прибрежной зоне острова. В результате наблюдений получены записи волнения в двух точках бухты, расположенных на глубинах около 10 и 20 м, с дискретностью 1 с. Спектральный анализ временных рядов позволил выделить волновые процессы с периодом 40 с и в диапазоне периодов 1–12 мин. Показано, что первые относятся к инфрагравитационным волнам, а в диапазоне от 1 до 7.3 мин являются сейшми бухты Двойная. При этом колебания с периодом около 1.8 мин могут проявляться в виде тягуна со значительным увеличением их энергии при шторме. Волны с периодом около 12 мин также имеют сейшевую природу и связаны с нулевой модой Гельмгольца, а в случае прихода волны цунами может возникать эффект “раскачивания” этих колебаний.

Ключевые слова: сейши, тягун, мода Гельмгольца

DOI: 10.31857/S0030157420050111

ВВЕДЕНИЕ

Данные о волнении необходимы для решения многих задач, связанных с жизнедеятельностью человека на побережье, таких как обеспечение безопасности судоходства и погрузо-разгрузочных работ в портах, гидротехническое строительство на морских побережьях и т.д. Характеристики волнения необходимы также для усовершенствования методов расчета опасных морских явлений в прибрежной зоне с целью прогнозирования опасных ситуаций.

Исследование режима волнения в районе Курильских островов началось достаточно давно, и существует несколько крупных обобщений по данной тематике, например [1, 2]. Но, несмотря на это, данные о волнении в прибрежной части удаленных и необитаемых Курильских островов не освещены. А распространение волновых характеристик в открытом море на прибрежную зону не вполне корректно в связи с существенной деформацией волн на мелководье, а также из-за сложности учета морфометрических характеристик прибрежной акватории [4]. Особенно это касается островов, перспективных в плане строительства и восстановления прибрежной инфраструктуры. Поэтому исследование режима волнения в прибрежной зоне на основе данных инстру-

ментальных наблюдений является актуальной задачей.

Для исследований был выбран о. Матуа, расположенный в центральной части Курильской гряды, в непосредственной близости к которому находится о. Топорковый. Такая конфигурация береговой линии образует бухту Двойную и способствует появлению собственных резонансных колебаний – сейш, которые будут влиять на усиление приходящих волн на периодах собственных колебаний. Поскольку планируется восстановление поселения и строительство причальных сооружений на о. Матуа, а также выбор места швартовки судов, представляет интерес изучение других морских явлений, таких как штормовые волны, сейши, краевые волны, тягун в бухте Двойная. Эти волны при определенных условиях могут представлять большую опасность для судов, стоящих на якоре в прибрежной зоне, и мешать выгрузке на берег. Во время экспедиции Российского географического общества с мая по сентябрь 2017 г. были установлены два измерителя волнения в прибрежной зоне острова в бухте Двойная.

В настоящей работе выполнен анализ проявления волнения в диапазоне опасных морских явлений и рассмотрена возможность усиления волн

