



УДК 550.345

© 2009

С. Ф. Доценко, академик НАН Украины **В. А. Иванов**,
Ю. А. Побережный

Волны-убийцы в северо-западной части Черного моря

Виконано аналіз даних вимірювань вітрового хвилювання в грудні 2000 р. з нафтової платформи в Каркінітській затоці Чорного моря. Показано можливість утворення в регіоні аномальних хвиль, відомих як хвилі-вбивці. Розглянуто деякі характеристики цих хвиль.

Волны-убийцы — это одиночные волны или группы морских волн, которые заметно выше окружающего их ветрового волнения. В англоязычной литературе их называют freak waves, rouge waves, killer waves, anomalous waves или giant waves. Гравитационная волна на поверхности жидкости классифицируется как волна-убийца, если выполняется условие

$$\frac{h_{\max}}{h_{1/3}} \geq 2,2, \quad (1)$$

где h_{\max} — высота волны-убийцы (размах колебания), т. е. возвышение гребня над следующей за ней подошвой волны; $h_{1/3}$ — значительная высота волн (средняя высота 1/3 наиболее высоких волн в реализации). Критерий (1) будет использоваться ниже для идентификации волн-убийц по данным наблюдений.

О волнах-убийцах известно давно. Их прямые измерения до недавнего времени отсутствовали, а вся информация о них носила в основном описательный характер. Считалось, что волны в океане высотой 28–30 м — крайне редкое событие, которое наблюдается один раз за десять и более лет.

Интерес к проблеме значительно возрос в последнее десятилетие. Одна из причин — большое число аварий крупнотоннажных судов, вызванных не только погодными условиями, но и ударами быстро возникающих и быстроисчезающих морских волн аномальной крутизны, высоты гребня или глубины ложбины. Вызванные ими повреждения судов были значительными. По современным оценкам, силовые воздействия волн-убийц на корабли могут существенно превосходить нормативные значения, принятые в судостроении.

В последние годы волны-убийцы удалось инструментально зарегистрировать с плавучих платформ, специализированных буев и космических носителей во многих районах Миро-

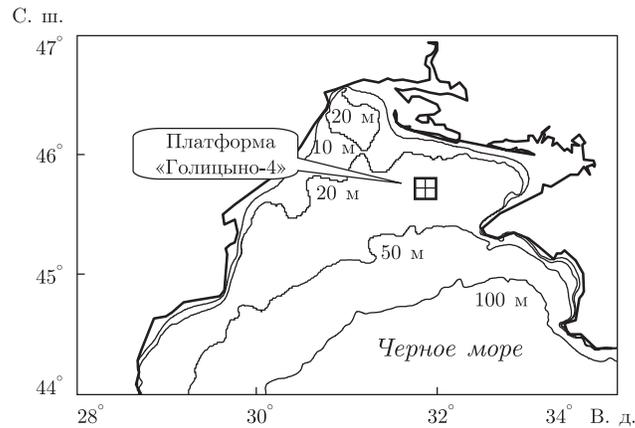


Рис. 1. Район проведения измерений ветрового волнения

вого океана. Поэтому в действительности такие волны не столь редкое природное явление, как считалось ранее. Детальное обсуждение современного состояния теоретико-экспериментальных исследований аномальных волн содержится в работах [1–3].

Волны-убийцы могут существовать и в таких сравнительно небольших бассейнах, как Черное море. Здесь одиночная аномальная волна впервые зарегистрирована 22 ноября 2001 г. с волнографического буя в районе Геленджика [1, 4]. Ее высота равнялась 10,32 м, значительная высота волн — 2,6 м, а поэтому отношение $h_{\max}/h_{1/3} = 3,9$. Продолжительность “жизни” этой волны составила 4,3 с.

Ниже на основе данных измерений, выполненных Морским гидрофизическим институтом НАН Украины с платформы “Голицыно-4” в Каркинитском заливе, подтверждена возможность образования волн-убийц в северо-западной части Черного моря и даны оценки их параметров.

1. Для измерения ветрового волнения и метеопараметров использована буровая платформа “Голицыно-4”, расположенная в северо-западной части Черного моря в точке с координатами $31^{\circ}52'$ в. д, $45^{\circ}42'$ с. ш. (рис. 1). Глубина моря в районе платформы почти постоянна и составляет около 30 м.

Практически непрерывная регистрация колебаний поверхности моря была начата в сентябре 2000 г. и завершена летом 2001 г. Измерения проведены отделом взаимодействия атмосферы и океана Морского гидрофизического института НАН Украины с использованием разработанного в этом отделе витбого волнографа. Ошибка измерений уровня не превысила 1 см.

Колебания уровня моря регистрировались с частотой дискретизации 4 Гц. Каждый ряд непрерывных наблюдений содержал 12288 точек, что соответствует промежутку времени 51,2 мин. При анализе ветрового волнения эти записи разделялись на три участка, каждый длительностью 17 мин. Для рядов такой продолжительности поле ветровых волн можно считать стационарным и эргодическим, что обычно учитывается при вероятностном анализе волн-убийц по данным наблюдений [5]. Заметим, однако, что предположение о стационарности случайного поля ветрового волнения может привести к заниженным на порядок оценкам вероятности возникновения рассматриваемых волн, если волновой процесс таковым не является [6].

