

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОСФЕРЕ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ
HAZARDOUS PROCESSES IN THE HYDROSPHERE:
FUNDAMENTAL AND ENGINEERING ASPECTS

УДК 551.466

DOI: 10.34753/HS.2021.3.4.322

МОРСКИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ
ПОВЕРХНОСТНЫЕ
ВОЗМУЩЕНИЯ

Г.И. Долгих, С.Г. Долгих

*Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток,
Россия*

dolgikh@poi.dvo.ru

MARINE EXTREME SURFACE
DISTURBANCESMI

Grigory I. Dolgikh, Stanislav G. Dolgikh

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute
FEB RAS, Vladivostok, Russia*

dolgikh@poi.dvo.ru

Аннотация. Наряду с цунами волны-убийцы относятся к катастрофическим явлениям Мирового океана, которые приносят колоссальные потери людей и морских объектов, созданных руками человека. Мы называем их более умеренно – морские экстремальные поверхностные возмущения. Такое название связано с тем, что название волны-убийцы на наш взгляд больше соответствует цунами. В классическом представлении волнового возбуждения они слабо подходят под название волны. Тем не менее общепринятое их название – волны-убийцы. В статье обсуждаются результаты обработки участков записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, установленного на шельфе Японского моря на глубине 27 м, в которых выделяются морские возмущения, по внешнему виду похожие на волны-убийцы: «одна сестра», «две сестры», «три сестры». При обработке полученных экспериментальных данных за июнь 2007 года выделены основные моды ветрового волнения и инфрагравитационных морских волн, ответственных за формирование наблюдаемых волн-убийц. Экстремальные поверхностные возмущения на фоне ветрового волнения сильно выделяются по амплитуде и форме. Величина этого возмущения (от минимума до максимума) в несколько раз больше усредненного морского прилива в этом регионе Японского моря.

Abstract. Along with the tsunami, killer waves are among the catastrophic phenomena of the World Ocean, which bring enormous losses to both people and marine objects created by human hands. We call them more moderate-marine extreme surface disturbances. This name is due to the fact that the name of the killer wave, in our opinion, corresponds more to a tsunami. In the classical representation of wave excitation, they poorly fit the name of a wave. Nevertheless, their generally accepted name is killer waves. The article discusses the results of processing sections of recordings of a laser hydrosphere pressure variations meter installed on the shelf of the Sea of Japan at a depth of 27 m, in which marine disturbances are distinguished, similar in appearance to killer waves: "one sister", "two sisters", "three sisters". When processing the experimental data obtained for June 2007, the main modes of wind waves and infragravity sea waves responsible for the formation of the observed killer waves were identified. Extreme surface disturbances against the background of wind waves are strongly distinguished in amplitude and shape. The intermode energy transfer in the observed wave packet resembles in its behavior a modified Fermi-Paste-Ulam return, characteristic of oscillators-geoblocks of the Earth's crust. Energy transfer occurs between modes of different wave packets having different nature of formation. Thus, in the experimental data under consideration, the first wave

Межмодовая перекачка энергии в наблюдаемом пакете волн по своему поведению напоминает модифицированный возврат Ферми-Пасты-Улама, характерный для осцилляторов-геоблоков земной коры. Перекачка энергии происходит между модами различных волновых пакетов, имеющих различную природу образования. Так в рассматриваемых экспериментальных данных первый волновой пакет соответствует ветровому диапазону, а второй инфрагравитационному диапазону. Инфрагравитационный диапазон связан с собственными колебаниями водной массы шельфовой области зоны расположения лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Наиболее энергонесущими при этом возбуждении являются максимумы, соответствующие колебанию инфрагравитационного диапазона и основному максимуму ветрового диапазона.

Ключевые слова: экстремальные возмущения; волны-убийцы; явление возврата; межмодовая перекачка энергии; ветровые волны; лазерный измеритель вариаций гидросферного давления.

Введение

В статье речь пойдёт о морских экстремальных поверхностных возмущениях, которые имеют громкое название – волны-убийцы [Куркин, Пелиновский, 2004; Dysthe, Krogstad, Muller, 2008; Garrett, Gemmrich, 2009; Kharif, Pelinovsky, Slunyaev, 2009], или более щадящее название – экстремальные волны [Чаликов, 2012]. Мы ввели более мягкое новое определение – морские экстремальные поверхностные возмущения. Данное название вызвано тем, что, на наш взгляд, название волны-убийцы более подходит к цунами. По-видимому, на шельфе поведение волн-убийц и цунами почти одинаковое – равновесие между дисперсией и нелинейностью нарушается: дисперсия стремительно уменьшается, а нелинейность возрастает. Это приводит к тому, что высота волн-убийц резко растёт. Поэтому на шельфе волны-убийцы встречаются значительно чаще, чем на глубоком море. Почему не волны, а возмущения? Это связано с тем, что тяжело данным

packet corresponds to the wind range, and the second to the infragravity range.

