

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

Связь образования волн-убийц и метеорологических условий в северо-западной части Черного моря

На підставі даних спостережень у північно-західній частині Чорного моря виконано аналіз аномальних вітрових хвиль (хвиль-убивць) та метеорологічних умов, згідно з яким показано можливість зв'язку між утворенням хвиль-убивць і зміною напрямку або величини швидкості вітру.

Волны-убийцы — это одиночные ветровые волны или группы волн, которые заметно выше окружающего их волнения. Волна классифицируется как волна-убийца при выполнении условия

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

где h_{\max} — высота аномальной волны (возвышение гребня над последующей или предшествующей подошвой); $h_{1/3}$ — значительная высота волн, равная средней высоте 1/3 наиболее высоких волн в записи колебаний уровня моря.

В последние годы знания о волнах-убийцах значительно расширились благодаря прямым измерениям таких волн с плавучих платформ, специализированных буев и космических носителей, а также проведению разнообразных лабораторных и вычислительных экспериментов. Оказалось, что в действительности волны-убийцы высотой 28–30 м не столь редкое событие в Мировом океане, как считалось ранее. Обзор современного состояния исследований волн-убийц приведен в работах [1, 2].

Одна из причин повышенного интереса к данной проблеме — большое число аварий крупнотоннажных судов в результате ударов одиночных волн, имеющих аномальную крутизну, высоту гребня или глубину ложбины. Подобные волны зафиксированы во многих районах Мирового океана. Черное море не исключение: здесь одиночная волна-убийца впервые зарегистрирована в ноябре 2001 г. с волнографического буя в районе Геленджика [3]. Высота аномальной волны — 10,32 м. Около трех десятков волн-убийц выделено с использованием критерия (1) по волнографическим измерениям, полученным в декабре 2000 г. с нефтяной платформы в Каркинитском заливе [4]. Максимальная высота аномальных волн не превышала 7,57 м.

Результаты наблюдений об эволюции волнового поля с образованием волн-убийц в настоящее время практически отсутствуют. Все существующие объяснения генезиса аномальных волн опираются на математическое и лабораторное моделирование. Большинство исследователей склоняется к мнению, что основными физическими механизмами образования указанных волн являются [1, 2]: пространственно-временная фокусировка волн; дисперсионное сжатие волновых пакетов; усиление волн в горизонтально-неоднородных течениях; нелинейное взаимодействие и модуляционная неустойчивость волн. В научной литературе отмечены и другие причины возникновения аномальных ветровых волн, в частности,

атмосферные воздействия на морскую поверхность, которые повышают вероятность образования таких волн [5] и увеличивают время “жизни” волн-убийц [6].

Ниже с учетом совместных волнографических и метеорологических измерений, проведенных Морским гидрофизическим институтом НАН Украины с платформы в Каркинитском заливе Черного моря, анализируется связь образования волн-убийц с изменениями скорости ветра.

1. Совместные измерения ветровых волн и скорости ветра выполнены с буровой платформы “Голицыно-4” в северо-западной части Черного моря ($31^{\circ}52'$ в.д., $45^{\circ}42'$ с.ш.). Глубина моря здесь составляет около 30 м.

Практически непрерывные измерения колебаний уровня моря (с частотой 4 Гц) проведены 1–31 декабря 2000 г.: $z = z(t)$, где z — вертикальная координата, отсчитываемая вверх от заданного горизонта; t — время. Одновременно измерялись модуль (W) и направление ($\angle\alpha$) скорости ветра (с дискретностью 3 ч). Модуль скорости воздушного потока определялся как среднее значение W за последние 10 мин трехчасовых интервалов, а направление ветра рассчитывалось по мгновенному значению скорости в конце десятой минуты интервала осреднения W . $\angle\alpha$ отсчитывался по часовой стрелке от значения $\alpha = 0$ (северный ветер). Измерения ветра производились на высоте 70 м. Выделенный период наблюдений характеризовался устойчивой работой измерительных комплексов.

