

УДК 551.465

## АНОМАЛЬНО ВЫСОКИЕ ВОЛНЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ СПЕКТРАЛЬНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

© 2016 г. Я. В. Сапрыкина, С. Ю. Кузнецов

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва**e-mail: saprykina@ocean.ru, kuznetsov@ocean.ru*

Поступила в редакцию 21.06.2015 г.

После доработки 09.09.2015 г.

По данным лабораторного эксперимента подтверждены выдвинутые ранее гипотезы о механизме образования аномально высоких волн при развитии спектральной неустойчивости. Выяснены характеристики развития спектральной неустойчивости – зависимости величины сдвига частоты максимума спектра в низкочастотную область и расстояний от волнопродуктора, на которых он происходит, от крутизны волн и ширины спектра. Выявлены зависимости числа образующихся за 200 секунд аномальных волн от доли спектральной энергии, передающейся в низкочастотную область спектра, и от стадий развития спектральной неустойчивости. Полученные результаты могут служить основой для построения статистической модели возникновения аномально высоких волн.

DOI: 10.7868/S0030157416030187

### ВВЕДЕНИЕ

Аномально высокие волны или, как их еще называют, волны-убийцы [4], представляют собой одиночные волны большой высоты и крутизны, визуально не вписывающиеся в имеющуюся групповую структуру нерегулярного волнения и выпадающие из общепринятых функций распределения высот волн. Поскольку такие волны могут возникать внезапно и даже при отсутствии ветра, они представляют реальную опасность, прежде всего для морского судоходства. Их воздействие на морские нефтяные платформы также может носить разрушительный характер. Возникновение аномально высоких волн в береговой зоне моря приводит к катастрофическим размывам и наносит ущерб различным береговым сооружениям. Поэтому изучение механизмов образования этих волн и методов их прогноза является весьма актуальной задачей океанологии.

Существует множество критериев для определения “волны-убийцы”, при этом общим для всех критериев является то, что ее высота в два раза превышает значительную высоту штормовых волн или волн зыби:

$$h > 2H_{\text{sig}}, \quad (1)$$

где  $H_{\text{sig}} = 4\sigma$ ,  $\sigma$  – стандартное отклонение возвышений свободной поверхности.

Многочисленными исследованиями последних лет было показано, что классические статистические подходы и основанные на них традиционные методы не годятся для прогноза условий

возникновения аномально высоких волн. Условия их возникновения не описываются ни одним из классических параметров волновых режимов [15]. Поэтому крайне важным является изучение физических механизмов формирования аномально высоких волн, поскольку это позволит знать необходимые и достаточные условия их возникновения и прогнозировать вероятность появления аномально высоких волн, исходя из прогноза условий, а не статистических свойств волнения.

На сегодняшний день можно выделить несколько основных физических механизмов образования аномальных волн, зависящих прежде всего от линейных и нелинейных механизмов трансформации нерегулярного волнения: линейная суперпозиция, дисперсионная фокусировка, нелинейная фокусировка, развитие модуляционной и спектральной неустойчивостей спектра [4, 1]. Течения или усиление ветра могут оказывать дополнительное влияние на образование аномально высоких волн.

Развитие модуляционной неустойчивости типа Бенджамина-Фейра является одним из широко обсуждаемых механизмов формирования аномально высоких волн [3, 11, 12, 9, 6–8, 10]. Роль модуляционной неустойчивости в эволюции спектра волн по данным натурных и лабораторных экспериментов была подробно изучена в [2, 3, 1, 14]. Было показано, что процесс развития модуляционной неустойчивости в узком спектре волн инициирует неустойчивость спектра волн, во время которой происходит быстрый сдвиг максимума спектра в низкочастотную область, который про-

исходит с дискретным шагом по частоте. Будем называть этот процесс спектральной неустойчивостью.

Спектральная неустойчивость имеет две стадии [2]. Первая, когда дискретный сдвиг частоты происходит с шагом, равным ширине начального спектра волн. И вторая, когда после первой стадии развития спектральной неустойчивости происходит резкий сдвиг частоты в низкочастотную область на 20–25% от первоначальной частоты максимума спектра.

Такая быстрая перестройка частотного спектра приводит к образованию сложной групповой структуры волн, сочетающей несколько групповых структур с близкими несущими частотами и направлениями распространения. Дискретное смещение частоты максимума спектра служит основной причиной изменчивости амплитудно-частотного состава индивидуальных волн и, как следствия, образования аномально высоких волн. Из-за различия длин волн и групповых скоростей происходит наложение групп, относящихся к различным групповым структурам, и гребней максимальных волн в этих группах, приводящее к концентрации волновой энергии в локальной пространственно-временной области, что приводит к образованию волн аномальной высоты – волн-убийц [13].

Цель данной работы – на основе анализа данных лабораторного эксперимента выяснить зависимость развития спектральной неустойчивости от параметров волн и ширины спектра, а также исследовать время жизни, спектральную структуру, высоту и количество аномально высоких волн, возникающих на каждой стадии развития спектральной неустойчивости.