Keywords: extreme disturbances; killer waves; return phenomenon; intermode energy transfer; wind waves; laser meter of hydrosphere pressure variations.

образованиям приписать свойства волн. Ближе к ним относятся импульсы, солитоны, бризеры, кинки и тому подобное. Таким образом, дальше по тексту мы будем вести речь не о волнах-убийцах, а о морских экстремальных поверхностных возмущениях, но понимать будем, что речь идёт об одних и тех же морских явлениях. При рассмотрении движения по шельфу данных экстремальных поверхностных возмущений многие авторы его описывают известным уравнением Кортевега-де Фриза, при применении которого показано, что нерегулярное волнение становится не гауссовым и вероятность появления волн большой амплитуды возрастает. Образование морских экстремальных поверхностных возмущений связывали как с эффектами самофокусировки, так и с взаимодействием разномасштабных поверхностных волн, например, взаимодействием поверхностного ветрового волнения местного происхождения с зыбью, пришедшей из другой области моря.

В данной статье мы рассмотрим другие возможные эффекты появления морских экстремальных поверхностных возмущений, но связанные с другими нелинейными процессами, которые более точно могут описать наблюдаемые эффекты. При своём описании мы будем основываться на экспериментальных данных, полученных в натурных условиях при применении лазерного измерителя вариаций гидросферного давления [Долгих и др., 2005], установленного на шельфе Японского моря при глубине 27 м.

Лазерный измеритель вариаций гидросферного давления

На рисунке 1 приведён внутренний вид прибора, созданного на основе применения модифицированного интерферометра Майкельсона гомодинного типа и частотно-стабилизированного гелий-неонового лазера, обеспечивающего стабильность частоты излучения в девятом знаке. Частотная стабильность лазера необходима для обеспечения его устойчивой работы. В ходе выполнения конструкторских работ нами были созданы различные лазерные измерители вариаций гидросферного давления, работающие на различных лазерах. Применение полупроводниковых лазеров позволило значительно снизить геометрические размеры измерителей вариаций гидросферного давления, а также его энергопотребление. Но при применении красного не частотно-стабилизированного полупроводникового лазера привело к тому, что прибор стал работать очень неустойчиво. Использование полупроводникового зелёного лазера со стабильностью в шестом знаке подняла надёжность работы лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Но самым удачным образцом является лазерный измеритель вариаций гидросферного давления, созданный на основе применения частотно-стабилизированного гелий-неонового лазера в девятом знаке. Надёжность работы прибора значительно повысилась, что позволило его

непрерывно эксплуатировать под водой в течение года, в ходе чего были получены уникальные экспериментальные данные.

Оптико-электронная часть лазерного измерителя вариаций гидросферного давления помещается в цилиндрический корпус из нержавеющей стали, который закрепляется в решётке, предназначенной для защиты прибора в сложных эксплуатационных условиях (скалистое или илистое дно). Одна сторона имеет отверстие под кабель-ввод. Другая сторона герметично закрывается крышкой. Помимо защитной решётки снаружи прибора расположена эластичная емкость с воздухом, выходное отверстие которой с помощью трубки соединено с компенсационной камерой, расположенной в съёмной крышке. Внутри корпуса находятся интерферометр Майкельсона, компенсационная камера, электромагнитный клапан и цифровая система регистрации. Чувствительным элементом прибора является круглая мембрана, которая фиксируется по периметру с торца прибора. С внешней стороны мембрана взаимодействует с водой. На внутренней стороне мембраны закреплено зеркало (рисунок 2), которое входит в состав системы «глаз кошки», состоящей из двояковыпуклой линзы с соответствующим фокусным расстоянием и данного зеркала. Зеркало с линзой входит в состав измерительного плеча интерферометра. Применение системы «кошкин глаз» позволяет использовать это зеркало в качестве измерительного плеча интерферометра. Зеркало, жёстко закреплённое в центре мембраны, под воздействием вариаций давления гидросферы смещается вдоль оси интерферометра. Вариации длины измерительного плеча приводят к изменению интенсивности интерференционной картины, которое фиксируется цифровой системой регистрации. Выходным сигналом сверхчувствительного сенсора, после предварительной обработки цифровой системой регистрации, являются вариации давления гидросферы.

