

ИЗУЧЕНИЕ МОРСКИХ ВОЛН РАЗЛИЧНОГО ДИАПАЗОНА
ПЕРИОДОВ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
ВАРИАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ГИДРОСФЕРЫ

А.А. Плотников

Тихоокеанский Океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,

г. Владивосток

e-mail: lotos_toi@mail.ru

Аннотация

С 2000 года в бухте Витязь Японского моря, в разные периоды, с различной периодичностью, работал лазерный измеритель вариаций давления гидросферы. К настоящему времени был накоплен большой массив данных, обработка и анализ которых позволили получить новые знания о некоторых аспектах природы таких процессов как ветровые волны, собственные колебания бух, инфрагравитационные шельфовые волны в диапазоне периодов от 30 с до 5 мин и т.д.

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

THE STUDY OF SEA WAVES OF VARIOUS RANGES
OF PERIODS USING LASER METERS OF HYDROSPHERE
PRESSURE VARIATIONS.

A.A. Plotnikov

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute

e-mail: lotos_toi@mail.ru

Abstract

Since 2000, in the Vityaz Bay of the Sea of Japan, at different periods, with varying frequency, a laser meter for hydrosphere pressure variations has been operating. To date, a large array of data has been accumulated, the processing and analysis of which has allowed to gain new knowledge about some aspects of the nature of processes such as wind waves, natural vibrations of bays, infra-gravity shelf waves in the period range from 30 s to 5 min, etc.

Keywords: infra-gravity sea waves, wind sea waves, laser meter of hydrospheric pressure variations.

Введение

Мониторинг морских волн различного диапазона периодов является одной из важнейших задач современной океанологии. Работа является расширенной версией доклада конференции [6]. Знание характеристик морского волнения является необходимым условием для успешного решения ряда научных и прикладных задач. В связи с этим за последние 60 лет было разработано и создано множество измерительных систем: гидрофоны и гидрофонные комплексы, всевозможные измерители уровня, подходы которые можно отнести к неконтактным методам и т.д. Несмотря на то, что большинство из них имеют ограничения по точности измерений, а также в частотном и динамическом диапазонах с их помощью было решено множество вопросов.

Например, на сегодняшний день довольно хорошо изучены ветровые волны и волны зыби [8]. Получено много различных знаний о природе собственных колебаний бухт и заливов [7]. Установлена взаимосвязь между пространственными свойствами инфрагравитационных волн и направлением распространения волн зыби. Показано, что уровень энергии инфрагравитационных волн зависит от географических условий. Некоторые исследования говорят о том, что инфрагравитационные волны трансформируются в упругие колебания земной коры [2, 3] и т.д. Тем не менее, на сегодняшний день многие вопросы остаются открытыми: 1) Какие ветровые волны возбуждают инфрагравитационные волны, есть ли зависимость от периодов ветровых волн? Каков механизм возбуждения инфрагравитационных волн и существует ли зависимость вариаций основных параметров инфрагравитационных волн (период и амплитуда) от вариаций амплитуд и периодов ветровых волн? Что возбуждает собственные колебания бухт и заливов? Также, несмотря на огромное количество исследований, остаются вопросы и о ветровом волнении. Таким образом в данной работе мы попытаемся дать ответы на эти вопросы.

Эксперимент.

Обработка и анализ экспериментальных данных

В течение длительного времени в 2010 году в бухте Витязь Японского моря работал лазерный измеритель вариаций гидросферного давления, подробно описанный в [4, 9]. Его технические характеристики позволяют проводить измерения вариаций гидросферного давления в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц с точностью до 1 мПа. Лазерный измеритель вариаций гидросферного давления был установлен на дне бухты Витязь на глубине 8 м, что позволяло измерять вариации гидросферного давления, вызванные различными гидрофизическими процессами, среди которых нас в первую очередь интересуют ветровые волны, инфрагравитационные морские волны, собственные колебания бухты Витязь и приливы. Последние нас интересуют лишь в свете их возможного воздействия на ветровые и инфрагравитационные волны. Полученные экспериментальные данные по кабельным линиям поступали в лабораторный центр обработки и интерпретации результатов, где после предварительной обработки помещались в базу экспериментальных данных, которые в дальнейшем были подвергнуты окончательной обработке по схеме: 1) фильтрация низкочастотным фильтром Хэмминга до граничной частоты 1 Гц, 2) прореживание (децимация) до граничной частоты 2 Гц (частота Найквиста), 3) спектральная обработка с выводом полученной информации в виде динамической спектрограммы в которой по оси абсцисс представлено время, по оси ординат – частота (или период). После обработки для дальнейшего анализа были выбраны следующие временные ряды 2010 года: 8-14 мая, 9-19 августа, 1-11 сентября.

