

УДК 517.465

© А.И. Зайцев^{1, 2}, А.Е. Малащенко¹, Е.Н. Пелиновский^{2, 3}, 2011

¹ Специальное конструкторское бюро автоматизации морских исследований, г.Южно-Сахалинск

² Институт прикладной физики РАН, г.Нижний Новгород

³ Высшая школа экономики, г.Нижний Новгород

pelinovsky@gmail.com

АНОМАЛЬНО БОЛЬШИЕ ВОЛНЫ ВБЛИЗИ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ о.САХАЛИН

Приведены результаты анализа долговременных записей уровня моря за июнь–сентябрь 2009 г. у оконечности мыса Анива, полученных с помощью донной станции, установленной на глубине 12 м. За время наблюдений зарегистрировано 394 аномально больших волн, удовлетворяющих критерию волн-убийц (высота волны в 2 раза и более превышает значительную высоту волны), из них шесть случаев, когда превышение достигает 2.5. Частота наблюдения аномальных волн описывается пуассоновским распределением, как это и следует из теории экстремальной статистики. Волны-убийцы в среднем встречаются в этом районе дважды в день, что близко к оценке, следуемой из рэлеевского закона для узкополосного «гауссова» поля.

Ключевые слова: ветровые волны, волны-убийцы, натурные данные, Охотское море, Сахалин.

В последнее время накопилось много свидетельств появления необычных волн, называемых в литературе волнами-убийцами, на поверхности моря, как в открытой части, так и вблизи берега. Физические механизмы возникновения волн-убийц приведены в ряде книг и обзоров [1–5]. Некоторые натурные данные наблюдения волн-убийц в мировом океане приведены в [1, 2, 6–8]. Данных о наблюдениях волн-убийц в морях, окружающих Россию, весьма немного. Отметим здесь наблюдения аномально больших волн в Черном [9–13] и Балтийском морях [14, 15]. Что же касается восточного побережья России, то в литературе приводится только одна фотография необычной волны, наблюдаемой М.В. Соколовским вблизи восточного побережья Камчатки, в 25 км от мыса Ольги, в июне 2006 г., которая приведена в книге [1]. Является ли эта волна волной-убийцей (т.е. редко наблюдающейся) однозначно сказать нельзя, и авторы, например каталога [7], считают, что такие волны в данном месте появляются достаточно часто.

Наблюдения волн-убийц вблизи побережья Сахалина практически полностью отсутствуют. Имеется лишь одно сообщение Андрея Серафимова, наблюдавшего аномальную волну 2 августа 2010 г. вблизи западного побережья Сахалина, в районе мыса Воздвижения (рис. 1), на расстоянии примерно 500 м от скалистого берега во время каякерского похода вдоль западного побережья Сахалина от п. Бошняково до г. Александровска-Сахалинского, фактически в безветренную погоду (оно содержится на форуме <http://www.gaspadok.ru/forum>). По его описанию, волна-убийца имела вид «двух сестер» и проявилась только однажды за все время похода. Правда, автор отмечает, что «подобная волна далеко не первая на Сахалине. По моим ощущениям, ее возникновение связано с местом или каким-то не замеченным мной подводным фактором, а может, столкновением с отражением предыдущих волн. Но то что она радикально «выделялась» в этом месте и в это время, – это, конечно, факт». Отсюда следует, что механизмом возникновения волны-убийцы в данном месте, скорее всего, является взаимо-

действие морских волн с дном и берегом при специфических гидрометеорологических условиях.

Настоящая работа содержит первые результаты инструментальных наблюдений аномально больших волн вблизи м.Анива (о.Сахалин).