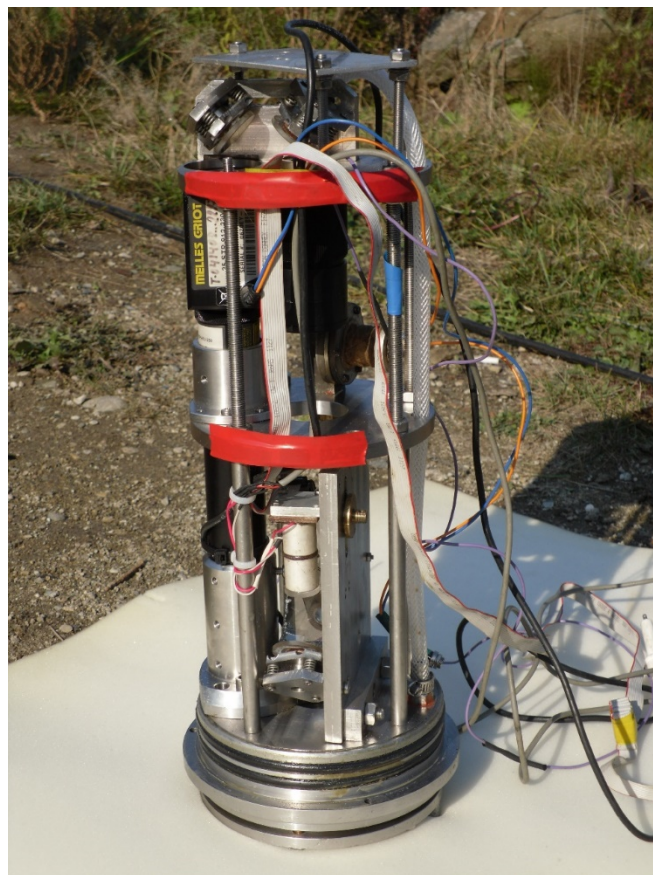


Рисунок 1. Внутренний вид лазерного измерителя вариаций гидросферного давления.

Figure 1. Internal view of the laser meter of hydrosphere pressure variations.

Для поддержания чувствительного элемента (мембраны) в нейтральном положении при погружении прибора на рабочую глубину используется встроенная система компенсации внешнего давления (рисунок 2). Для сохранения нейтрального положения мембраны (4) во время погружения прибора на рабочую глубину открывается электромагнитный клапан (9). Воздух из внешнего гибкого резервуара (1) под действием давления гидросферы по армированным шлангам (3 и 10) поступает в компенсационную камеру (8). Уравновешивание внешнего давления и давления внутри камеры приводит к установке мембраны в нейтральное положение. Когда прибор устанавливается на рабочую глубину клапан закрывается и начинается работа прибора по регистрации вариаций давления гидросферы. Данная схема

установки прибора применяется для любой рабочей глубины и всегда в начальный момент времени мембрана устанавливается в нейтральное положение.

Модифицированный лазерный измеритель вариаций гидросферного давления предназначен для измерения вариаций гидросферного давления с наноразрешающей точностью в инфразвуковом и звуковом диапазонах в большом динамическом диапазоне. Основные его технические характеристики:

- рабочий диапазон: 0 (условно) – 1000 Гц;
- точность измерения вариаций гидросферного давления – 0,24 мПа;
- рабочие глубины – до 50 м.

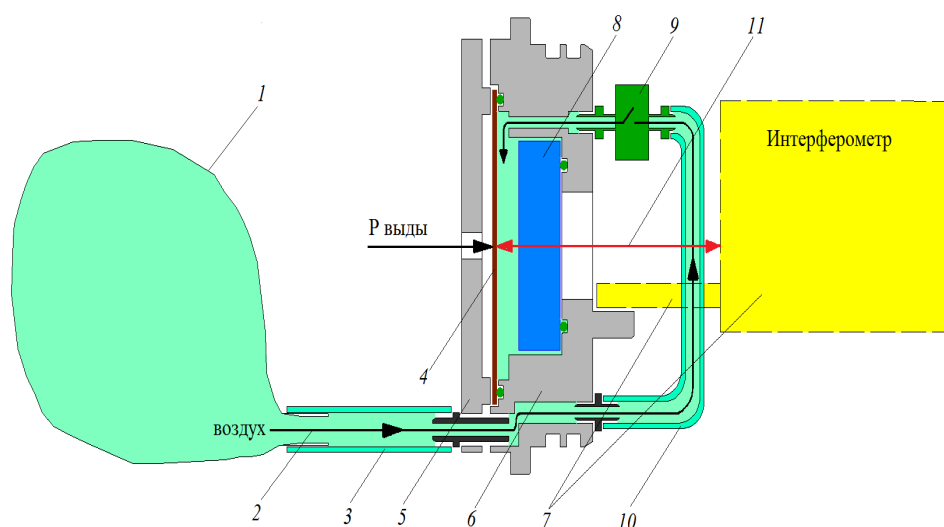


Рисунок 2. Схема системы компенсации внешнего давления: 1 – ёмкость с воздухом; 2 – направление движения воздуха; 3 – соединительная трубка; 4 – мембрана с зеркалом; 5 – защита мембраны; 6 – основа съёмной крышки; 7 – интерферометр; 8 – оптическое окно; 9 – клапан; 10 – соединительная трубка; 11 – лазерный луч.

