

УДК 551.466.63:551.466.3

ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШЕЛЬФОВЫХ ИНФРАГРАВИТАЦИОННЫХ МОРСКИХ ВОЛН

© 2020 г. Академик РАН Г. И. Долгих^{1,*}, С. С. Будрин¹, С. Г. Долгих¹, И. А. Лисина²

Поступило 24.07.2020 г.

После доработки 02.09.2020 г.

Принято к публикации 07.09.2020 г.

При анализе экспериментальных данных, полученных с помощью лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, установленного на шельфе Японского моря на глубине 27 м, изучены динамические особенности шельфовых инфрагравитационных морских волн и их зависимость от вариаций основных параметров гравитационных морских волн.

Ключевые слова: лазерный измеритель вариаций гидросферного давления, гравитационные морские волны, инфрагравитационные морские волны

DOI: 10.31857/S2686739720110055

О природе колебаний и волн в диапазоне периодов от 20–30 с до 8–10 мин, регистрируемых в море, до сих пор излагаются различные точки зрения, каждая из которых находит равновесное подтверждение в наблюдаемых экспериментальных данных. Рассматриваемый диапазон периодов соответствует так называемому “инфрагравитационному шуму Земли”, природа возникновения которого может быть связана с различными процессами во всех геосферах, любой из которых подходит для объяснения появления колебаний и волн данного диапазона периодов. Как следует из работ [1–3], вариации атмосферного давления приводят к возбуждению соответствующих упругих колебаний земной коры, и, тем более, вариаций гидросферного давления соответствующих периодов. Кроме того, вариации атмосферного давления приводят к возбуждению цугов внутренних морских волн [4]. Другой взгляд на появление “инфрагравитационного шума Земли” связывают с морскими волновыми процессами: 1) инфрагравитационными морскими волнами [5–7]; 2) преобразованием энергии морских внутренних волн в энергию микродеформаций земной коры соответствующего периода [8]. Особая роль в появлении колебаний и волн данного диапазона периодов отводится процессам, происхо-

дящим в твердых оболочках Земли. Так, в работе [9] появление волн с периодами 100–200 с связано с процессами подготовки и развития землетрясений. Известно, что в данном диапазоне (1–15 мин) находится основная масса крутильных и сферoidalных собственных колебаний Земли [10, 11], закономерностям появления которых после землетрясений и изучению природы вариаций их амплитуд посвящено много работ (например, [12]). Нельзя сбрасывать со счетов собственные колебания геоблоков, которые уверенно регистрируются лазерными деформографами [13].

В данном сообщении мы уделим внимание механизму возникновения колебаний рассматриваемого диапазона периодов, относящихся к инфрагравитационным морским волнам, возникающим на шельфе в результате действия морских гравитационных волн, т.е. так называемых ветровых поверхностных волн или волн зыби. При интерпретации полученных результатов использовались экспериментальные данные, полученные на лазерном измерителе вариаций гидросферного давления, установленном на шельфе Японского моря на глубине 27 м южнее м. Шульца (см. рис. 1), принцип действия которого описан в работе [14]. Прибор работал в непрерывном режиме с мая по август 2007 г., а полученные экспериментальные данные после предварительной обработки занесли в базу экспериментальных данных, в которую заносились синхронные экспериментальные данные 52.5-метрового лазерного деформографа, установленного на м. Шульца. При интерпретации результатов обработки данных лазерного измерителя вариаций гидросферного давления привлекались результаты обработки синхронных