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Лабораторный эксперимент был проведен в Большом волновом канале Центра исследования берегов (г. Ганновер, Германия) в октябре 2009 г. Длина Большого волнового канала – 303 м, общая глубина – 7 м, ширина – 5 м. Глубина воды во время эксперимента была 5 м. Волнение регистрировалось с помощью 28 струнных волнографов с частотой опроса 240 Гц. Волнографы были установлены через каждые 10 м, на расстоянии от 10 до 240 м от волнопродуктора. Дополнительные волнографы были расположены на расстояниях 51.9, 55.2, 161.9 и 165.2 м. Длина записей волнения составляла от 3 до 6 минут. Всего для условий глубокой воды было сделано 32 экспериментальных серии измерений. Схема размещения датчиков регистрации волнения приведена на рис. 1. Моделировалась трансформация волн с изначально простой групповой структурой – бихроматиче-

Начальные параметры экспериментальных волн

Номер записи	Начальная крутизна, $\epsilon$	Начальная ширина спектра волн, $m$ , %
Run 2	0.42	2%
Run 9	0.32	2%
Run 10	0.24	2%
Run 12	0.32	1%
Run 13	0.32	3%
Run 14	0.32	4%
Run 15	0.32	5%
Run 16	0.32	7%
Run 19	0.12	2%

ских волн с различной начальной крутизной максимальных волн  $\epsilon$ :

$$\epsilon = ak, \quad (2)$$

где  $a$  – амплитуда,  $k$  – волновое число.

При проведении эксперимента начальная ширина спектра волн изменялась от 1 до 30% от средней частоты спектра.

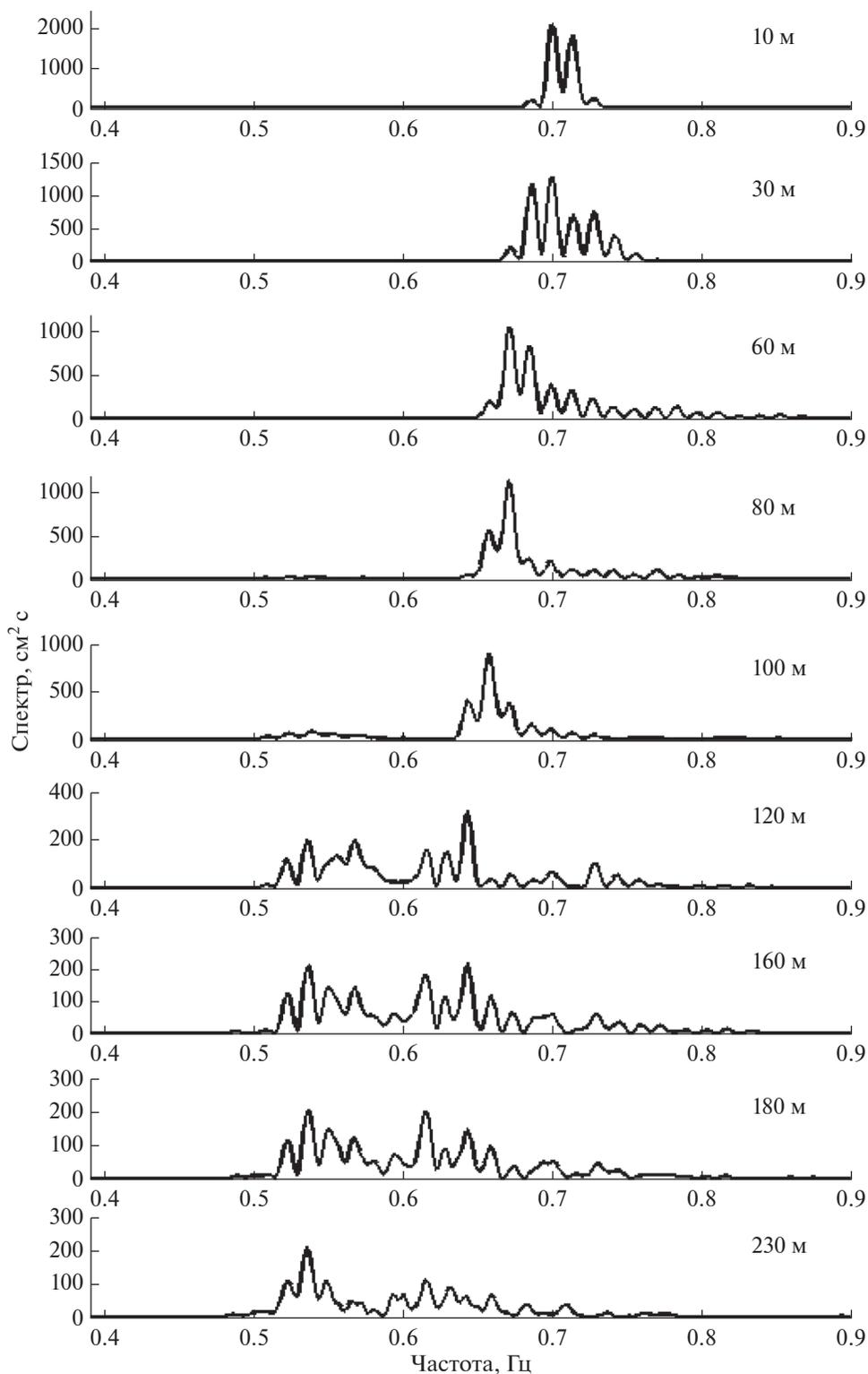
Как было получено в [2], развитие спектральной неустойчивости характерно для волн, имеющих узкий спектр – с шириной до 10%. Параметры режимов волнения, отобранных для последующего анализа, приведены в таблице. Во всех случаях волны были бихроматическими: первая частота ( $f_1$ ) была равна 0.7 Гц, а вторая задавалась как