При спектральной обработке полученных экспериментальных данных практически всегда выделяются максимумы, вызванные суточным и полусуточным приливами, собственными колебаниями бухты Витязь (сейши), ветровыми волнами в диапазоне периодов от 2 до 18 с, а также инфрагравитационными морскими волнами, некоторые из этих волн мы подробно рассмотрим далее в статье. Также в записях можно найти колебания уровня моря, вызванные нагонными явлениями, вариациями атмосферного давления и высокочастотными шумами, обусловленными движущимися искусственными объектами, а также процессами, связанными с возникновением такого явления как «голос моря». Ветровые волны с периодами от 2 до 4-5 с являются

региональными для бухты Витязь и возбуждаются местным ветром, который дует с берега (северо-запад, север, северо-восток) или вдоль бухты (запад, восток). В исключительных случаях периоды данных волн могут достигать величины порядка 6-8 с при продолжительном действии ветра со скоростью порядка 17-20 м/с. Ветровые волны с периодами от 5-6 до 14-15 с заходят в бухту с открытой части Японского моря. В открытой части Японского моря ветровые волны возбуждаются проходящими циклонами и тайфунами. Учитывая то, что лазерный измеритель вариаций гидросферного давления находится на дне, то зарегистрированное давление, вызванное ветровым волнением, должно описываться уравнением:

$$P = \frac{\rho g a}{ch(kh)},$$

где: P – давление, ρ – плотность, a – амплитуда ветровой волны, $k = 2\pi / \lambda$ – волновое число, λ – длина волны, h – глубина моря. Как видно из этого уравнения величина регистрируемого давления зависит не только от параметров ветровых волн, но и от вариаций уровня моря, вызванных различными процессами. Кроме того, оно должно быть промодулировано приливами, что и наблюдается при просмотре динамической спектрограммы (см. рис. 1). По величине вариаций амплитуды зарегистрированных ветровых волн можно довольно точно оценить период и амплитуду приливных составляющих. В этом случае мы можем говорить о параметрическом методе, а не о прямом методе определения характеристик приливных составляющих. Хотя лазерный измеритель вариаций гидросферного давления напрямую регистрирует вариации уровня моря, вызванные приливами. Из рис. 1 также видно, что периоды ветровых волн со временем изменяются от минимального значения (порядка 4 с) до максимального значения (порядка 9.6 с). При этом максимальная амплитуда наблюдается на периоде порядка 8 с. Данное изменение свидетельствует о том, что мы наблюдаем развитие ветрового волнения, а не регистрируем волны, пришедшие с другого района Японского моря, т.е. регистрируемые ветровые волны возбуждаются вблизи зоны расположения лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. На рис. 1 видна дискретная структура регистрируемых ветровых волн, хотя максимальная амплитуда со временем «перетекает» от минимального периода почти до максимального. Помимо этого, глядя на этот рис. 1 можно

заметить, что гармоники ветрового волнения имеют постоянное периодическое изменения периода на всем рассматриваемом промежутке времени. Что интересно, период одного такого изменения составляет около 24 часов. Точно такой же эффект наблюдается и при обработке других участков данных. То есть речь идет о постоянных суточных колебаниях величины периода ветрового волнения. На данный момент у нас нет ясного понимания этого явления, поскольку эти данные идут в разрез с классическими теоретическими исследованиями, в соответствии с которыми период ветрового волнения является постоянной величиной [1].