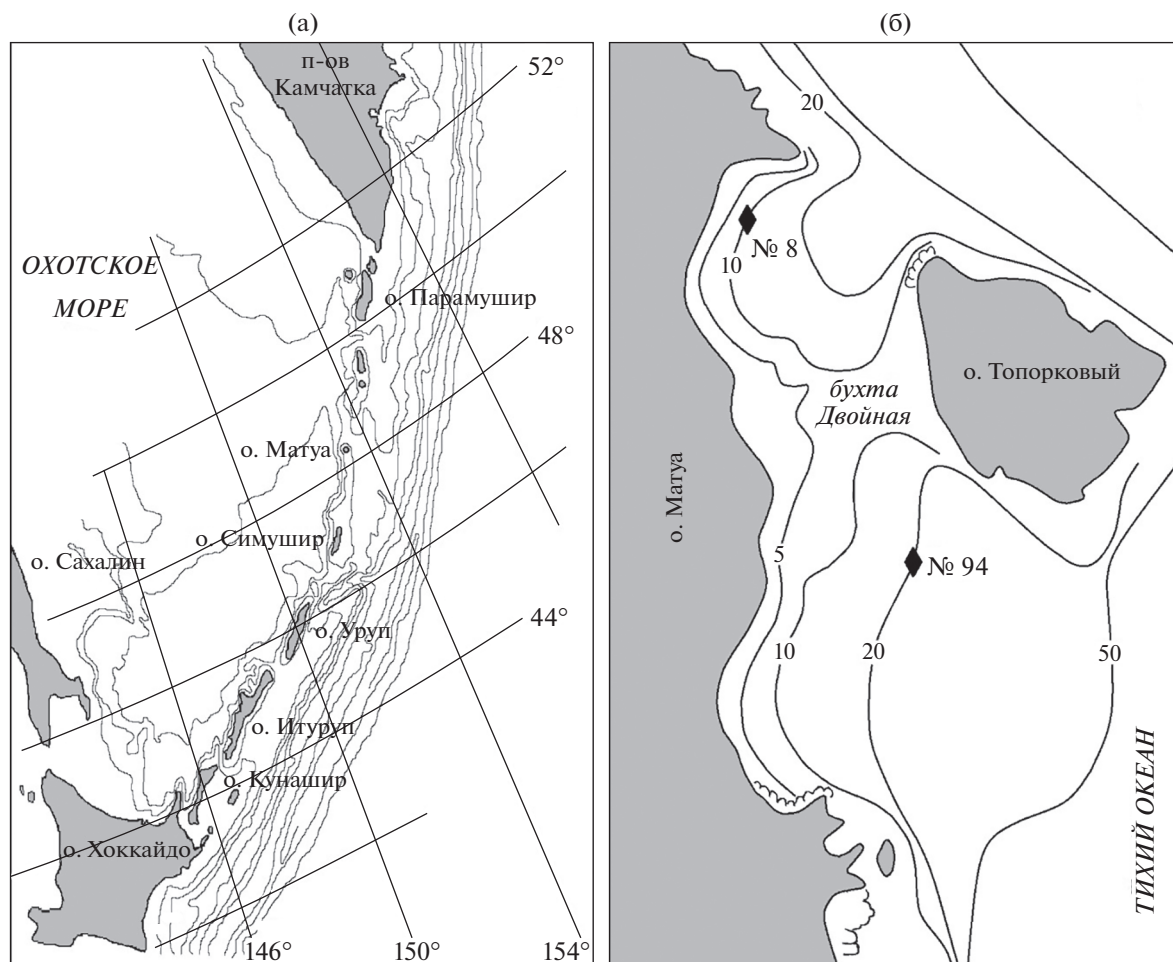


Рис. 1. Карты Курильских островов (а) и восточной части о. Матуа с указанием мест постановки приборов (б).

внутри бухты вследствие батиметрических особенностей рельефа.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе экспедиции 2017 г. проводились измерения колебаний уровня моря с помощью автономных донных регистраторов гидростатического давления АРВ К-12, АРВ К-14 с секундной дискретностью. Приборы также имеют встроенный датчик температуры воды. Регистраторы придонного гидростатического давления были установлены в бухте Двойная — датчик № 8 в вершине бухты на глубине 10 м и датчик № 94 ближе к выходу на глубине 20,5 м (рис. 1). Измерения проводились в период с 17 по 30 июня 2017 г. Для дальнейшей обработки зарегистрированные значения давления были пересчитаны в истинный уровень (в см водного столба), с учетом гидродинамической поправки на частоту колебаний.

Дискретность и длительность измерений позволила изучить колебания уровня вблизи Матуа,

вызванные ветровым волнением (штормовые волны), зыбью, а также собственные (сейшевые) колебания внутри бухты Двойная. На рис. 2 приведены временные ряды наблюдений за колебаниями уровня для прибора № 8, установленного на глубине около 10 м (вершина бухты), и прибора № 94 на глубине около 20 м (на выходе из бухты). На графике отчетливо выделяются приливные колебания.

Учитывая, что тип генерируемых волн определяется особенностями прибрежной топографии дна, на рис. 3 приведены модель океанического шельфа с прямой линией берега с проливами [3] (а) и поперечный профиль глубины [7] (б) для района о. Матуа, который располагается между проливами Надежды и Крузенштерна. Поперечный профиль (рис. 3б) показывает наличие протяженного (до 70 км в сторону океана) шельфа с небольшими изменениями глубины. Данное обстоятельство может являться причиной генерации сейш или краевых волн.