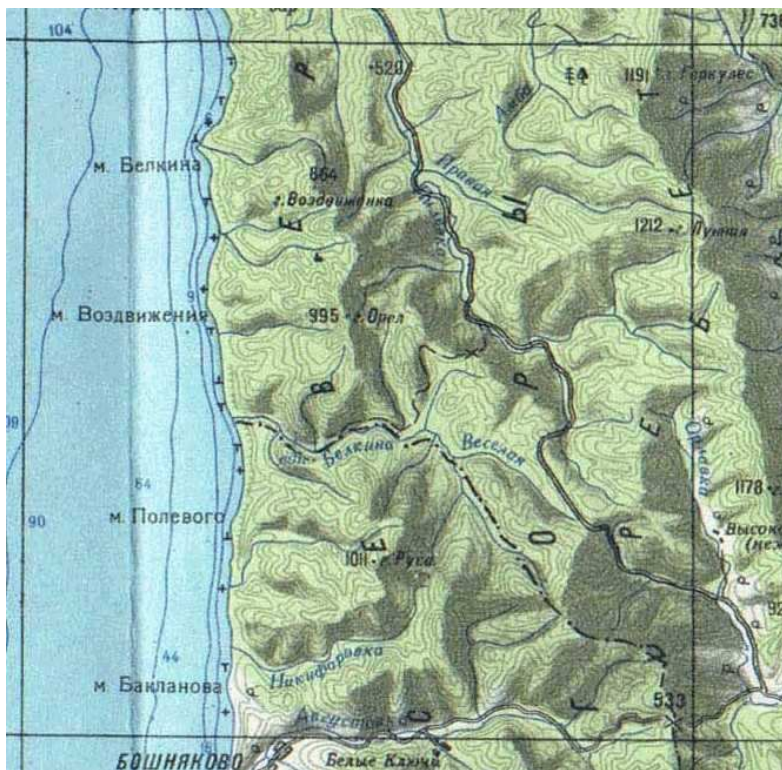


Рис. 1. Район наблюдения аномальной волны вблизи м.Воздвижения на западном берегу о.Сахалин.

Измерения. Начиная с 2009 г. Специальным конструкторским бюро средств автоматизации морских явлений ДВО РАН проводятся непрерывные измерения колебаний уровня моря у южных берегов о.Сахалин (зал.Анива). В 2009 г. измерения проводились на мысах залива (Анива и Терпенья) и в глубине залива на западном и восточном побережье (поселки Новиково и Кириллово). В данной работе мы обсудим только данные, полученные в районе м.Анива (рис. 2). Измерения проводились с помощью автономных донных регистраторов гидростатического давления АРВ-К12, изготовленных в КБ г.Углич. Прибор выполнен в корпусе из нержавеющей стали и имеет цилиндрическую форму (рис. 3). В качестве первичных преобразователей физических величин используются кварцевые резонаторы. Такой выбор обусловлен слабой температурной зависимостью и высокой точностью пьезорезонаторных элементов датчика. Диапазон измерения давления (глубина погружения) – до 100 м, точность по давлению – 0.06 %, диапазон рабочих температур – от –4 до 40°C. Автономность приборов составляет около 6 месяцев, рабочая глубина – до 100 м, дискретность измерений – одна секунда, глубина постановки прибора на м.Анива – 12 м. Из-за малой глубины ветровые волны здесь являются мелководными, и они могут измеряться с помощью датчиков давления и использованием гидростатических формул пересчета. Эти приборы уже использовались для регистрации Симуширского цунами 2006 г. и Невельского цунами 2007 г. [16–18], а также для регистрации длинных волн на Курильских островах [19].



Рис. 2. Местоположение прибора в заливе Анива.



Рис. 3. Внешний вид прибора АРВ-К12.

Для обработки использованы данные, полученные с мая по сентябрь 2009 г. Естественно, – данные весьма неоднородны, что в первую очередь определяется метеорологическими условиями в этом районе (силой и направлением ветра, полем атмосферного давления). На волны влияет оживленное судоходство в этом районе. В настоящее время пока доступны только данные о колебаниях уровня моря с установленной станции, и сейчас трудно говорить о связи характеристик морской поверхности с волнообразующими факторами. Поэтому принята следующая методика выделения аномальных волн. Вся запись (почти полугодовая) делилась на отрезки по 20 мин, и предполагалось, что колебание уровня моря внутри 20-минутного интервала является стационарным случайным процессом. Число таких интервалов достигает 10 000, обеспечивая достаточно представительную статистику.