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

*E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru

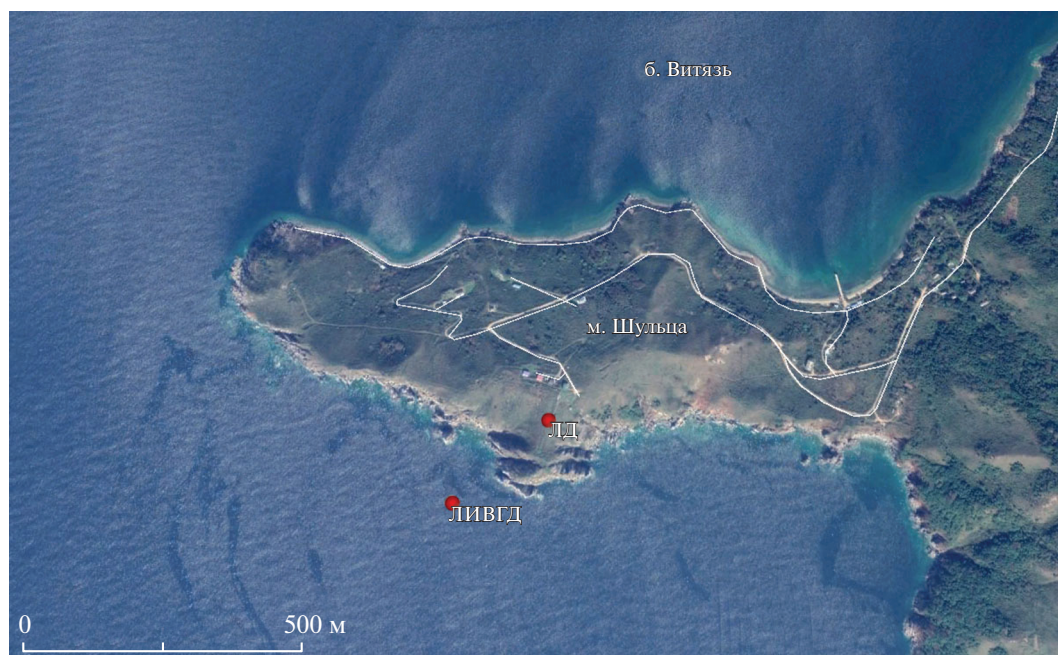


Рис. 1. Карта с местами постановки лазерного измерителя вариаций давления гидросферы (ЛИВГД) и лазерного деформографа (ЛД).

экспериментальных данных лазерного деформографа.

Часовые файлы данных лазерного измерителя вариаций гидросферного давления и синхронные данные лазерного деформографа отфильтровывались низкочастотным фильтром Хэмминга с последующей децимацией до 2 с, затем прореженные экспериментальные данные подвергались фильтрации высокочастотным фильтром Хэмминга с граничной частотой 0.002 Гц (8.3 мин) и длиной 2500. В процессе спектральной обработки отфильтрованных часовых файлов определялись значимые пики в диапазоне поверхностных морских ветровых волн (периоды от 1 до 15 с) и в диапазоне инфрагравитационных морских волн (периоды от 15 с до 8 мин). Дополнительно по значениям величин гармоник всех спектральных составляющих в данных диапазонах периодов (1–15 с и 15 с – 8 мин) определялась относительная энергия. Таким образом, были получены значения суммарной относительной энергии в диапазоне морских поверхностных ветровых волн ($U_{пв}$) и морских инфрагравитационных волн ($U_{ив}$). Всего было обработано 267 часовых файлов, т.е. длительность непрерывного ряда наблюдений составила чуть более 11 сут. В рассматриваемом интервале наблюдения значения периодов и амплитуд поверхностных морских волн (волн зыби и ветровых морских волн) существенно менялись, что позволило определить связь инфрагравитационных морских волн с поверхностными морскими волнами. На рис. 2 приведены графики

изменения относительной энергии поверхностных морских волн (10–15 с) и относительной энергии инфрагравитационных морских волн (15 с – 8 мин). Как видно из данного рисунка, в основном относительная энергия инфрагравитационных морских волн повторяет график поверхностных морских волн.

Некоторое резкое увеличение относительной энергии инфрагравитационных морских волн по сравнению с относительной энергией поверхностных морских волн (резкие выбросы в интервале 87–91 ч) связаны с присутствием в записях лазерного измерителя вариаций гидросферного давления уединенных волн, которые при спектральной обработке значительно увеличивают относительную энергию в инфрагравитационном диапазоне и не увеличивают относительную энергию в диапазоне поверхностных морских волн (см., например, рис. 3).