$$f_2 = f_1 + f_1 m / 100\%,$$

где  $m$  – ширина спектра волн, определяемая в процентах.

## ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

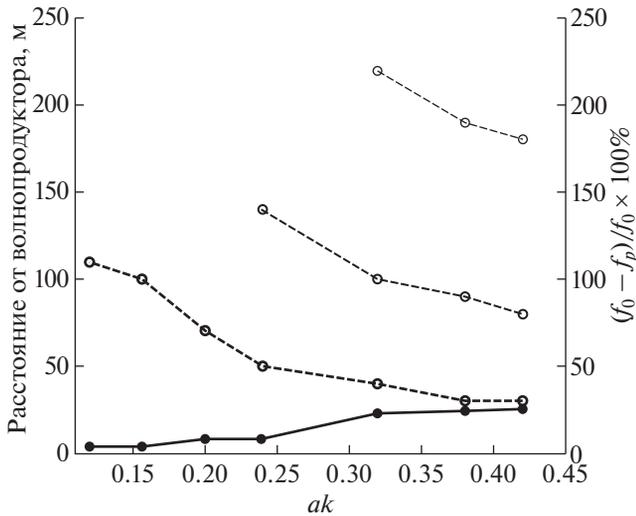
Типичный пример спектральной неустойчивости, возникающей при эволюции узкого спектра бихроматических волн с начальной крутизной 0.32 и частотами 0.7 и 0.714 Гц (Run 9), показан на рис. 1. Хорошо видны два основных этапа дискретного сдвига частоты в низкочастотную область. Вначале сдвиг происходит с шагом, равным ширине спектра – 0.014 Гц. Затем на расстоянии 100 м, когда вырастает наиболее неустойчивая низкочастотная мода (0.637 Гц, соответствующая разнице в 10% от начальной средней частоты 0.707 Гц), начинает формироваться новый пик на частоте 0.53 Гц. Эволюция спектра на этой стадии происходит с шагом, равным новой ширине спектра, примерно ограниченной неустойчивыми модами 0.637 и 0.74 Гц, и на расстоянии 160 м происходит резкий сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область на частоту 0.53 Гц.



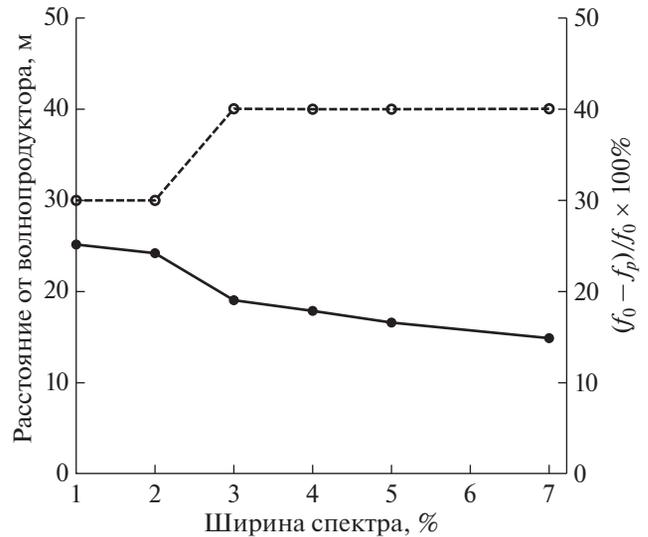
**Рис. 1.** Дискретная эволюция спектра изначально бихроматических волн с частотами 7 и 0.714 Гц, крутизной 0.32. Лабораторный эксперимент в Большом волновом канале, Run9.

Обрушение волн, начавшееся на расстоянии 70 м от волнопродуктора и продолжающееся непрерывно до 115 м, дополнительно влияет на этот

процесс, подавляя рост высокочастотных неустойчивых мод и препятствуя возврату спектра волн в начальное состояние [16]. По данным ла-



**Рис. 2.** Расстояния от волнопродуктора, на которых происходят характерные этапы эволюции частотных пиков спектров: первый сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область (жирная пунктирная линия), начало формирования нового низкочастотного пика спектра (средняя пунктирная линия), итоговый сдвиг частоты максимума спектра (тонкая пунктирная линия), и относительная величина итогового сдвига частоты максимума спектра волн относительно начального пика спектра  $f_0$  (жирная сплошная линия) в зависимости от начальной крутизны волн ( $ak$ ) при трансформации спектра изначально бихроматических волн с частотами 0.7 и 0.714 Гц.