2. Для анализа волн-убийц в северо-западной части Черного моря использованы полученные 1–31 декабря 2000 г. данные измерений колебаний уровня: $z = z(t)$, где z —

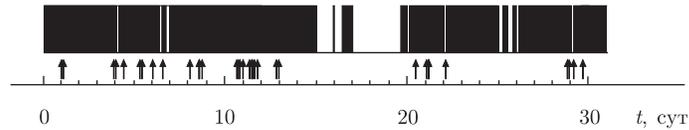


Рис. 2. Промежутки времени, в которые производились измерения ветрового волнения в Каркинитском заливе в декабре 2000 г.

Стрелками отмечены моменты регистрации волн-убийц

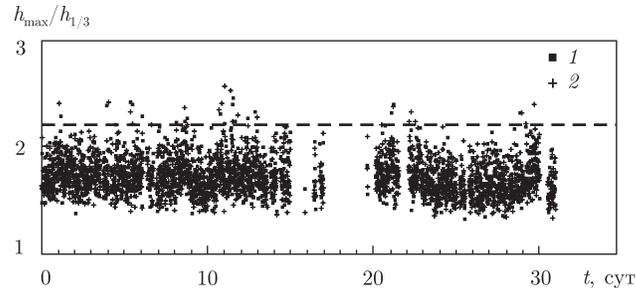


Рис. 3. Значения параметра $h_{\max}/h_{1/3}$ для 17-минутных центрированных записей смещений поверхности моря.

Локальная высота волны определялась на отрезке между последовательными пересечениями оси нулевых значений уровня моря снизу вверх (1) и сверху вниз (2). Область над штриховой линией соответствует условию (1)

вертикальная координата, отсчитываемая вверх от заданного горизонта; t — время. Как показывает рис. 2, этот период характеризуется относительно небольшим числом сбоев в работе измерительного комплекса.

Для выделения возможных аномальных волн анализу было подвергнуто 1660 центрированных 17-минутных записей $\zeta = z(t) - \overline{z(t)}$ колебаний поверхности моря (черта сверху означает осреднение по времени). При нахождении высот волн запись рассматривалась как последовательность полных колебаний поверхности моря. Каждое такое колебание начинается и заканчивается нулевыми значениями $\zeta = 0$, охватывая один гребень и одну подошву ветровой волны.

Необходимо иметь в виду, что одно колебание в записи смещений уровня моря можно выделить **двумя способами**. Так, для определения начала и конца одного полного колебания уровня моря необходимо, двигаясь вдоль оси времени t , определить соседние нули ζ , соответствующие пересечениям горизонтальной оси $\zeta = 0$ с ростом времени в одном вертикальном направлении, т. е. снизу вверх (the zero up-crossing criteria) или сверху вниз (the zero down-crossing criteria). Амплитудные характеристики волнового поля зависят от способа локализации отдельных волн в записи. Часто предпочтение отдается критерию с использованием пересечения нулевого уровня моря снизу вверх [5].

Для индивидуальной поверхностной гравитационной волны находилась ее высота h . Она принималась равной возвышению гребня волны над последующей (up-crossing criteria) или предшествующей (down-crossing criteria) подошвами волн. Далее по набору высот волн $\{h\}$ для каждой 17-минутной реализации определялись максимальная высота волн $h_{\max} = \max\{h\}$, значительная высота волн $h_{1/3}$ и отношение $h_{\max}/h_{1/3}$.

На рис. 3 представлены значения параметра $h_{\max}/h_{1/3}$, рассчитанные обоими способами по всем данным измерений в декабре 2000 г. Диапазон его изменения от 1,32 до 2,56, а поэто-

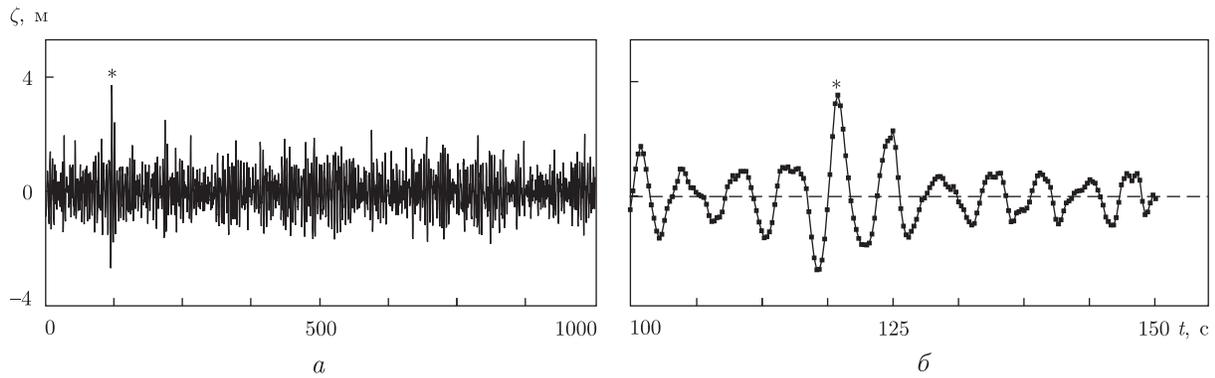


Рис. 4. Волна-убийца (*), зарегистрированная 12 декабря 2000 г. в северо-западной части Черного моря: *a* — 17-минутная запись колебаний поверхности моря; *б* — фрагмент записи, включающий аномальную волну