При анализе результатов обработки экспериментальных данных исследована связь величин периодов и амплитуд поверхностных морских волн с относительной энергией инфрагравитационных морских волн. Как видно из рис. 2, в начальной области наблюдается сильная связь относительной энергии поверхностных морских волн с относительной энергией инфрагравитационных морских волн, а в последней части рисунка в отдельные моменты (например, в интервале 197–220 ч) увеличение относительной энергии поверхностных морских волн не приводит к синхронному увеличению относительной энергии

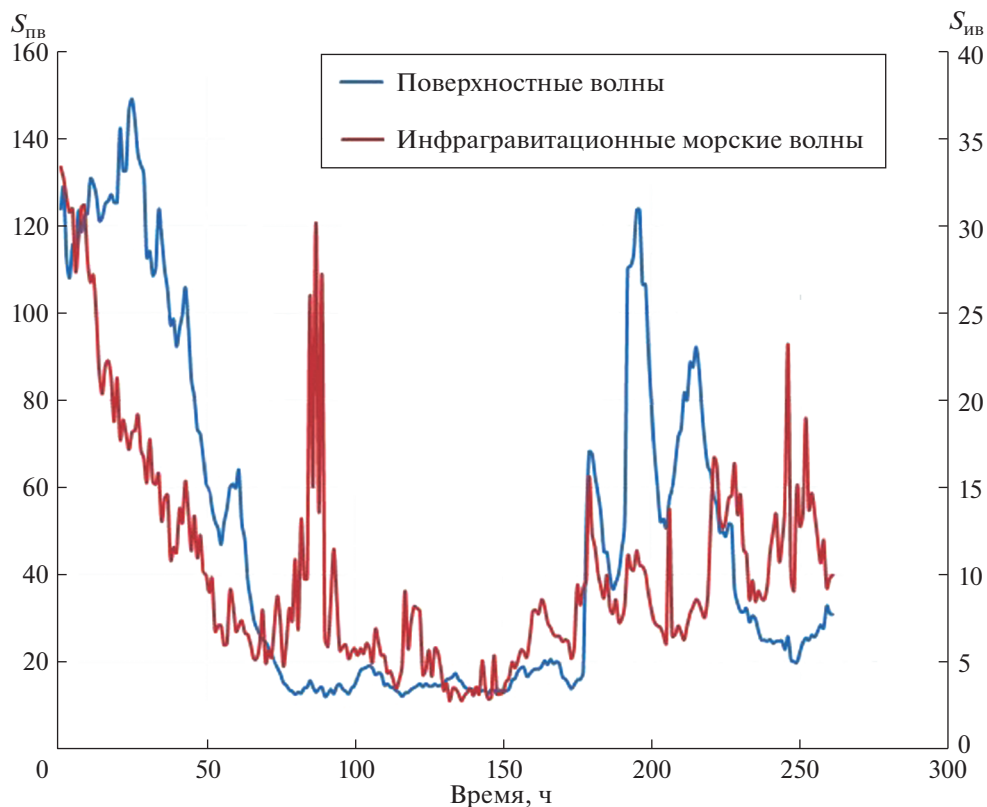


Рис. 2. Изменение относительной энергии поверхностных морских волн ($S_{пв}$) и инфрагравитационных морских волн ($S_{ив}$). Ноль по оси абсцисс соответствует 28 мая 21 ч 57 мин 28.0 с по UT.