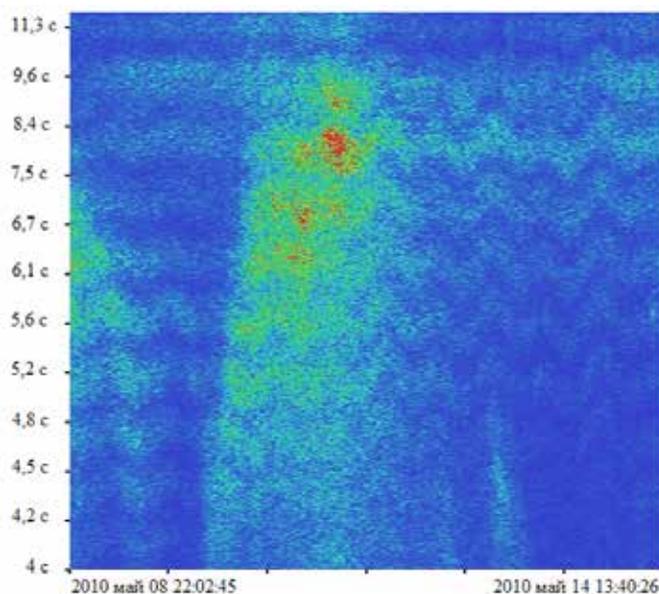


Рис. 1 Динамическая спектрограмма участка записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления в диапазоне морских ветровых волн

При спектральной обработке данных лазерного измерителя вариаций гидросферного давления в диапазоне периодов от 30 с до 5 мин выделяются группы колебаний с устойчивыми максимумами на периодах порядка 46 с, 1 мин 20 с и 2 мин 40 с (см. рис. 2), которые относятся к спектру инфрагравитационных морских волн.

Установлено, что выделенные группы инфрагравитационных морских волн существуют практически всегда при любом ветровом

волнении, т.е. при местном ветровом волнении, возникшем в бухте, и при ветровом волнении, пришедшем с открытой части Японского моря. Амплитуды этих колебаний все время меняются и имеют максимумы на участках, на которых происходит усиление амплитуд колебаний с периодами от 5 до 14 с. Т.е. приход в бухту Витязь зыби, которая, возбуждается в открытой части Японского моря, усиливает колебания с периодами 2 мин 40 с, 1 мин 20 с и 46 с. Во временном интервале, в котором амплитуда колебаний, лежащих в диапазоне ветровых волн и зыби, возрастает, возрастает также и амплитуда колебаний, лежащих в диапазоне от 30 с до 5 мин (то есть 2 мин 40 с, 1 мин 20 с, 46 с). Интересным является тот факт, что наиболее сильно амплитуду исследуемых колебаний усиливают волны, у которых сильно изменяется период со временем. Выделенные колебания (см. рис. 2),

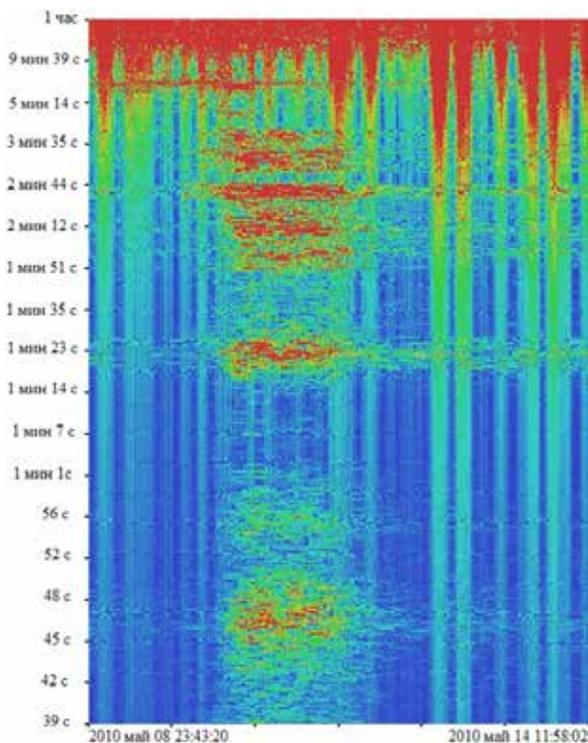


Рис. 2 Динамическая спектрограмма участка записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления в диапазоне инфрагравитационных морских волн.