**Рис. 3.** Расстояние, с которого начинается сдвиг частоты максимума спектра (пунктирная линия) и итоговый сдвиг частоты максимума спектра волн (сплошная линия) в зависимости от начальной ширины спектра бихроматических волн с крутизной 0.32.

бораторного эксперимента, при эволюции спектра на расстоянии 250 м две стадии развития спектральной неустойчивости наблюдались для волн с начальной крутизной  $\epsilon$  более 0.15, однако резкий сдвиг частоты максимума был зарегистрирован только для волн с начальной крутизной  $\epsilon$  более 0.3 [5].

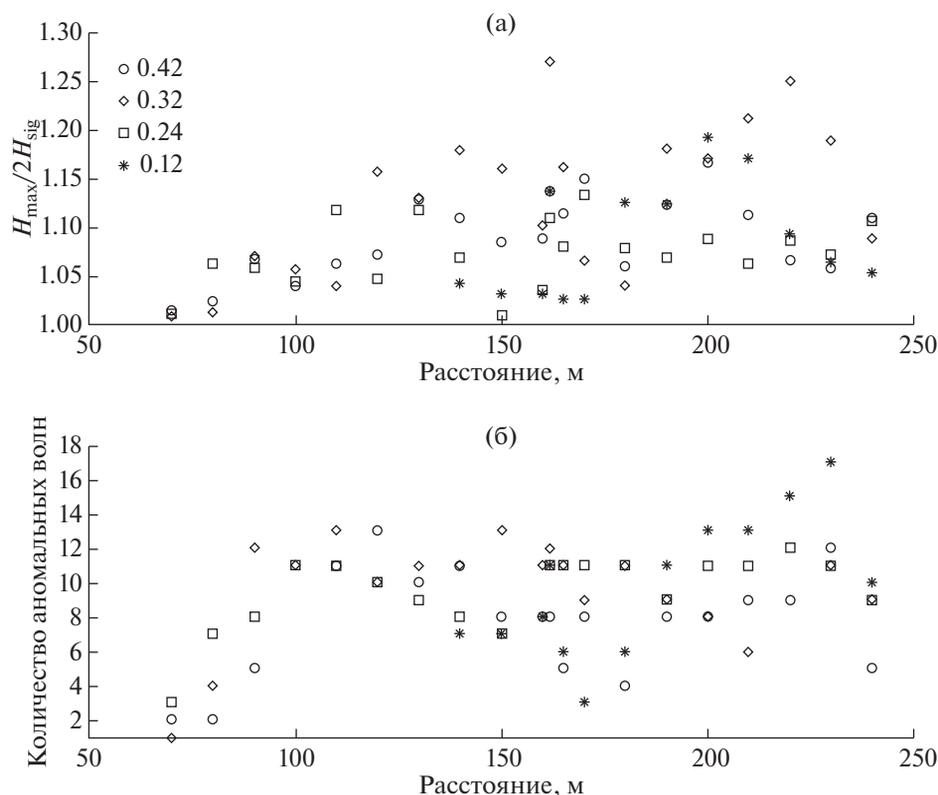
Анализ экспериментальных данных показал, что параметры развития спектральной неустойчивости зависят от начальной крутизны волн и ширины спектра. На рис. 2 пунктирными линиями показаны зависимости расстояния, на котором: а) происходит первый сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область при развитии первой стадии спектральной неустойчивости (жирная пунктирная линия), б) начинает формироваться новый низкочастотный пик (средняя пунктирная линия), и в) когда новый низкочастотный пик становится частотой максимума во второй стадии развития спектральной неустойчивости (тонкая пунктирная линия), от начальной крутизны волн при эволюции бихроматических волн с частотами 0.7 и 0.714 Гц. Хорошо видно, что чем больше крутизна волн, тем раньше начинается дискретный сдвиг частоты при первой стадии развития спектральной неустойчивости, начинается формироваться новый низкочастотный

пик, и развивается вторая стадия спектральной неустойчивости. Возможно, что вторая стадия характерна и для волн с крутизной менее 0.3, но она не может наблюдаться из-за ограниченной длины экспериментального гидравлического канала.

Чем выше начальная крутизна волн, тем быстрее и на большую величину происходит сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область, поскольку в случае волн большой крутизны этот процесс дополнительно усиливается процессами диссипации энергии волн при их обрушении (рис. 2, сплошная жирная линия).

На рис. 3 пунктирной линией представлена зависимость расстояния от волнопродуктора, на котором происходит первый сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область, от начальной ширины спектра при эволюции бихроматических волн с частотами  $f_1 = 0.7$  Гц и  $f_2 = f_1 + f_1 m / 100\%$ , где  $m$  – ширина спектра волн, определяемая в процентах и начальной крутизной 0.32. Видно, что только в очень узких спектрах (до 2% ширины) первый сдвиг частоты максимума происходит на расстоянии 30 м от волнопродуктора. Начиная с ширины спектра 3%, расстояние, на котором происходит первый сдвиг частоты максимума спектра, незначительно увеличивается (до 40 м) и остается таким при увеличении ширины спектра до 7%. Отметим, что в спектрах с шириной более 3% резкий переход частоты максимума спектра в низкочастотную область, характерный для второй стадии, не наблюдался.