Figure 2. Diagram of the external pressure compensation system: 1 – air tank; 2 – air direction; 3 – connecting tube; 4 – membrane with mirror; 5 – membrane protection; 6 – removable cover base; 7 – interferometer; 8 – optical window; 9 – valve; 10 – connecting tube; 11 – laser beam.

Данный лазерный измеритель вариаций гидросферного давления входит в состав лазерно-интерференционного комплекса различного исполнения. На морской экспериментальной станции «м. Шульца» Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук в состав лазерно-интерференционного измерительного комплекса входят также два лазерных деформографа неравноплечего типа с длинами измерительных плеч 52,5 и 17,5 м, ориентированных примерно по линиям «север-юг» и «запад-восток». Лазерные деформографы позволяют измерять вариации деформации земной коры с высокой точностью в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц. Также в состав комплекса входит лазерный нанобарограф, созданный по схеме равноплечего интерферометра Майкельсона с применением анероидной коробки с зеркальным напылением в качестве чувствительного элемента. Комплекс оснащён метеостанцией, GPS-приёмником, часами точного времени и другой вспомогательной аппаратурой.

Весной 2007 года первый вариант лазерного измерителя вариаций гидросферного давления

был установлен на дно на шельфе Японского моря южнее мыса Шульца на глубине 27 м, который успешно проработал несколько месяцев. Полученные экспериментальные данные были помещены в базу экспериментальных данных Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, в которой также находятся данные лазерных деформографов, установленных на мысе Шульца, данные метеостанции, а также данные других вспомогательных приборов. Эпизодически эти данные обрабатываются с применением различных спектральных и статистических методов.

Анализ экспериментальных данных

При обработке экспериментальных данных лазерного измерителя вариаций гидросферного давления было обращено внимание на сигналы, амплитуда и вид которых сильно отличались от окружающих сигналов. Главные отличия были в амплитудах и внешнем виде регистрируемых сигналов, которые по частотному диапазону не совпадали с фоновыми сигналами, к которым можно отнести и морское волнение,

существующее как до, так и после наблюдаемых аномальных сигналов. Как правило аномальные сигналы никакого изменения не вносили в наблюдаемые процессы. Так, например, периоды и амплитуды ветровых волн никак не изменялись. А все изменения были обусловлены как природными процессами (например, направление и скорость ветра), так и физическими процессами, связанными, например, с дисперсионными законами и тому подобным. В качестве примера сигналов аномального типа на рисунке 3 приведён участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, на котором на фоне существующих ветровых волн выделяется сигнал по амплитуде и по форме сильно отличающийся от поверхностного волнения. Величина этого возмущения (от минимума до максимума) составила около 1,3 м. Усреднённый

морской прилив в этой зоне Японского моря обычно составляет около 0,4 м. Таким образом, данное аномальное возмущение больше прилива примерно в три раза. Длительность этого возмущения составила около 8 мин.

При анализе других записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления на фоне поверхностного ветрового волнения выделили несколько подобных аномальных возмущений, отличающихся как по форме, так и по амплитуде. На рисунке 4 для примера приведён другой участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Величина этого возмущения (от минимума до максимума) составила около 0,67 м. Это конечно небольшая величина, но достаточно заметная на фоне относительно спокойного моря.

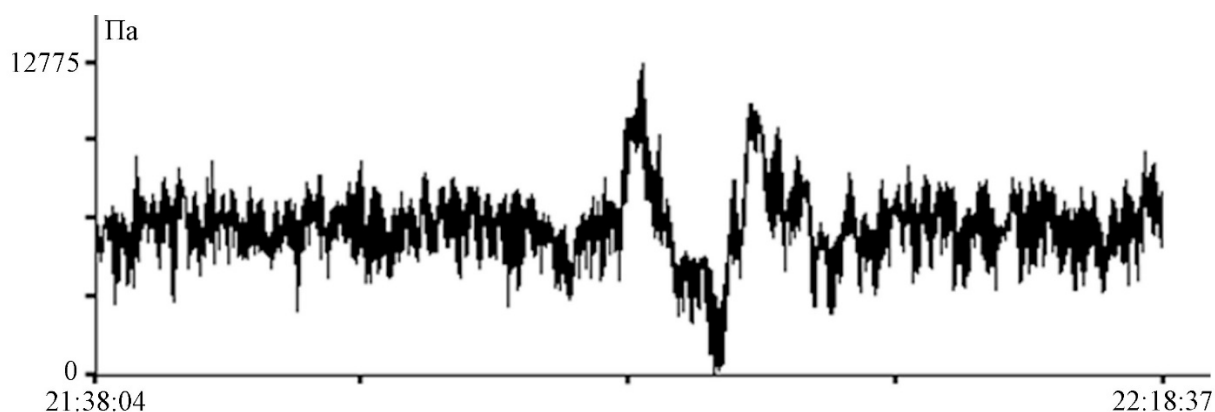


Рисунок 3. Участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления за 08 июня 2007 года.