2. Процедура выделения волн-убийц описана ранее в [4]. Было проанализировано 1660 центрированных 17-минутных записей $\zeta = z(t) - \overline{z(t)}$ колебаний поверхности моря, где черта сверху означает осреднение по времени. Каждая запись рассматривалась как последовательность полных колебаний уровня моря, включающих один гребень и одну подошву ветровой волны. Для каждого полного колебания находилась высота волны h как возвышение гребня над последующей и предшествующей подошвами волны. По набору высот волн $\{h\}$ для каждой 17-минутной записи определялись: максимальная из них $h_{\max} = \max\{h\}$, значительная высота волн $h_{1/3}$ и отношение $h_{\max}/h_{1/3}$. Эта процедура позволила выделить 33 волны-убийцы, удовлетворяющие критерию (1).

На рис. 1 для района проведения наблюдений представлены характеристики ветра с дискретностью 3 ч (a , b) и максимальные высоты волн ($в$) по всем 17-минутным записям для декабря 2000 г. Моменты появления волн-убийц указаны стрелками на рисунке ($в$). Скорость ветра в течение месяца не превысила $14 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (26 декабря). Ветровые волны наибольшей высоты отмечались в последней декаде месяца. Максимальная высота ветровых волн за весь период наблюдений равна 17,03 м (28 декабря), максимальная значительная высота волн — 10,36 м, максимальное значение $h_{\max}/h_{1/3}$ в условии (1) — 2,56.

Рассмотрим, используя представленные на рис. 1 данные наблюдений, связь возникновения волн-убийц и изменения со временем ветрового режима в районе платформы. Моменты образования аномальных ветровых волн распределены во времени неравномерно (см. рис. 1, $в$). Так, на 1–13 декабря приходится 24 события, на 20–29 декабря — 9. Можно выделить как случаи образования одной волны-убийцы в течение периода от 1 до 6 сут, так и формирование в течение суток до шести (11 декабря) таких волн.

Сопоставление моментов возникновения волн-убийц (см. рис. 1, a) и изменений характеристик ветра в предшествующие сутки (b , $в$) позволяет говорить о возможной связи образования указанных волн с предшествующими этому событию изменениями модуля и направления скорости воздушного потока.

Можно выделить две основные ситуации. Первая соответствует возникновению аномальной волны, когда во время ее образования или перед этим событием происходит значи-