Колебания уровня моря для каждого 20-минутного интервала характеризовались среднеквадратичным отклонением, вычисляемым по стандартной формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (z_i - \langle z \rangle)^2}, \quad (1)$$

где N – количество измерений в интервале (около 1200); z_i – значения уровня моря, отсчитываемое от дна по гидростатической формуле для давления; $\langle z \rangle$ – среднее значение уровня моря в 20-минутном интервале.

Временная изменчивость среднеквадратичного отклонения морской поверхности показана на рис. 4. Отсюда видно, что большую часть времени волнение относительно слабое (характерные высоты волн 5–10 см), однако были и большие волны (средняя высота 40 и 50 см) во время штормов в июне и августе 2009 г.

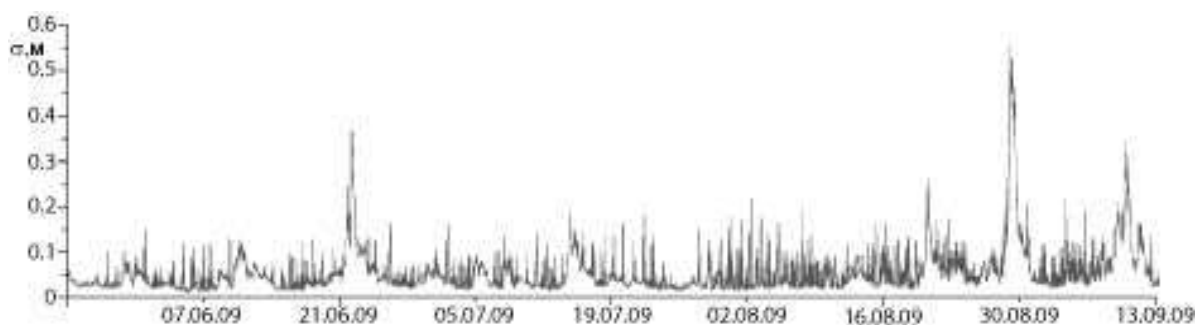


Рис. 4. Временная изменчивость вариаций колебаний уровня моря за период наблюдений.

Статистический характер волнового процесса иллюстрируется вычисленными коэффициентами асимметрии и эксцесса (рис. 5):

$$Sk = \frac{1}{N\sigma^3} \sum_{i=1}^N [z_i - \langle z \rangle]^3, \quad Ku = \frac{1}{N\sigma^4} \sum_{i=1}^N [z_i - \langle z \rangle]^4, \quad (2)$$

которые обнаруживают сильную изменчивость в течение шести месяцев, однако средние значения этих коэффициентов ($\langle Sk \rangle = -0.04$, $\langle Ku \rangle = 2.8$) достаточно мало отличаются от «гауссовых» значений ($Sk = 0$ и $Ku = 3$), так что в среднем ветровое волнение является почти гауссовым процессом. Все же отрицательные значения коэффициента асимметрии означают, что впадины в записи более представительны, чем гребни, а меньшее значение коэффициента эксцесса (по сравнению с гауссовым) свидетельствует о меньшей вероятности появления аномально больших волн. Тем не менее сильные колебания коэффициентов асимметрии и эксцесса свидетельствуют о существенной негауссовости волнового поля на коротких временных интервалах.

Как известно, значительная высота волн в случае гауссового волнения однозначно связана со среднеквадратичным отклонением [1, 2]. Для выделения аномальных волн по амплитудному критерию удобнее определить значительную амплитуду волнения:

$$A_s = 2\sigma. \quad (3)$$

Тогда аномальной волной (волной-убийцей) будет называться любая волна с амплитудой

$$A_{fr} > 2A_s = 4\sigma. \quad (4)$$

Примеры 20-минутных записей колебания уровня моря, содержащих аномальную волну, приведены на рис. 6. Даты их наблюдений сведены в табл. 1. За истекший период

(шесть месяцев) наблюдалось шесть аномальных волн с превышением их амплитуды над $\sigma = 5$ или 2.5 над значительной амплитудой.