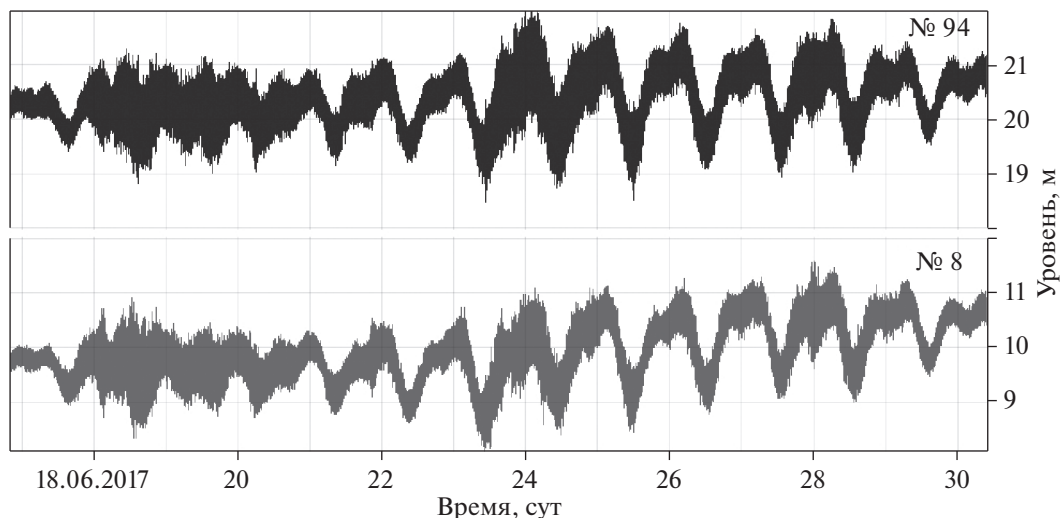


Рис. 2. Записи колебаний придонного гидростатического давления в б. Двойная в вершине бухты (прибор № 8) и на выходе из бухты (прибор № 94) (см. рис. 1).

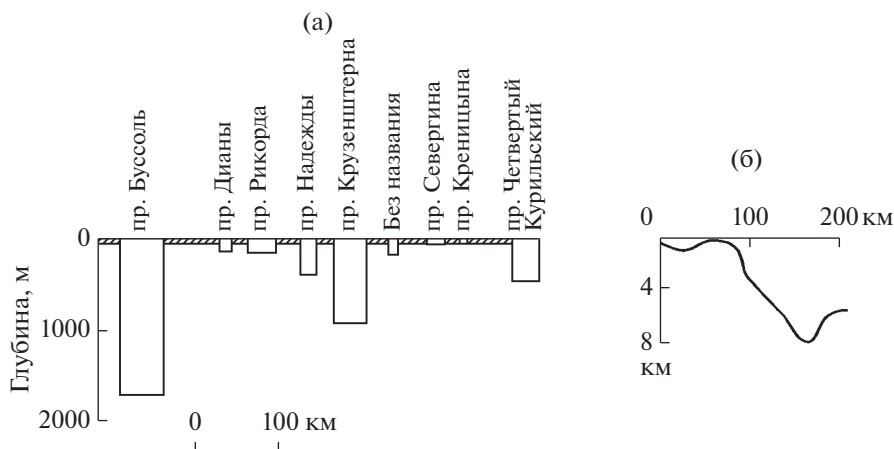


Рис. 3. Модель океанического шельфа с прямой линией берега с проливами [3] (а) и поперечный профиль глубины Курильской гряды [9] (б) для района о. Матуа.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В полученных записях колебаний уровня доминируют суточные и полусуточные приливные волны, достигающие здесь почти двух метров. Однако во время штормов суммарное колебание уровня моря за счет прилива и штормового волнения составляло около трех метров, что является достаточно опасным при заплеске на побережье. Следует отметить, что для дальнейшего анализа более коротких волн прилив отфильтровывался из исходных записей волнения.