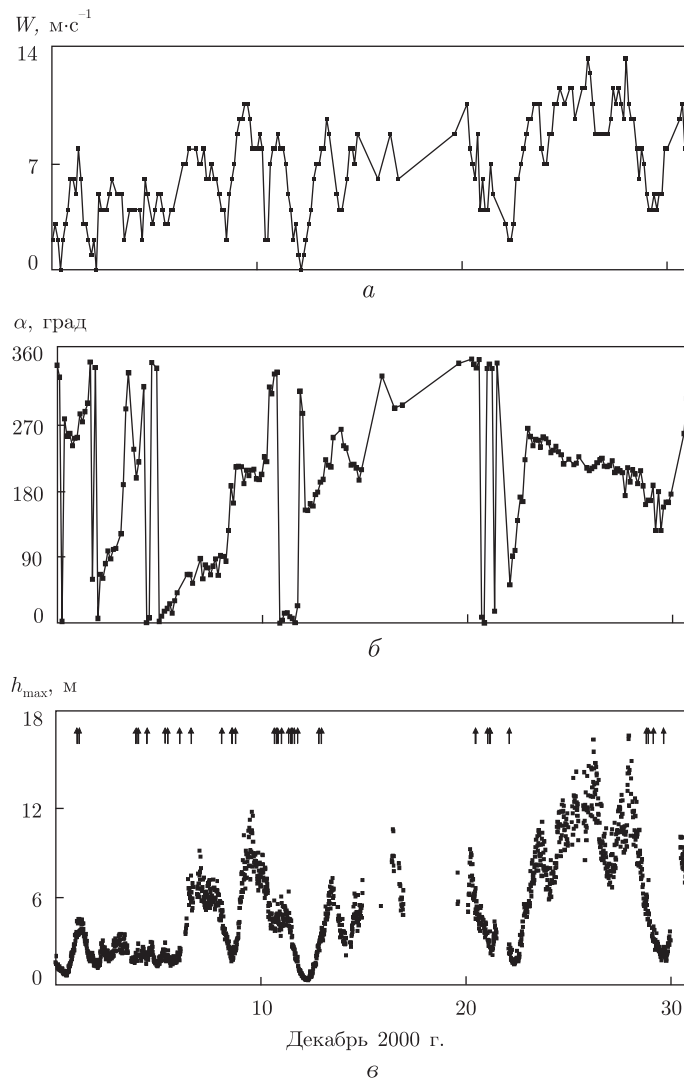


Рис. 1. Характеристики ветрового режима и максимальные высоты ветровых волн (в) в районе измерений в декабре 2000 г.:

a — модуль скорости ветра W ; b — $\angle\alpha$, характеризующий направление скорости ветра; $в$ — максимальные высоты волн h_{max} для 17-минутных записей колебаний уровня моря

тельное изменение направления скорости ветра. Такой случай образования одиночной волны-убийцы высотой 5,7 м и длительностью 5 с показан на рис. 2. Возникновению аномальной волны соответствует почти круговой поворот скорости ветра. Наиболее вероятный механизм образования аномальных волн — фокусировка и нелинейное взаимодействие в районе платформы ветровых волн различных направлений распространения.

Вторая характерная ситуация соответствует возникновению аномальной волны, когда событию предшествует ветровой режим с почти постоянным направлением воздушного потока. Подобный случай представлен на рис. 3. Возникшая волна-убийца имеет высоту 7,5 м и длительность — около 6 с. Образованию такой волны предшествовал более чем двухсуточный южный ветер, который наиболее благоприятен для развития интенсивного ветрового волнения в северо-западной части Черного моря. Вероятный механизм образо-

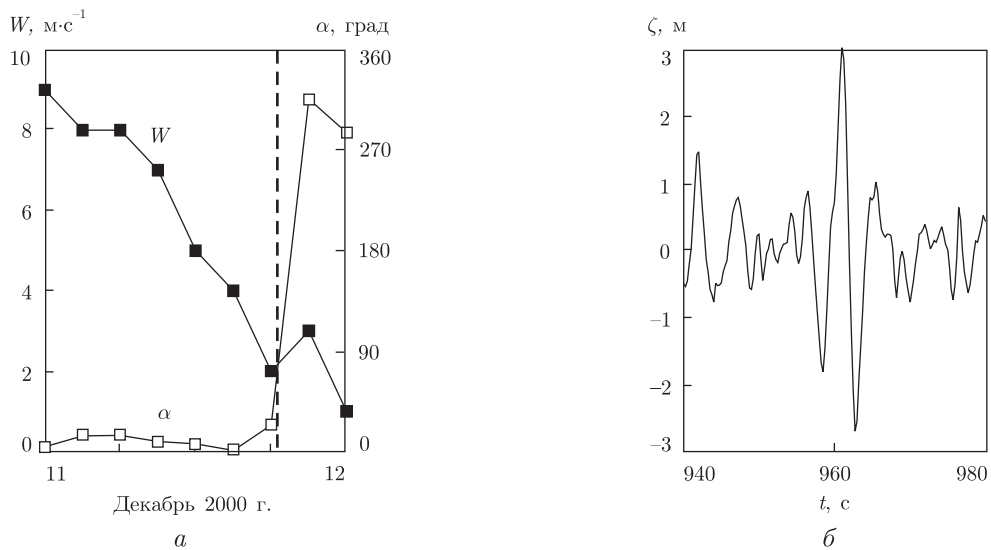


Рис. 2. Характеристики ветра (а), предшествующие образованию волны-убийцы (б) в случае поворота горизонтального воздушного потока.
 Здесь и на рис. 3: момент образования аномальной скорости волны отмечен вертикальной штриховой линией