При одинаковом пробеге волн и крутизне, чем шире спектр, тем меньше сдвигается в низ-



**Рис. 4.** Зависимость высоты максимальных аномальных волн (а) и их количества (б) от расстояния от волнопродуктора при трансформации изначально бихроматических волн с частотами 0.7 и 0.714 Гц и разной начальной крутизной (значения крутизны и соответствующие символы даны во врезке).

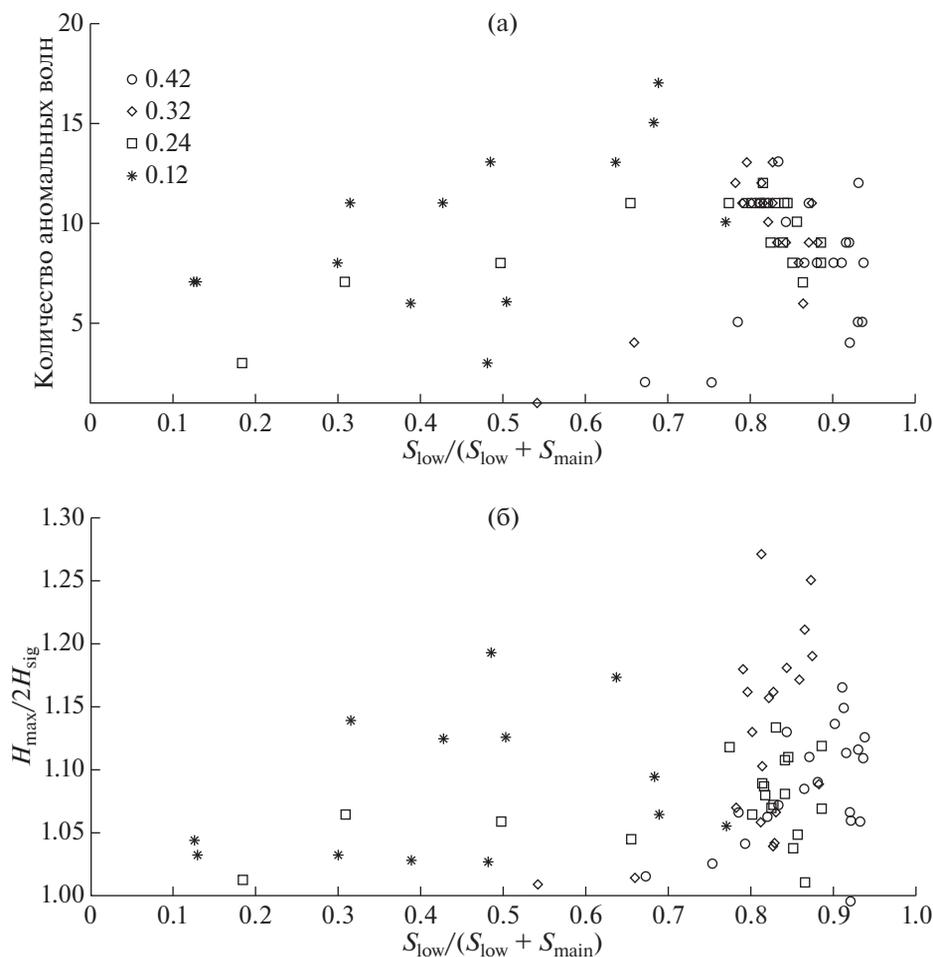
кочастотную область частота максимума. Например, при крутизне 0.32 в узком спектре (1%) сдвиг частоты произошел на 25%, а при увеличении ширины спектра до 7% – на 15% (рис. 3, сплошная линия).

Аномально высокие волны, соответствующие критерию (1), при трансформации волн с крутизной от 0.24 и меньше начинают возникать сразу, как только начинается сдвиг частоты максимума в низкочастотную область уже на первой стадии развития спектральной неустойчивости. Для волн с крутизной более 0.24 первые аномально высокие волны образуются в момент, когда начинается формирование низкочастотного пика, на который затем во второй стадии развития спектральной неустойчивости произойдет резкий сдвиг частоты максимума спектра (рис. 4, 2). По мере развития первой стадии спектральной неустойчивости число и максимальная высота аномальных волн растут; затем, перед началом развития второй стадии, их число уменьшается, при этом высота максимальных волн также незначительно уменьшается. Количество аномальных волн и их высота снова возрастают во второй стадии развития спектральной неустойчивости, когда происходит резкий сдвиг частоты в низкоча-

стотную область спектра. Однако высота максимальных из аномально высоких волн несколько ниже, чем по время развития первой стадии. Таким образом, при развитии каждой из стадий спектральной неустойчивости наблюдается увеличение числа и максимальных высот аномальных волн.