Figure 3. Recording area of a laser meter of hydrosphere pressure variations for June 08, 2007.

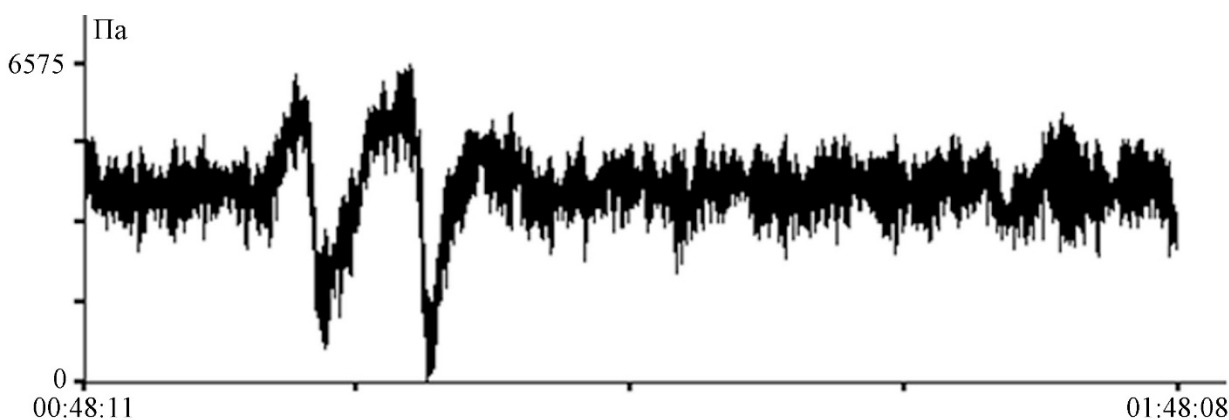


Рисунок 4. Участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления за 03 июня 2007 года.

Figure 4. Recording area of a laser meter of hydrosphere pressure variations for June 03, 2007.

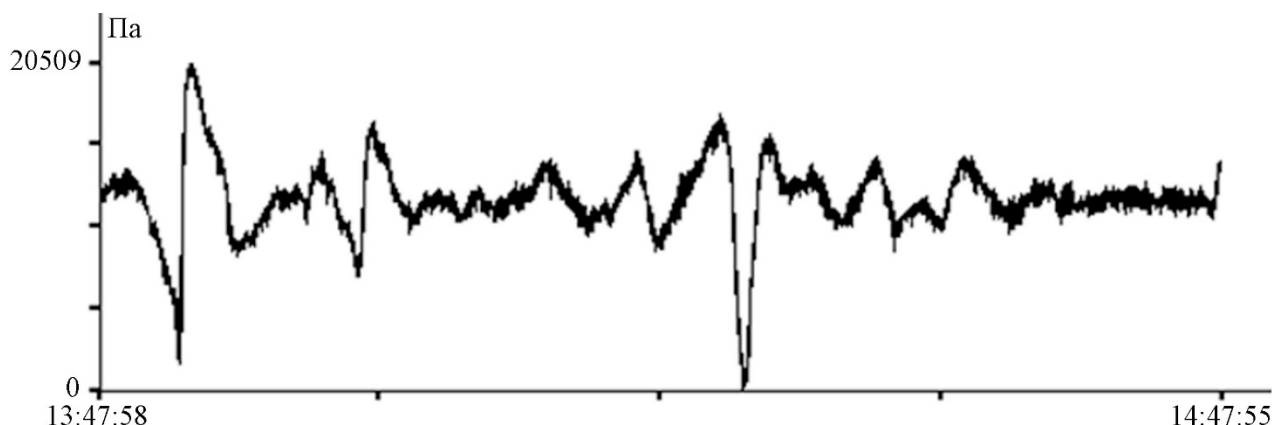


Рисунок 5. Участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления за 01 июня 2007 года.

Figure 5. Recording area of a laser meter of hydrosphere pressure variations for June 01, 2007.

Кроме таких почти одиночных возмущений наблюдаются групповые возмущения достаточно большой величины. Так, на рисунке 5 приведён участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, на котором приведено несколько подобных уединённых возмущений. Величины данных возмущений достаточно большие, но самое большое из них первое, равное примерно 2,1 м. При этом форма данного возмущения асимметричная – падение происходит почти 3 мин, а нарастание достаточно быстрое, около 21 с.