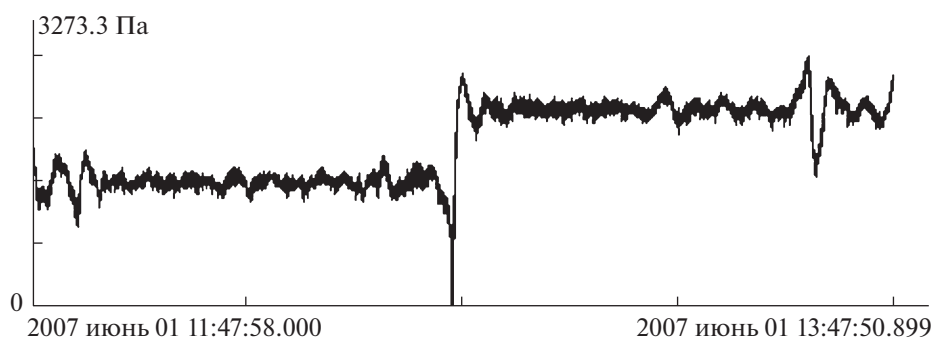


Рис. 3. Отфильтрованная запись лазерного измерителя вариаций гидросферного давления в частотном диапазоне 2–0.002 Гц.

инфрагравитационных морских волн. В первом случае в интервале 20–70 ч происходит почти монотонное уменьшение амплитуды и основного периода поверхностной волны, полученное при спектральной обработке часовых участков записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления (например, с основного периода 11.5 с при высоте волны 5370 (Па) до периода 7.5 с при высоте волны около 810 (Па)). Во втором случае в интервале 192–202 ч изменение периода практи-

ческие не происходит. Основной максимум соответствует периоду поверхностной волны около 6.7 с, при этом максимальный размах высоты волны равен около 5070 (Па). В дальнейшем наблюдается небольшое увеличение периода ветрового волнения с дальнейшим небольшим уменьшением периода ветрового волнения. Если в первом случае можно говорить о волне зыби, пришедшей из удаленной области шторма, период которой вследствие дисперсии со временем уменьшается,

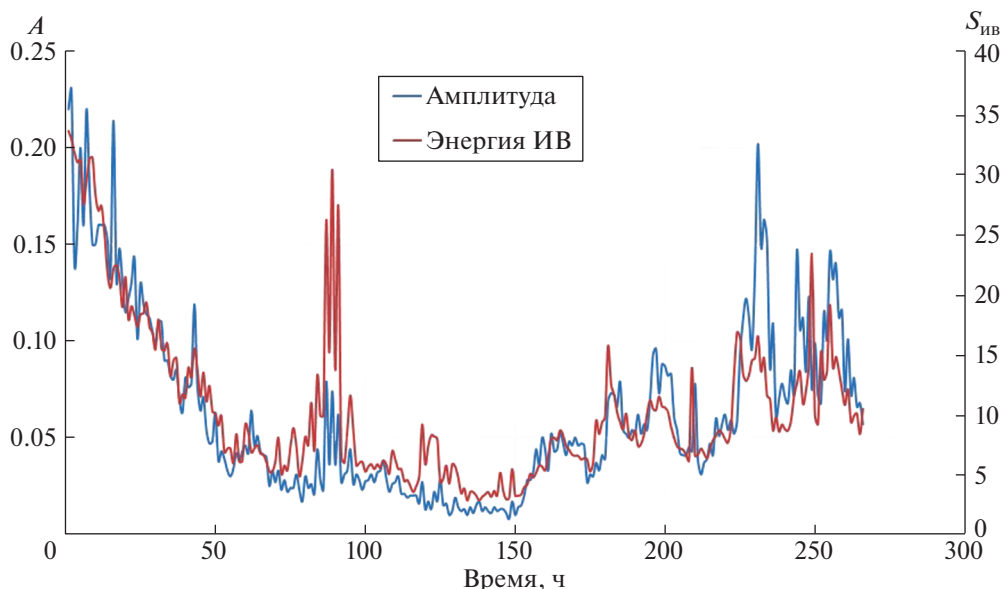


Рис. 4. Изменение относительной амплитуды инфрагравитационной волны с периодом 30–36 с и относительной энергии инфрагравитационных морских волн в диапазоне периодов 15 с – 8 мин. Ноль (0) по оси абсцисс соответствует 28 мая 21 ч 57 мин 28.0 с по UT.