Наибольшее количество аномально высоких волн было зарегистрировано при трансформации пологих волн (крутизна 0.12) в первой стадии развития спектральной неустойчивости. Однако их высота очень мала и превышает  $2H_{\text{sig}}$  не более чем на 8%. Наибольшее превышение – 27% от  $2H_{\text{sig}}$  – наблюдалось при эволюции бихроматических волн с крутизной 0.32.

На рис. 5 в верхней части показана зависимость числа зарегистрированных за 200 секунд (длительность исходной хронограммы волнения) аномально высоких волн, выделенных по критерию (1), от относительной доли энергии низкочастотной части спектра при развитии спектральной неустойчивости на примере эволюции изначально бихроматических волн с частотами 0.7 и 0.714 Гц разной начальной крутизны. Границы основного и низкочастотного диапазонов были выделены на основе анализа эволюции спектра



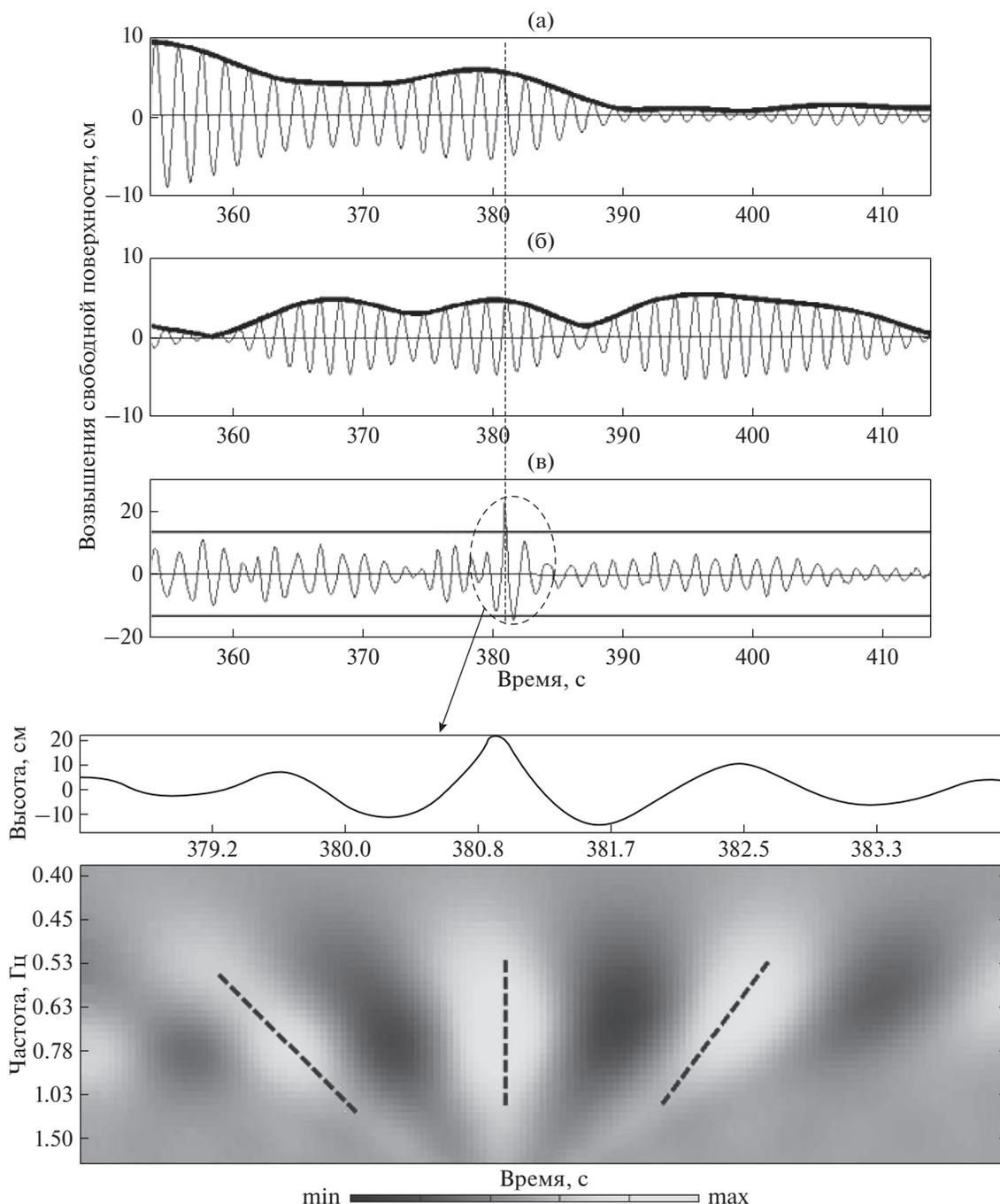
**Рис. 5.** Зависимость количества anomalously high waves (а) и высоты максимальной из anomalously high waves (б) от доли спектральной энергии волн в низкочастотном диапазоне  $S_{low}/(S_{low} + S_{main})$ , где  $S_{low}$  – интегральная энергия низкочастотной части спектра волн в диапазоне 0.4–0.68 Гц, а  $S_{main}$  – интегральная энергия части спектра волн в диапазоне 0.68–0.8 Гц при трансформации изначально бихроматических волн с частотами 0.7 и 0.714 Гц разной начальной крутизны.