Интересен вопрос о происхождении указанных аномальных возмущений, особенно отмеченных на рисунках 3 и 4. На фоне стандартного ветрового волнения они выглядят инородно. В работе [Шургалина, Пелиновский, 2012] рассмотрены численные эксперименты, в результате которых получены почти аналогичные аномальные возмущения. В численных экспериментах считается, что волны зыби распространяются на фоне ветровых волн, обусловленных действием локального ветра. Считается, что ветер достаточно слабый, так что аномальные волны зыби заметны на их фоне. В числовых экспериментах случайное поле ветровых волн задают с помощью суперпозиции спектральных компонент со случайными фазами. Последовательные решения позволили воспроизвести волны-убийцы в поле ветровых волн («одна сестра», «две сестры», «три сестры», «четыре сестры»), графическое представление которых очень похоже на графики,

представленные на рисунках 3 и 4. Глядя на рисунки 3 и 4 можно сказать, что на них приведены типичные волны-убийцы (в нашем случае морские экстремальные поверхностные возмущения) типа «две сестры» и «три сестры», соответственно. Что можно сказать о ветровом волнении, представленном на рисунках 3 и 4? Период ветрового волнения равен примерно 7 с. Этот период ветрового волнения характерен для почти фоновых волн зыби Японского моря, для которых он примерно равен 5–6 с. Физика возникновения аномальных возмущений, описанная в работе [Шургалина, Пелиновский, 2012], не применима в нашем случае, хотя наши графики и графики, приведённые в этой работе, очень похожи. Далее рассмотрим ещё один физический процесс, который может привести к возникновению подобных аномальных возмущений – волн-убийц.

С целью изучения закономерностей в поведении морских экстремальных поверхностных возмущений были проанализированы несколько записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, аналогичных записям, приведённым на рисунках 3 и 4. При этом можно отметить одну и ту же закономерность: спектральные компоненты, полученные при обработке участка записи, содержащего аномальные сигналы, имеют ярко выраженные максимумы на двух-трёх периодах, один из которых находится в глубокой инфразвуковой области (период около 5 мин), а другой максимум находится на периоде ветрового

волнения. При обработке участков записей, содержащих фоновые сигналы, на фоне которых выделяется поверхностное волнение, имеют много максимумов, расплывающихся по спектру в инфразвуковой области (от 7 с до 5 мин), а также наибольший максимум, соответствующий ветровому волнению. При этом все спектральные максимумы, соответствующие ветровому волнению (правильнее будет сказать зыби), для фоновых участков имеют значительно меньшие величины, чем такие же максимумы для участков записей, содержащих аномальные возмущения. В качестве характерного примера на рисунке 6 приведены спектры, полученные при спектральной обработке участков записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления методом максимального правдоподобия. Обработывались участки записи, приведённой на рисунке 3. Такой же обработке подвергались участки записи, приведённой на рисунке 4, а также ещё нескольких записей. При этом в глубокой инфразвуковой области выделялись мощные пики на частотах, соответствующих периодам, находящимся в диапазоне 5–5,5 мин. А в области волн зыби выделялись мощные максимумы, находящиеся в диапазоне 7–7,3 с. Для фоновых участков максимумы волн зыби находились в диапазоне 6,7–7,8 с. Такое расхождение в периодах возможно связано с несколькими причинами. Главной причиной является разная длина выбранных участков записей (1024, 1616 и 1686 точек), из-за чего получается разное частотное разрешение. Вторая причина связана с некоторыми дисперсионными и нелинейными процессами, особенно для ветровых волн.

Главное, что надо отметить для всех обработанных участков записей, это следующее:

1) Для фоновых участков записей энергия «растекается» по многим спектральным компонентам;

2) Для участков записей, содержащих морские экстремальные поверхностные возмущения или, следуя работе [Шургалина, Пелиновский, 2012], волны-убийцы, энергия сосредотачивается на 2–3 спектральных компонентах;

3) При этом величины спектральных максимумов второго случая всегда больше величин спектральных максимумов первого случая.

Каков физический механизм возникновения данных аномальных возмущений? С некоторой аппроксимацией такое поведение характерно для явления возврата Ферми-Пасты-Улама с некоторыми модификациями. Похожее поведение спектральных компонент наблюдалось при возбуждении осцилляторов-геоблоков [Давыдов и др., 1987], только процесс был более периодическим. Для различных осцилляторов-геоблоков рассмотренные эффекты объединены одним общим для всех процессов явлением – явлением возврата Ферми-Пасты-Улама, которое было впервые рассмотрено Ферми [Ферми, 1972] при численном моделировании колебаний струны, представленной 64 связанными точками. Оно является характерным для любых осцилляторов-геоблоков при возбуждении их внешней силой. При величине внешней силы большей некоторого порогового значения для данного осциллятора возбуждается несколько мод, энергия от которых распределяется почти равномерно по соседним частотам. Спустя некоторое время картина приобретает первоначальный вид, если пренебречь процессами диссипации. При сообщении осциллятору-геоблоку величины энергии меньшей порогового значения возбуждается единичное число мод (одна, две), между которыми происходит перекачка энергии, то есть происходит простейший акт явления возврата.