Для полученных рядов наблюдений были рассчитаны текущие взаимные спектральные характеристики, приведенные на рис. 4. Они показали, что в диапазоне периодов от 40 с до 12 мин обнаруживаются волновые процессы с периодами,

приведенными в табл. 1. Когерентность между колебаниями уровня, измеренными приборами на этих периодах, превышает 0.5. На более длинных периодах, вплоть до приливных, значимых пиков в спектрах не обнаружено. На периодах короче 40 с присутствуют только ветровые волны и зыбь, которые здесь не анализируются. Для более детального анализа по всей длине рядов были также рассчитаны взаимные спектральные характеристики, приведенные на рис. 5.

Анализ взаимных спектральных характеристик для измеренных временных рядов показывает, что они значительно различаются в зависимости от погодных условий. Энергия колебаний при шторме в диапазоне ветровых волн и зыби на полтора порядка выше, чем при тихой погоде (рис. 5). Также для ближнего к берегу прибора № 8

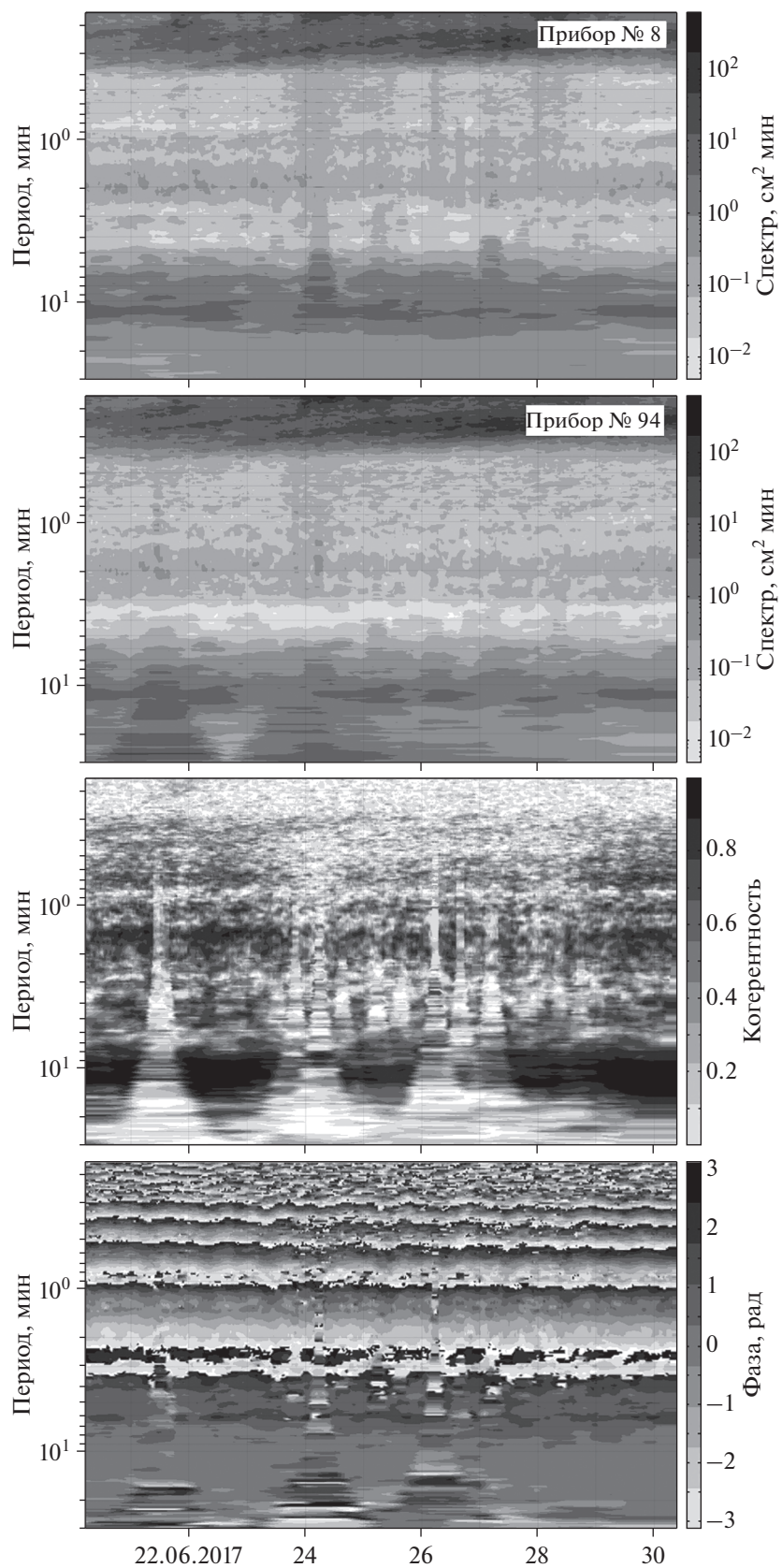


Рис. 4. Текущие энергетические и фазовый спектры и когерентность.