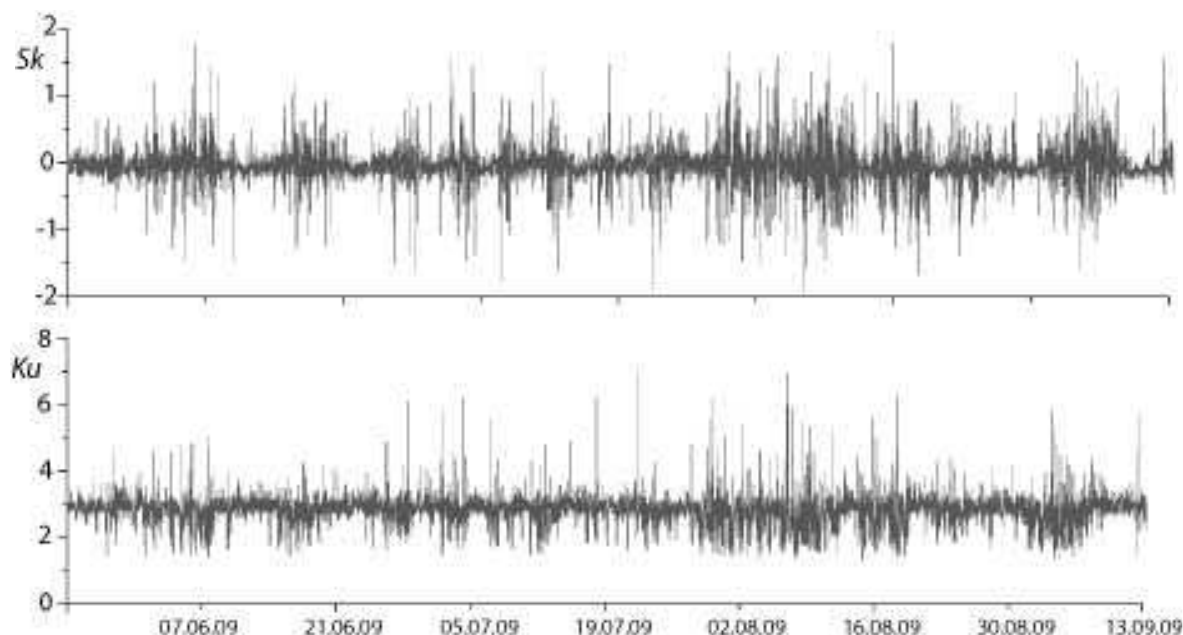


Рис. 5. Изменчивость коэффициентов асимметрии (Sk) и эксцесса (Ku) в период наблюдений.

Таблица 1

Параметры аномальных волн с пятикратным превышением над средним уровнем

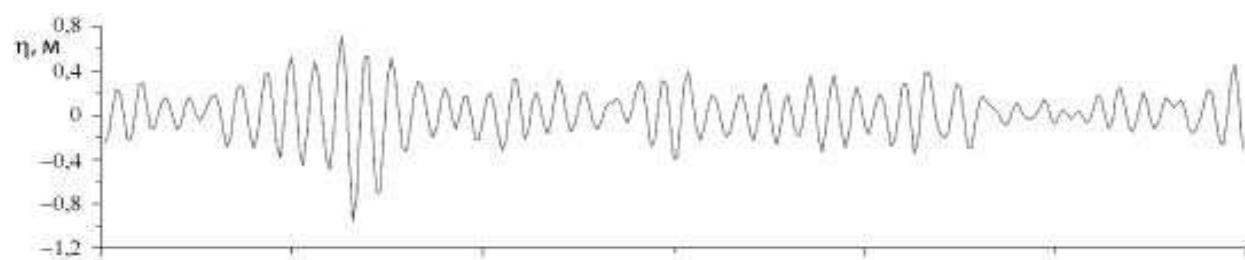
Дата	Время (Гринвич)	Смещение, м	σ , м
22.06.09	19:24:36	-0.95	0.19
01.07.09	03:53:21	-0.27	0.05
24.07.09	12:55:03	0.09	0.02
14.08.09	16:40:22	-0.24	0.05
08.09.09	20:15:11	0.37	0.07
09.09.09	02:14:26	-0.72	0.14