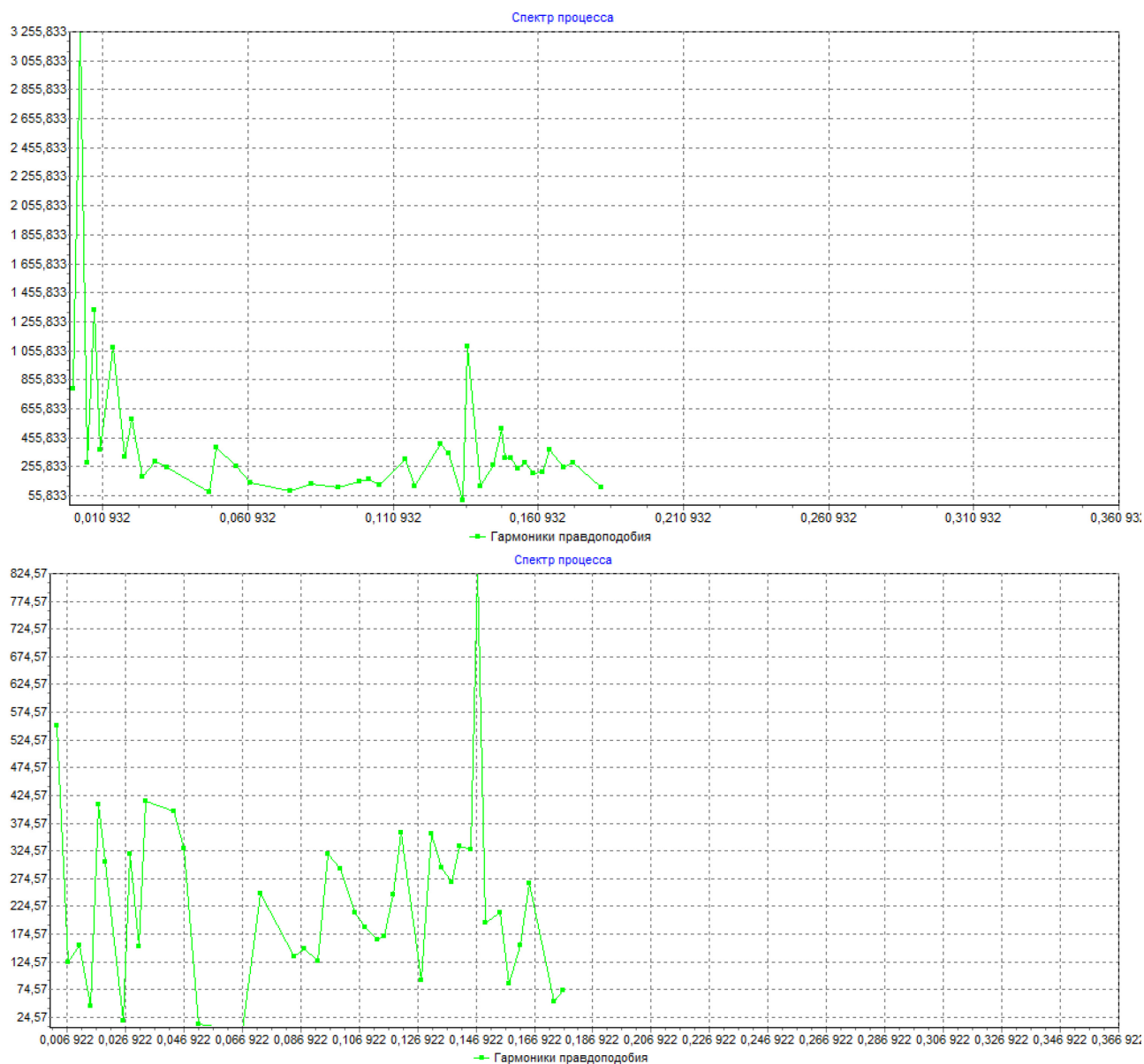


Рисунок 6. Спектры, полученные при обработке участка записи, содержащего аномальные возмущения (верхний) и фоновой участка записи (нижний).

Figure 6. Spectra obtained during processing of the recording section containing anomalous disturbances (upper) and the background recording section (lower).

В нашем случае всё более сложно. Перекачка энергии происходит не между модами одного волнового пакета, а между модами различных волновых пакетов, при этом природа их образования различная. Один волновой пакет ответственен за пакет ветрового диапазона, а второй пакет – за инфрагравитационный диапазон и связан, по-видимому, с собственными колебаниями водной массы зоны расположения лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Собственные колебания водной массы

шельфовой области зависят от её геометрических размеров. При определённых условиях происходит внешняя энергетическая накачка водной массы, которая проявляется в кратковременном её возбуждении с концентрацией внешней энергии на одной (редко двух) модах. При этом мы можем наблюдать волны-убийцы в поле ветровых волн, описанные в работе [Шургалина, Пелиновский, 2012]: «одна сестра», «две сестры», «три сестры». Наиболее энергонесущими при этом возбуждении являются

максимумы, соответствующие колебанию инфрагравитационного диапазона и основному максимуму ветрового диапазона. Надеемся, что при дальнейших экспериментальных и модельно-теоретических исследованиях будет изучен физический механизм наблюдаемых процессов.