Таблица 1. Периоды измеренных и рассчитанных волновых процессов

Период измеренный (мин), прибор № 8	Период измеренный (мин), прибор № 94	Период рассчитанный (мин)	Примечания
40.3 с	–		ИГ волны
1.0	1.1	1.3	Трехузловая поперечная сейша
1.8–1.9	1.0	1.8	Продольная – двухузловая поперечная сейша
3.4	3.5	3.7	Двухузловая продольная сейша
–	5.8	4.8	Одноузловая поперечная сейша
7.2	–	7.4	Одноузловая продольная сейша
11.5	11.6	11.3	Сейша (мода Гельмгольца)

при шторме энергия инфрагравитационных (ИГ) волн в два раза больше, чем не наблюдается при тихой погоде, что связано с интенсификацией волнения и, как следствие, генерацией ИГ волн. На дальнем приборе разницы в энергии ИГ волн в зависимости от погодных условий не наблюдается.

Отметим, что к ИГ волнам относят колебания с периодами примерно 0.5–7 мин, а иногда и длиннее [9]. В то же время, на этих периодах возможно существование сейш, которые эти ИГ могут возбуждать. Авторы относят волны с такими периодами к сейшам, если имеется резонансная акватория и рассчитанные для нее периоды сейш и измеренные периоды близки.

Анализ волнения при шторме 18 июня показал, что доминирующие в спектрах волны имели периоды около 8.5 с со значительной высотой 185 см, а при шторме 24 июля наблюдались волны с периодом 6.7 с со значительной высотой 162 см (рис. 5). При этом на приборе № 94, установленном на входе в бухту Двойная, значительная высота волн была примерно на 5–10% меньше, чем на приборе № 8, и это связано, по-видимому, с тем обстоятельством, что остров Топорковый прикрывал место установки прибора № 8.

При тихой погоде энергия волн зыби превышает энергию ветрового волнения почти на порядок. Кроме того, независимо от погодных условий, энергия ветрового волнения в диапазоне периодов 3–5 с резко уменьшается для дальней станции. Из вышеприведенного напрашивается вывод, что, очевидно, происходит перекачка энергии ветрового волнения в диапазон ИГ волн с периодами от 2.5 до 11 мин, что хорошо видно по спектру (прибор № 94) в шторм. Это подтверждается рис. 4, где также видно, что при шторме волновые процессы (сейши) с периодами более 0.5 мин разрушаются и связь между приборами в этом диапазоне уменьшается, о чем говорит существенное уменьшение когерентности.

Была проведена идентификация типов волн в соответствии с обнаруженными в спектрах периодами колебаний. Волны с периодами около 40 с

относятся к диапазону инфрагравитационных волн. Это подтверждает и то обстоятельство, что они хорошо проявляются на близком к берегу приборе № 8, поскольку в береговой зоне амплитуда волн зыби возрастает и соответственно при их трансформации в ИГ волны энергия последних также будет выше. Хотя и следует заметить, что энергия ИГ волн на этом периоде в местах измерений невысокая даже во время штормов. Также, модовая структура ИГ волн во всем диапазоне их существования, примерно от 0.4 до 5 мин, лучше прослеживается при тихой погоде и на дальней станции (рис. 5).

Изучалось наличие собственных колебаний рассматриваемой акватории – сейш, с учетом батиметрических особенностей побережья в районе постановки приборов. Известно, что при подходе сильного волнения к району генерации сейш может происходить их значительное усиление, определяемое добротностью резонансной системы [9]. И такие сейши, к которым относятся короткопериодные сейши – тягун, могут представлять большую опасность для судов.