волн и принимались равными 0.68–0.8 и 0.4–0.68 Гц соответственно. Зависимость относительной высоты максимальной из образовавшихся волн от относительной доли энергии, находящейся в низкочастотной части спектра волн, показана на рис. 5, нижняя часть.

При начальной крутизне волн 0.42 и 0.32 anomalously high waves начинают образовываться, когда доля энергии в низкочастотном диапазоне составляет 55–65% от полной энергии волн. При уменьшении крутизны anomalously high waves начинают образовываться при меньшем количестве энергии в низкочастотном диапазоне – от 15% (крутизна 0.12). Это связано с тем, что скорость передачи энергии из основного частотного диапазона в низкочастотный зависит от крутизны волн (рис. 3, 4). При начальной крутизне 0.12 количество возникающих anomalously high waves, при той же доле спектральной энергии в низкоча-

стотном диапазоне, значительно больше, чем у волн с большей начальной крутизной. Однако можно заметить, что высота большинства самых максимальных волн, образующихся при этой крутизне, не более чем на 10% превышает  $2H_{sig}$ . В целом при увеличении доли энергии волн в низкочастотном диапазоне примерно до 80% количество anomalously high waves увеличивается, а при дальнейшем ее увеличении – уменьшается. Для волн с крутизной 0.12 уменьшение начинается чуть раньше, при 70% доли энергии волн в низкочастотном диапазоне.

Можно заметить, что высота всех anomalously high waves, образующихся в результате описанного выше физического механизма, в среднем превышает две высоты значительных волн не более чем на 27% (рис. 4, 5). Высота максимальных наблюдаемых волн тоже увеличивается с ростом доли энергии в низкочастотном диапазоне спек-



**Рис. 6.** Высоочастотная (а) и низкочастотная (б) компоненты хронограммы волнения (в), измеренной на расстоянии 250 м и содержащей аномальную волну в момент времени 380 с (жирные линии – огибающие, горизонтальные линии –  $2H_{sig}$ ), а также вейвлет-преобразование фрагмента хронограммы, содержащего аномальную волну (жирный пунктир – линии максимумов вейвлет-коэффициентов).

тра. Наибольшую высоту максимальные из волн будут иметь, когда доля низкочастотной энергии составит порядка 80–90%.

Таким образом, наибольший и наиболее быстрый сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область будет происходить при трансформации узкого спектра крутых волн. При этом

наибольшее количество и наиболее высокие аномальные волны будут наблюдаться тогда, когда доля энергии в низкочастотной области составит порядка 80% от всей энергии волн.

Большинство зарегистрированных в эксперименте аномально высоких волн существуют только на одном датчике, т.е. время их жизни соответ-

ствует пробегу менее 10 м, который они пробегают за время менее 4 периодов волн. Отметим, что трудно ожидать времени жизни любой индивидуальной волны, в том числе и аномально высокой, большего одного-двух периодов волн, так как на глубокой воде фазовая скорость в два раза превышает групповую скорость, что означает полную передачу энергии рассматриваемой волны следующей волне на расстоянии двух длин волн. Например, зарегистрированное в натурном эксперименте время жизни аномально высокой волны не превышало половины периода волны [1, 5].

Типичная аномально высокая волна, зарегистрированная в эксперименте, показана на рис. 6 в момент времени 381 с. Для наглядной демонстрации эффекта фокусировки путем сложения разных частотных масштабов рассматриваемая волнограмма, содержащая аномально высокую волну, была численно расфигурована на два частотных диапазона, граница между которыми проходит между двумя основными пиками спектра волн по частоте 0.68 Гц (рис. 6). На рис. 6 также показаны огибающие волн этих частотных диапазонов. Экстремальная по высоте волна возникает при совпадении положения гребней волн разных частотных диапазонов (рис. 6, тонкая пунктирная линия).

Чтобы понять, как отличаются максимальные волны по частотному составу от соседних “обычных” волн, дополнительно приведено вейвлет-преобразование хронограммы этих волн или своеобразная развертка хронограммы волнения по частотам (рис. 6). Хорошо видно, что все частотные компоненты аномальной волны сфокусированы в момент времени 381 с, что подтверждается вертикальным положением линии максимумов вейвлет-коэффициентов, показанной жирным пунктиром, и расфокусированы в моменты прохождения соседних с аномальной волн, что подтверждается наклонными линиями максимумов.