Заключение

Рассмотренные в статье волны-убийцы: «одна сестра», «две сестры» и «три сестры» – образованы в результате нелинейного межмодового взаимодействия основных мод ветрового волнения (волн зыби) и основной моды региональных инфрагравитационных морских волн зоны расположения лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Относительно редкое возбуждение волн-убийц связано, на наш взгляд, с относительно низким энергетическим уровнем волн зыби. Ожидается, что при её

увеличении появление волн-убийц станет более частым. Интересен вопрос о зависимости возникновения волн-убийц от периодов волн зыби. Возможно, что при значительном увеличении периодов ветрового волнения, например, до 10–12 секунд в процесс образования волн-убийц будут вовлечены другие инфрагравитационные моды.

Благодарности

Исследования выполнены за счёт средств Министерства науки и высшего образования (тема госзадания «Изучение фундаментальных основ возникновения, развития, трансформации и взаимодействия гидроакустических, гидрофизических и геофизических полей в Мировом океане»).

Литература

Давыдов А.В., Долгих Г.И., Запольский А.М., Копвиллем У.Х. Нелинейный сейсмоакустический осциллятор / Депонирована в ВИНТИ РАН №3635-B87. Владивосток, 1987. 23 с.

Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы // Приборы и техника эксперимента. 2005. № 6. С. 137–138.

Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. Н. Новгород: ННГУ, 2004. 158 с.

Ферми Э. Научные труды в 2 т. Том 2. М.: Наука, 1972. 712 с.

Чаликов Д.В. Портрет волны-убийцы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2012. Т. 5. № 1. С. 5–13.

Шургалина Е.Г., Пелиновский Е.Н. Проявления аномально больших волн зыби на фоне слабого ветрового волнения // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2012. Т. 5. № 1. С. 77–88.

References

Chalikov D.V. Portret volny-ubiitsy [The Portrait of Freak Wave]. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and applied hydrophysics], 2012, vol. 5, iss. 1, pp. 5–13. (In Russian; abstract in English).

Davydov A.V., Dolgikh G.I., Zapol'skii A.M., Kopvillem U.Kh. *Nelineinyi seismoakusticheskii ostsillyator* [Nonlinear seismoacoustic oscillator]. Vladivostok, 1987. 23 p. (In Russian).

Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Shvets V.A., Chupin V.A., Yakovenko S.V. Lazernyi izmeritel' variatsii davleniya gidrosfery [Laser meter of hydrosphere pressure variations]. *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Instruments and experimental techniques], 2005, iss. 6, pp. 137–138. (In Russian).

Dysthe K., Krogstad H.E., Muller P. Oceanic rogue waves. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2008, vol. 40, pp. 287–310. DOI: [10.1146/ANNUREV.FLUID.40.111406.102203](https://doi.org/10.1146/ANNUREV.FLUID.40.111406.102203).

Fermi E. *Nauchnye trudy v 2 tomakh. Tom 2* [Scientific works in 2 volumes. Volume 2]. Moscow, Publ. Nauka, 1972. 712 p. (In Russian).

Dysthe K., Krogstad H.E., Muller P. Oceanic rogue waves // *Annual Review of Fluid Mechanics*. 2008. Vol. 40. Pp. 287–310.

DOI: [10.1146/ANNUREV.FLUID.40.111406.102203](https://doi.org/10.1146/ANNUREV.FLUID.40.111406.102203).

Garrett C., Gemmrich J. Rogue Waves // *Physics Today*. 2009. Vol. 62. Iss. 6. Pp. 62–63. DOI: [10.1063/1.3156339](https://doi.org/10.1063/1.3156339).

Kharif Ch., Pelinovsky E., Slunyaev A. Rogue waves in the ocean. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2009. 216 p. DOI: [10.1007/978-3-540-88419-4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-88419-4).

Garrett C., Gemmrich J. Rogue Waves. *Physics Today*, 2009, vol. 62, iss. 6, pp. 62–63. DOI: [10.1063/1.3156339](https://doi.org/10.1063/1.3156339).

Kharif Ch., Pelinovsky E., Slunyaev A. *Rogue waves in the ocean*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2009. 216 p. DOI: [10.1007/978-3-540-88419-4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-88419-4).

Kurkin A.A., Pelinovskii E.N. *Volny-ubiitsy: fakty, teoriya i modelirovanie [Freak waves: facts, theory and modeling]*. Nizhny Novgorod, University Publ., 2004. 158 p. (In Russian).

Shurgalina E., Pelinovsky E. Proyavleniya anomal'no bol'shikh voln zybi na fone slabogo vetrovogo volneniya [Development of freak swell wave in a weak wave field]. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika [Fundamental and applied hydrophysics]*, 2012, vol. 5, iss. 1, pp. 77–88. (In Russian; abstract in English).