В этой связи обращает на себя внимание акватория бухты Двойная, расположенная между о. Матуа и о. Топорковый с размерами около 2 на 1 км в приближении к бассейну прямоугольной формы. С использованием выражения для вычисления периодов сейшевых колебаний жидкости, полученного в работе [8]:

$$T = \frac{2}{\sqrt{gH}} \frac{ab}{\sqrt{k^2 b^2 + m^2 a^2}}, \quad (1)$$

где a и b – длина и ширина бассейна соответственно, H – глубина, $k = 0, 1, 2, \dots$ и $m = 0, 1, 2, \dots$ были рассчитаны периоды для восьми первых мод. Отметим, что продольная одно- и двухузловая сейши соответствуют значениям $k \neq 0$ $m = 0$, поперечные сейши – $k = 0$ $m \neq 0$. Полученные значения периодов показали, что присутствующие в спектрах наблюдений пики на периодах от 1 до 7 мин соответствуют продольным и поперечным сейшам бухты Двойная с различным чис-

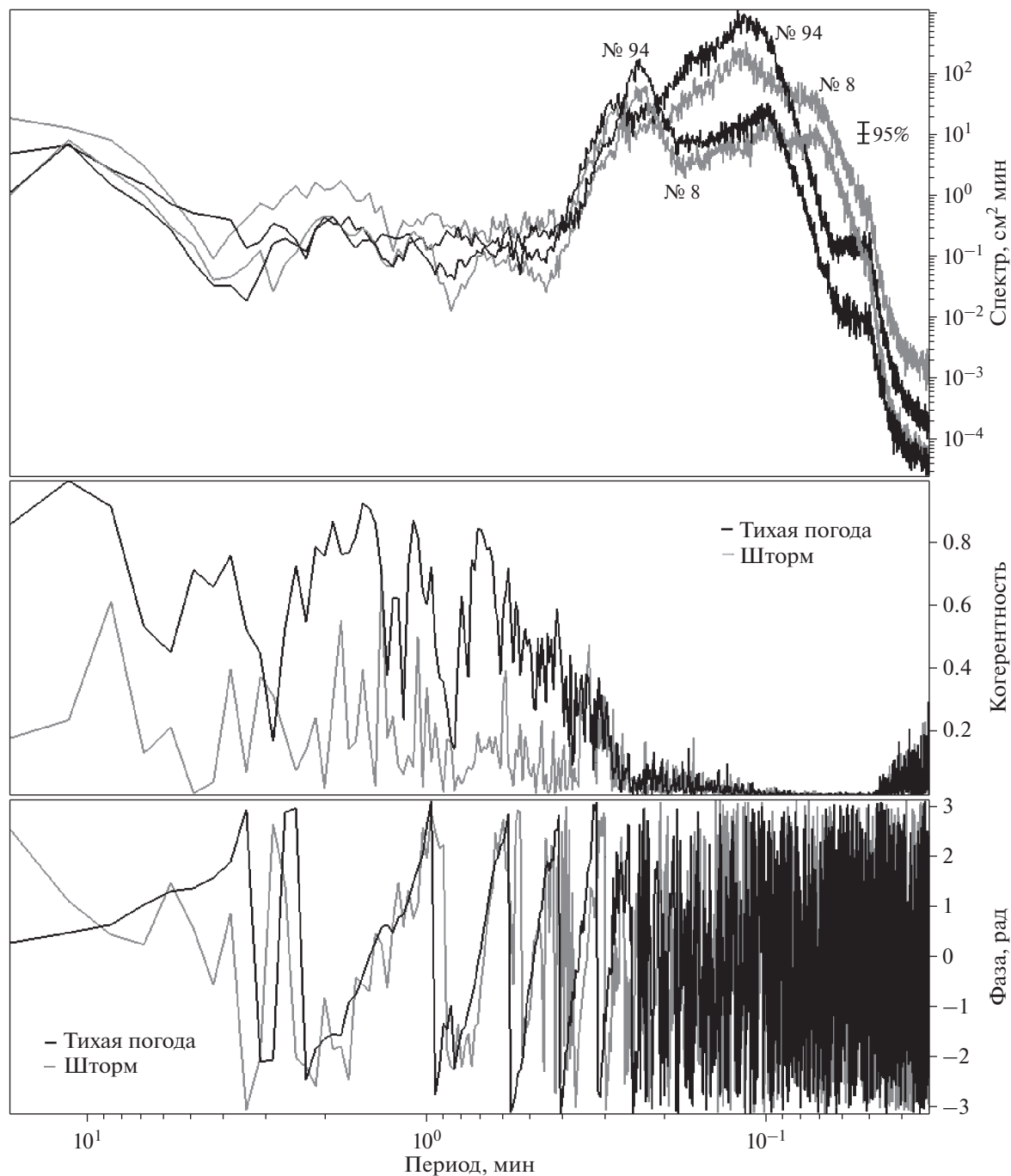


Рис. 5. Взаимные спектральные характеристики для измеренных временных рядов для разных погодных условий – тихой погоды (высоты волн до 40 см) и шторма с высотами волн до 2.2 м на ближнем к берегу приборе.

лом узлов (табл. 1). При этом отсутствие пиков в спектрах измерений прибора № 8 на периоде около 6 мин и прибора № 94 на периоде около 7 мин объясняется, по-видимому, тем обстоятельством, что приборы располагались близко к узловым линиям.

Отметим, что в диапазоне периодов возможного проявления тягуна – единицы минут – в бухте Двойная не наблюдается значительной энергии

сейш и их усиления во время шторма на удаленном от берега приборе № 94. На ближнем к берегу приборе при тихой погоде энергия колебаний с периодами около 1 мин, пик на которых хорошо выделяется, превышает энергию фонового уровня не более чем на 0.5 порядка, а энергия этих колебаний во время шторма возрастает только в 2 раза.

Что касается колебаний с периодами около 1.8 мин в месте постановки ближнего к берегу