в отличие от поверхностных ветровых волн, не испытывают вариаций, вызванных приливными составляющими. Давление, вызванное выделенными колебаниями и регистрируемое лазерным измерителем вариаций гидросферного давления, не зависит от величины водного столба в месте расположения регистратора. Т.е. можно утверждать, что выделенные колебания относятся к стоячим волнам для которых в фиксированный момент времени создаваемое ими давление на любой глубине от поверхности моря до дна будет одинаковым.

Как видно из рис. 2 группа максимумов с центральным максимумом с периодом 2 мин 40 с, имеющем наибольшую амплитуду, имеет дискретную структуру, связанную с модуляционным воздействием более низкочастотных колебаний, существующих в бухте. Данный результат демонстрируется на рис. 3, на котором приведён спектр, полученный при обработке одного участка записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. На рис. 3, также, как и на рис. 2, слева и справа относительно главного максимума выделяются «боковые лепестки», вызванные модуляционным воздействием более низкочастотного колебания с периодом около 17 мин, который относится к основной моде собственных колебаний (сейшам) бухты Витязь.

Также, в полученных данных, почти всегда присутствуют инфразвуковые колебания с периодами, лежащими в диапазоне от 16.5 до

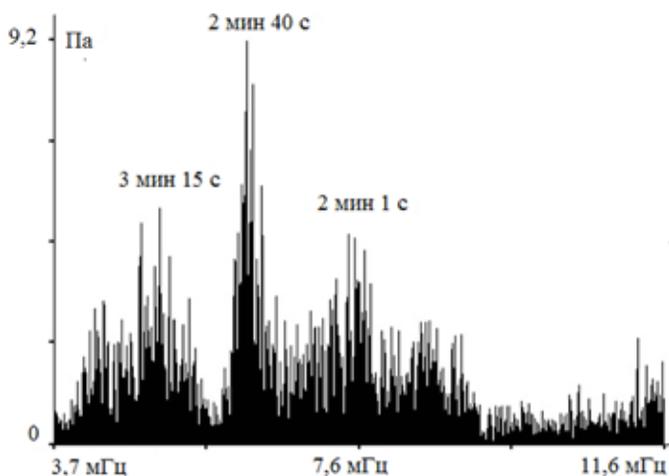


Рис.3 Спектр участка записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления.

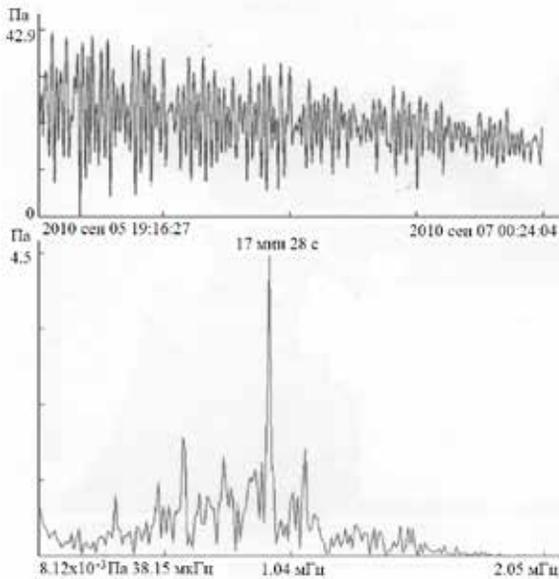


Рис. 4 Собственные колебания бухты Витязь.

17.5 мин и выше (отмечено наличие пиков на периодах 18 мин 23 с) которые являются собственными колебаниями бухты Витязь (рис. 4) [5]. Их период зависит от величины внешнего воздействия (например, проходящие вблизи бухты циклоны), при уменьшении которого период возрастает.