му условие (1) (область над штриховой линией) выполняется для некоторых 17-минутных записей колебаний уровня моря. Анализ всех реализаций позволил выделить тридцать три случая образования волн-убийц. Для нахождения высот волн использованы оба описанных выше способа выделения одного колебания поверхности моря. Моменты времени их регистрации указаны стрелками на рис. 2.

Форма волн-убийц в северо-западной части Черного моря достаточно разнообразна. Обнаружены как одиночные волны, так и волны-убийцы в группе ветровых волн относительно большой высоты. Одна из записей такой волны приведена на рис. 4. Волна асимметрична, ее передний склон более крутой по сравнению с задним, а ложбина ($-2,69$ м), предшествующая гребню ($3,71$ м) волны-убийцы, глубже следующей за ним впадины ($-1,78$ м). Эти свойства профиля волны характерны для аномальных волн, хотя часто у них предшествующая такой волне впадина шире следующего за ней понижения уровня моря [3]. Продолжительность колебания уровня в волне-убийце составляет около $4,75$ с (см. на рис. 4, *б*), а ее длина (в рамках линейной теории) равна $35,2$ м. При глубине залива в районе платформы 30 м такая аномальная волна практически не взаимодействует с дном бассейна и обладает сильной дисперсией. Крутизна ее склонов достаточно велика, что говорит о возможном существенном проявлении нелинейных эффектов.

Результаты выполненного исследования можно сформулировать следующим образом.

С учетом волнографических измерений с бурового основания в Каркинитском заливе в декабре 2000 г. авторами данного сообщения подтверждена возможность образования ветровых волн-убийц в Черном море. Для северо-западной части моря это установлено впервые, что расширяет географию районов Мирового океана, где отмечено подобное опасное морское явление.

В течение месяца было зарегистрировано тридцать три волны-убийцы, высота которых более чем в 2,2 раза превышала значительную высоту окружающих их волн. Эти короткоживущие образования проявлялись как в виде одиночных волн, так и в форме групп из двух-трех ветровых волн с ярко выраженными дисперсионными эффектами. Волны обладали заметной асимметрией: их передние склоны, как правило, были круче задних, а предшествующая и следующая за волной-убийцей подошвы волн отличались по глубине и ширине. Максимальная высота таких волн составила $7,57$ м, однако 28 декабря 2000 г. была зарегистрирована ветровая волна высотой (размахом колебаний) 17 м, но не являющаяся волной-убийцей по условию (1). Ослабление критерия (1) до $2,0$ увеличивает число зарегистри-

стрированных аномальных волн более чем в пять раз (176), а их максимальная высота, по данным наблюдений, может достигать 14,8 м.

Используемый для выделения волн-убийц критерий (1) оперирует с относительной высотой экстремальных волн. По данным измерений, высоты волн-убийц в районе платформы лежат в широком диапазоне: от 0,87 до 7,57 м. Поэтому выполнение условия (1) не означает, что высота соответствующей волны будет действительно велика.

1. Куркин А. А., Пелиновский Е. Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. – Н. Новгород: Нижегород. гос. технол. ун-т, 2004. – 158 с.
2. Бадулин С. И., Иванов А. Ю., Островский А. Г. Волны-убийцы и их дистанционное зондирование // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 1. – С. 77–92.
3. Доценко С. Ф., Иванов В. А. Волны-убийцы // Современные проблемы океанологии. Вып. 1 / НАН Украины. Мор. гидрофиз. ин-т. – Препр. – Севастополь, 2006. – 44 с.
4. Дивинский Б. В., Левин Б. В., Лопатухин Л. И. и др. Аномально высокая волна в Черном море: наблюдения и моделирование // Докл. АН. – 2004. – **395**, № 5. – С. 948–950.
5. Jenkins A. D., Magnusson A. K., Niedermeier A. et al. Rogue waves and extreme events in measured time-series. Rep. WP2/1 from MAXWAVE project. – Bergen: Norweg. Meteorolog. Inst., 2002. – Rep. No 138. – 101 p.
6. Muller P., Garrett C., Osborne A. Rogue waves // Oceanography. – 2005. – **18**, No 3. – P. 66–75.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 14.01.2009

S. F. Dotsenko, Academician of the NAS of Ukraine **V. A. Ivanov**,
Yu. A. Poberezhny

Freak waves in the north-western part of the Black Sea

The analysis of wind wave records obtained in December, 2000 from the oil-rig in Karkinit'skiy Bay of the Black sea is performed. It shows the possibility of the formation of anomalous waves, which are known as freak waves, in this region. Some properties of these waves are considered.