прибора № 8, то пик в спектре достаточно размытый, но превышение энергии колебаний над фоновой — около 4-х раз, и при шторме их энергия возрастает на порядок. Для сравнения, в экваториальных, где тягун хорошо проявляется, таких, например, как в порту г. Холмск, энергия сейш с периодом 3 мин превышает фоновую на порядок и при штормах возрастает на 1–1.5 порядка [6]. Поэтому в прибрежной зоне бухты Двойная следует опасаться тягуна во время шторма.

При анализе прибрежного профиля было замечено, что с океанской стороны профиль дна имеет углубление протяженностью около 50 км (рис. 36). Такой рельеф может способствовать генерации сейш. Для определения периода возможных колебаний использовалась формула для бассейна, закрытого с одного конца и открытого с другого, приведенная в [9]:

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

где L — длина бассейна, H — глубина, а $n = 0, 1, 2, \dots$ — номер моды. Рассчитанные значения периодов сейш для длины бассейна 50 км показали, что период нулевой моды (мода Гельмгольца) составляет 11.22 мин. Обнаруженный в спектрах пик на периоде 11.3 мин близок к расчетному, и можно заключить, что этот волновой процесс является сейшей.

В то же время, анализ текущего фазового спектра (рис. 4) показал, что разность фаз между колебаниями, регистрируемыми на обоих приборах, на периоде около 11 мин показывает нулевой сдвиг (рис. 4, фаза). Это означает, что колебания на обоих приборах происходят синфазно, что характерно для моды Гельмгольца.

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ временных рядов колебаний уровня моря, полученных в ходе экспедиции 2017 г. с использованием автономных донных регистраторов гидростатического давления АРВ К-12, АРВ К-14 с секундной дискретностью. Приборы были установлены в бухте Двойная, расположенной между о. Матуа и Топорковый.

Результаты анализа позволили выделить колебания уровня с периодами около 40 с и с периодами от 1 до 12 мин. Установлено, что первые относятся к инфрагравитационным волнам. С использованием выражения для вычисления периодов сейшевых колебаний жидкости [8], показано, что волновые процессы с периодами около 1, 1.8, 3.5, 5.8, 7.3 мин являются сейшами бухты Двойная. Волны с периодом около 12 мин также имеют сейшевую природу и определяются резонансными особенностями донного рельефа у о. Матуа.