то во втором случае можно предположить, что наблюдаемое изменение периода и амплитуды поверхностных волн связано с развивающимся ветровым волнением в области шторма, находящимся на небольшом удалении от места расположения лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Если в первом случае наблюдается заметное влияние поверхностных морских волн на относительную энергию инфрагравитационных морских волн, то во втором случае такого заметного влияния не наблюдается.

При сравнении спектров синхронных участков записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления и лазерного деформографа в инфрагравитационном диапазоне можно выделить как совпадающие, так и не совпадающие максимумы. Совпадающие максимумы соответствуют периодам, находящимся в диапазонах 5.5–6.5, 4–4.5 и 2.5–3 мин. Первоисточник данных колебаний может быть различным, т.е. находиться в одной из геосфер. Энергия на данных максимумах в расчет не бралась, хотя не исключено, что они вызваны инфрагравитационными морскими волнами. Из несовпадающих максимумов, которые практически всегда выделяются при спектральной обработке, можно выделить максимум, находящийся в диапазоне 30–36 с. Изменение относительной амплитуды данного максимума хорошо коррелирует с изменением относительной энергии инфрагравитационных морских волн (см. рис. 4).

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (18–05–80011, опасные явления) и темы “Изучение фундаментальных основ возникновения, развития, трансформации и взаимодействия гидроакустических, гидрофизических и геофизических полей в Мировом океане”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nishida K., Kobayashi N., Fucao Y. // Science. 2000. V. 287. P. 2244–2246.
2. Kobayashi N., & Nishida K. // Nature. 1998. V. 395. P. 357–360.
3. Fukao Y.K. // J. Geophys. Res. 2002. № 107 (B9). P. 2206.
4. Долгих Г.И., Будрин С.С., Долгих С.Г. и др. // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 5. С. 601–604.
5. Алексеев А.В., Валентин Д.И., Долгих Г.И. и др. // Доклады Академии наук. 2003. Т. 389. № 2. С. 244–246.
6. Rhee J., Romanowicz B. // Nature. 2004. V. 431. P. 552–556.
7. Webb Spahr C. // Nature. 2007. V. 445. P. 754–756.
8. Долгих Г.И., Навроцкий В.В., Холодкевич Е.Д. // ДАН. 2011. Т. 438. № 4. С. 550–554.
9. Яновская Т.Б., Королёва Т.Ю. // Физика Земли. 2011. № 9. С. 3–12.
10. Жарков В.Н. Собственные колебания Земли и планет. 2003. М.: ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. 267 с.

11. *Park J., Amoruso A., Crescentini L., Boschi E.* // *Geophys. J. Int.* 2008. V. 178. P. 887–905.
12. *Долгих Г.И., Копвиллем У.Х., Павлов А.Н.* // *Известия АН СССР. Физика Земли.* 1983. № 2. С. 15–20.
13. *Давыдов А.В., Долгих Г.И., Холодкевич Е.Д.* // *Физика Земли.* 1997. № 10. С. 51–62.
14. *Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., и др.* // *Приборы и техника эксперимента.* 2005. № 6. С. 137–138.

DYNAMIC FEATURES OF SHELF INFRA-GRAVITY SEA WAVES

Academician of the RAS **G. I. Dolgikh^{a,#}, S. S. Budrin^a, S. G. Dolgikh^a, and I. A. Lisina^b**

^a *Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

^b *Far East State University, Vladivostok, Russian Federation*

[#] *E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru*

When analyzing experimental data obtained using a laser meter of hydrosphere pressure variations installed on the shelf of the sea of Japan at a depth of 27 m, we studied the dynamic features of shelf infra-gravity sea waves and their dependence on variations in the main parameters of gravitational sea waves.

Keywords: laser meter of hydrosphere pressure variations, gravitational sea waves, infra-gravitational sea waves