Отметим, что величины огибающих волн как низкочастотного, так и высокочастотного диапазонов не являются максимальными. Можно предположить, что высота аномально высокой волны может быть и существенно больше наблюдающейся в случае, если совпадут гребни волн с максимальными значениями их огибающих.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, данные проведенного лабораторного эксперимента подтверждают ранее выдвинутые гипотезы о механизме образования аномально высоких волн [2, 3, 10, 14]. Полученные зависимости величины сдвига спектра в низкочастотную область и расстояний, на которые он происходит, от крутизны волн и ширины спектра могут быть положены в основу построения

статистической модели возникновения аномально высоких волн. Выявленные зависимости количества аномально высоких волн и их высот от соотношения энергий низкочастотной и высокочастотной областей спектра и от стадий развития спектральной неустойчивости могут послужить основой для верификации при создании статистической модели прогноза аномально высоких волн при развитии спектральной неустойчивости, планируемой авторами статьи.

Авторы благодарят Льва Шемера и Йоахима Грюне за всестороннюю поддержку при проведении экспериментов.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-50-00095. Измерения выполнены при поддержке проекта HYDRALABIII-TA8, контракт № 022441.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С.Ю., Дулов В.А., Сапрыкина Я.В. и др. Экстремально опасные штормовые условия в Черном море // Научная серия Современные проблемы океанологии. 2011. Вып. 9. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2011. 66 с.
2. Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В. Экспериментальные исследования возникновения волн убийц при эволюции узкого спектра крутых волн // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2012. Т. 5. № 1. С. 52–64.
3. Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В., Косьян Р.Д., Пушкарёв О.В. Механизм образования экстремальных штормовых волн на Черном море // Докл. РАН. 2006. Т. 408. № 1. С. 108–112.
4. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. Н.Новгород: Нижегородский гос. техн. университет. 2004. 158 с.
5. Сапрыкина Я.В., Дулов В.А., Кузнецов С.Ю., Смолов В.Е. Аномально высокие волны в Черном море: механизм и условия возникновения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. “К 30-летию океанографической платформы в Качивели”. Вып. 21, Севастополь: НАН Украины: МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ, 2010. С. 88–102.
6. Dyachenko A.I., Zakharov V.E. Modulation instability of stokes wave  $\rightarrow$  freak wave // Письма в ЖЭТФ. 2005. Т.81. Вып. 6. С. 318–322.
7. Dysthe K.B., Trulsen K. Note on breather type solutions of NLS as a model for freak waves // Physica Scripta. 1999. V. 82. P. 48–52.
8. Hwung-Hweng Hwung, Wen-Son Chiang, Shih-Chun Hsiao. Observations on the evolution of wave modulation // Proceedings the Royal. Society. A. 2007. V. 463. P. 85–112.
9. Janssen P. A.E.M. Nonlinear four-wave interactions and freak waves // J. Phys. Oceanogr. 2003. V. 33. P. 863–884.
10. Kuznetsov S., Saprykina Ya. Fine structure and peculiarities of wave spectra with Benjamin – Feir instability //

- Proceedings of International Workshop “Rogue Waves 2008”, Brest (13–15 October), France, IFREMER, 2009, 10 p. (on CD). E-book: [http://www.ifremer.fr/web-com/stw2008/rw/Proceedings\\_Rogue\\_Waves\\_2008.pdf](http://www.ifremer.fr/web-com/stw2008/rw/Proceedings_Rogue_Waves_2008.pdf)
11. *Onorato M., Waseda T., Toffoli A. et al.* Statistical properties of directional ocean waves: The role of modulation instability in the formation of extrem events // *Phys. Rev. Lett.* 2009. V. 102. P. 114502.
  12. *Onorato M., Osborne A.R., Serio M.* Modulation instability and non-Gaussian statistics in experimental random water wave tank // *Physics of Fluids*. 2005. V. 17. P. 078101.
  13. *Pelinovsky E., Talipova T., Khariff C.* Nonlinear-dispersive mechanism of freak wave formation in shallow water // *Physica D*. 200. V. 147. P. 83–94.
  14. *Saprykina Y., Kuznetsov S.* Nonlinear mechanisms of formation of wave irregularity on deep and shallow water // *Proceeding of 31<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering*, ed. by J.McKee Smith, World Scientific. 2009. V. 1. P. 357–369.
  15. *Soares Guedes C., Cherneva Z., Antao E.M.* Abnormal waves during Hurricane Camille // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. P. C08008.
  16. *Tulin M.P., Waseda T.* Laboratory observations of wave group evolution, including breaking effects // *J. Fluid Mech.* 1999. V. 378. P. 197–232.

## Abnormally High Waves as the Result of Spectral Instability of Surface Waves

Ya. V. Saprykina, S. Yu. Kuznetsov

According to laboratory experiment the hypotheses of the mechanism of formation of abnormally high waves made earlier at development of spectral instability are confirmed. Characteristics of development of spectral instability – dependence of value of downshift of the spectral maximum and distances at which it occurs from the steepness of waves and width of the initial spectrum are found out. Dependences of number of the abnormal waves which are formed in unit of time on a ratio of energies of low-frequency and high-frequency parts of wave spectrum and on stages of development of spectral instability are revealed. The received results can form a basis for creation of statistical model of emergence of abnormally high waves.