Заключение

В ходе длительных экспериментальных исследований установлено, что: 1) поверхностные ветровые волны в бухте Витязь шельфа Японского моря возбуждают группу инфрагравитационных стоячих волн с периодами 2 мин 40 с, 1 мин 20 с и 46 с, амплитуда которых зависит от степени изменения периодов ветровых морских волн; 2) они имеют устойчивую дискретную структуру, периоды которых практически не меняются со временем; 3) выделенные инфрагравитационные колебания промодулированы основной модой собственных колебаний бухты Витязь. Помимо этого в процессе обработки данных выяснилось, что период ветровых волн постоянно колеблется и пери-

од этих колебаний составляет примерно 24 часа. Также отметим, что собственные колебания бухты Витязь имеют период порядка 17 минут, а проходящие вблизи бухты циклоны усиливают эти колебания.

Благодарность Работа выполнена при частичной финансовой поддержке подпрограммы № 18-1-004 «Изучение фундаментальных основ взаимодействия разно-масштабных гидроакустических, гидрофизических и геофизических процессов...».

Литература

1. Боуден К. 1988. Физическая океанография прибрежных вод. М., Мир: 324 с.
2. Долгих Г.И., Овчаренко В.В. «Шум» земли в диапазоне инфрагравитационных морских волн // Доклады академии наук. 2008. Т. 422. №2. с. 250-253.
3. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Чупин В.А., Юй-Хунг Хсяо (Yu-Hung Hsiao). О природе «Инфрагравитационного шума Земли» // Доклады академии наук. 2016 Т. 471. №4. с. 470-474.
4. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н. и др. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы // Приборы и техника эксперимента. 2005. №6. с. 137-138.
5. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Смирнов С.В., Чупин В.А., Швец В.А., Яковенко С.В. Инфразвуковые колебания Японского моря // Доклады академии наук. 2011. Т. 441. №1. с. 98-102.
6. Плотников А.А. Некоторые особенности возникновения морских инфрагравитационных волн // Мат-лы докладов XI Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». 9-14 сентября 2019 г. Владивосток: Типография ТИГ. С.460-463.
7. Рабинович А.Б.: Длинные волны в океане: захват, резонанс, излучение. С-Петербург: Гидрометеоиздат. 1993. 325 с.
8. Титов Л.Ф. Ветровые волны. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 294 с
9. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalyov S.N., Chupin V.A. et al. Super-low-frequency laser instrument for measuring hydrosphere pressure variations // Journal of Marine Science and Technology. 2009. Vol.14. №.4. p. 480-488.

References

1. Bowden K. 1988. Physical oceanography of coastal waters. M., World: 324 p.
2. Dolgikh G.I., Ovcharenko V.V. Earth's noise in the range of infragravity sea waves. Doklady Earth Sciences. 2008. V. 422. № 1. p. 1129-1132.
3. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Chupin V.A., Yu-Hung Hsiao. The Nature of Terrestrial Infragravitational "Noise". Doklady Earth Sciences. 2016. V. 471. Part 2 p. 1257–1260. DOI: 10.1134/S1028334X16120011
4. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N. Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. Laser measuring instrument of hydrosphere pressure variations. Instruments and Experimental Techniques. 2005. № 6. p. 56-57.
5. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Smirnov S.V., Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. Infrasound oscillations in the Sea of Japan. Doklady Earth Sciences. 2011. V. 441. No 1. p. 1529-1532

6. Plotnikov A.A. Some features of the emergence of marine infra-gravity waves. Proceedings of the XI All-Russian Symposium "Physics of Geospheres". September 9-14, 2019 Vladivostok: TIG. P. 460-463.
7. Rabinovich A.B: 1993, Long waves in the ocean: capture, resonance, radiation. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 325 pp.
8. Titov L.F. Wind waves. L.: Gidrometeoizdat, 1970.294 pp. (in Russian)
9. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G, Kovalyov S.N., Chupin V.A. et al. Super-low-frequency laser instrument for measuring hydrosphere pressure variations. Journal of Marine Science and Technology, 2009, vol.14, №.4, p. 480-488.