Установлено, что колебания с периодами около 1.8 мин, хорошо наблюдаемые в месте постановки ближнего к берегу прибора № 8, могут быть ответственны за проявление явления тягуна. Их энергия превышает энергию фоновых колебаний примерно в четыре раза, и при шторме их энергия возрастает на порядок. Поэтому в прибрежной зоне о. Матуа бухты Двойная следует опасаться тягуна во время шторма.

В работе [5] в результате численного моделирования цунами 2006 и 2007 гг. показано, что амплитуда волны с периодом около 15 мин в бухте Двойная может усиливаться в 5–7 раз. Можно предположить, что этот период волны — резонансное усиление выявленных в данном исследовании сейшевых колебаний, связанных с нулевой модой Гельмгольца. Фактически это означает, что в случае прихода волны цунами может возникнуть эффект “раскачивания” собственных колебаний с периодом около 12 мин. Учитывая, что типичный энергонесущий период волн цунами обычно находится в интервале 10–30 мин, следует признать побережье бухты Двойная наиболее цунамиопасным. И действительно, максимальный заплеск 22 м цунами 2006 г. отмечен на побережье о. Матуа в бухте Двойная [7, 10]

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного задания ИМГиГ ДВО РАН № АААА-А18-118012290123-8 “Наводнения на морских берегах: мониторинг, моделирование, прогноз”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас волнения и ветра Тихого океана. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 125 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат, 1998. 342 с.
3. *Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В.* Волны в пограничных областях океана Л.: Гидрометеоздат, 1985. 280 с.
4. *Жак В.М., Соловьев С.Л.* Дистанционная регистрация слабых волн типа цунами на шельфе Курильских островов // Докл. АН СССР. 1971. Т. 198. № 4. С. 816–817.
5. *Иванова А.А., Куликов Е.А., Файн И.В.* О моделировании Симуширских цунами 2006 и 2007 гг. в районе средних Курил // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10. № 3. С. 56–64.
6. *Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П.* Экспериментальные исследования явления тягуна в порту г. Холмск // Известия АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. Н. Новгород: НГТУ. 2007. Т. 20. С. 106–112.
7. *Левин Б.В., Кайстренко В.М., Рыбин А.В.* и др. Проявление цунами 15.11.2006 г. на Центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // ДАН. 2008. Т. 419. № 1. С. 118–122.

8. Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В. Исследование свободных колебаний жидкости в ограниченном бассейне, представляющем приближенную модель Азовского моря // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 2. С. 16–26.
9. Рабинович А.Б. Длинные волны гравитации океана: захват, резонанс и излучение, СПб: Гидрометеоздат, 1993. 325 с.
10. MacInnes B.T., Pinegina T.K., Bourgeois J. et al. Field survey and geological effects of the 15 November 2006 Kuril tsunami in the middle Kuril Islands // Cummins P.R., Satake K., Kong L.S.L. (eds) Tsunami Science Four Years after the 2004 Indian Ocean Tsunami. Pageoph Topical Volumes. Birkhäuser Basel 2009. P. 9–36.
https://doi.org/10.1007/978-3-0346-0064-4_2.

Dangerous Sea Phenomena in the Southern Part of Matua Island in the Kuril Ridge

D. P. Kovalev^{a, #}, P. D. Kovalev^a

^a*Institute of marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

[#]*e-mail: d.kovalev@imgg.ru*

The paper deals with the results of the analysis of the data of observations of the waves performed in the Dvoynaya Bay in the southern part of the island of Matua, Kuril ridge. These experimental studies were conducted to determine the possibility of strengthening incoming waves to the coastal zone of the island. As a result of observations, records of waves in two points of the bay, located at depths of about 10 and 20 m, with a discreteness of 1 s were obtained. Spectral analysis of time series allowed to distinguish wave processes with a period of 40 s and in the range of periods of 1–12 minutes. It is shown that the first belong to the infragravity waves, and in the range from 1 to 7.3 minutes they are the seiches of the Dvoynaya Bay. At the same time, oscillations with a period of about 1.8 minutes can manifest as a harbour oscillations with a significant increase in their energy during a storm. Waves with a period of about 12 minutes also have a seiches nature and are associated with a zero Helmholtz mode, and in the case of a tsunami wave, there may be an effect of “rocking” these oscillations.

Keywords: seiches, harbour oscillations, Helmholtz mode