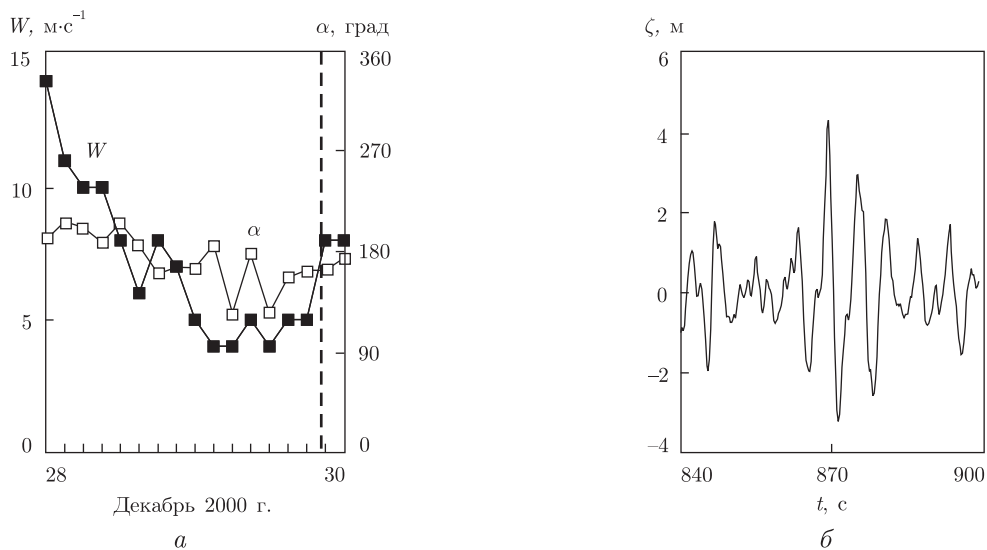


Рис. 3. Характеристики ветра (а), предшествующие образованию волны-убийцы (б) при однонаправленном воздушном потоке

вания аномальной волны в этом случае — дисперсионное сжатие нелинейного волнового пакета.

3. Основные результаты проведенного исследования можно сформулировать следующим образом.

На основе волнографических и метеорологических измерений в декабре 2000 г. со стационарной платформы в северо-западной части Черного моря выполнен анализ возможной связи образования поверхностных волн-убийц и ветровых режимов в районе проведения наблюдений. Сопоставление моментов возникновения 33 волн-убийц и предшествующих этим

событиям изменений со временем скорости ветра позволили сделать вывод о весьма вероятной связи образования аномальных волн и предшествующих этим событиям изменений скорости ветра.

Выделено две наиболее характерные ситуации. В первой — возникновение волны-убийцы сопровождается значительными изменениями направления скорости ветра, во второй — формированию аномальной волны предшествует ветровой режим с почти постоянным направлением скорости ветра.

Таким образом, из зарегистрированных в декабре 2000 г. событий, связанных с возникновением волн-убийц, в 10% случаев не происходило изменение погодной обстановки в районе платформы, в 38% — наблюдался разворот ветра с изменением модуля скорости, а в остальных 52% — направление скорости ветра в предшествующие образованию волны-убийцы сутки было практически неизменно.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (договор Ф28/435-2009 от 1.07.2009, проект Ф28.6/025).

1. Куржин А. А., Пелиновский Е. Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2004. – 158 с.
2. Доценко С. Ф., Иванов В. А. Волны-убийцы: Сб. Мор. гидрофиз. ин-т НАН Украины. Сер. Современ. пробл. океанологии. Вып. 1. – Севастополь, 2006. – 44 с.
3. 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.
4. Доценко С. Ф., Иванов В. А., Побережный Ю. А. Волны-убийцы в северо-западной части Черного моря // Доп. НАН України. – 2009. – № 9. – С. 113–117.
5. Donellan M. A., Magnusson A. K. The role of meteorological focusing in generating wave conditions // Proc. of 14th Aha Huliko'a Hawaiian winter workshop. – 2005. – P. 139–145.
6. Touboul J. On the influence of wind on extreme wave events // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2007. – **7**, No 1. – P. 123–128.

*Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь*

Поступило в редакцию 13.04.2010

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

The relation between the formation of freak waves and meteorological conditions in the north-western part of the Black Sea

The analysis of anomalous wind waves (freak waves) and meteorological conditions in the north-western part of the Black Sea is carried out on the basis of field observations for December of 2000. It shows the possibility of a relation between the appearance of freak waves and a variation of the wind velocity or direction.