Формы наблюдаемых аномальных волн с превышением 2.5 над значительной амплитудой показаны на рис. 7. Ясно видно, что в двух событиях волна-убийца имела вид одиночного гребня, а в других случаях – в виде знакопеременной волны или даже цуга волн.

За шесть месяцев наблюдалось 394 аномальные волны, амплитуда которых удовлетворяет пороговому критерию волн-убийц ($2A_s$). Рассчитанная частота превышения аномальных колебаний уровня моря (число случаев с амплитудой больше данного значения ко времени) показана на рис. 7. Как и следовало ожидать из теории экстремальной статистики [20], она хорошо описывается пуассоновской кривой:

$$\ln(N/T) = 226 - 9(A/A_s), \quad (5)$$

где N число случаев наблюдения волн с превышением A/A_s в течение времени T . Итак, волны-убийцы с двойным превышением появляются в южной части Охотского моря в среднем дважды в день, а с превышением 2.5 – один раз в месяц. Отметим, что, согласно теории, основанной на представлении ветрового волнения узкополосным гауссовым случайным процессом [1, 2], волны-убийцы в среднем встречаются раз в 10 часов в заданном месте (с превышением в 2 раза), так что наши оценки оказываются близкими к теоретическим.



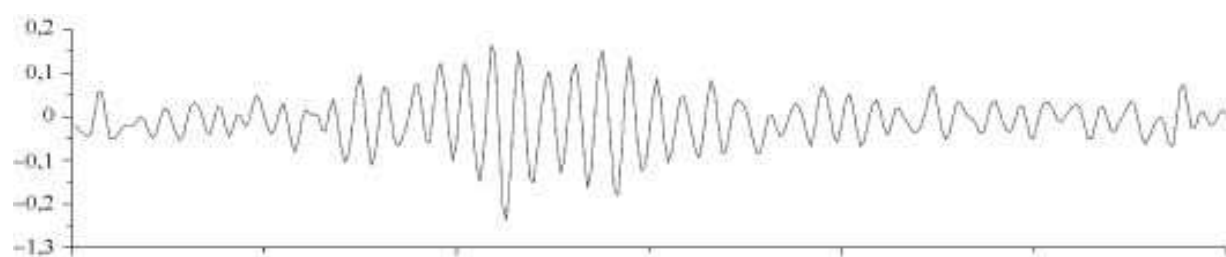
22 июня



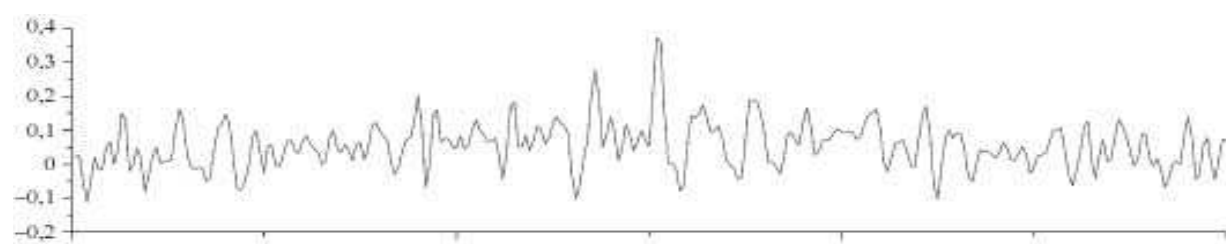
1 июля



24 июля



14 августа



8 сентября



9 сентября

Рис. 6. Сегменты записей аномальных волн, 2009 г.

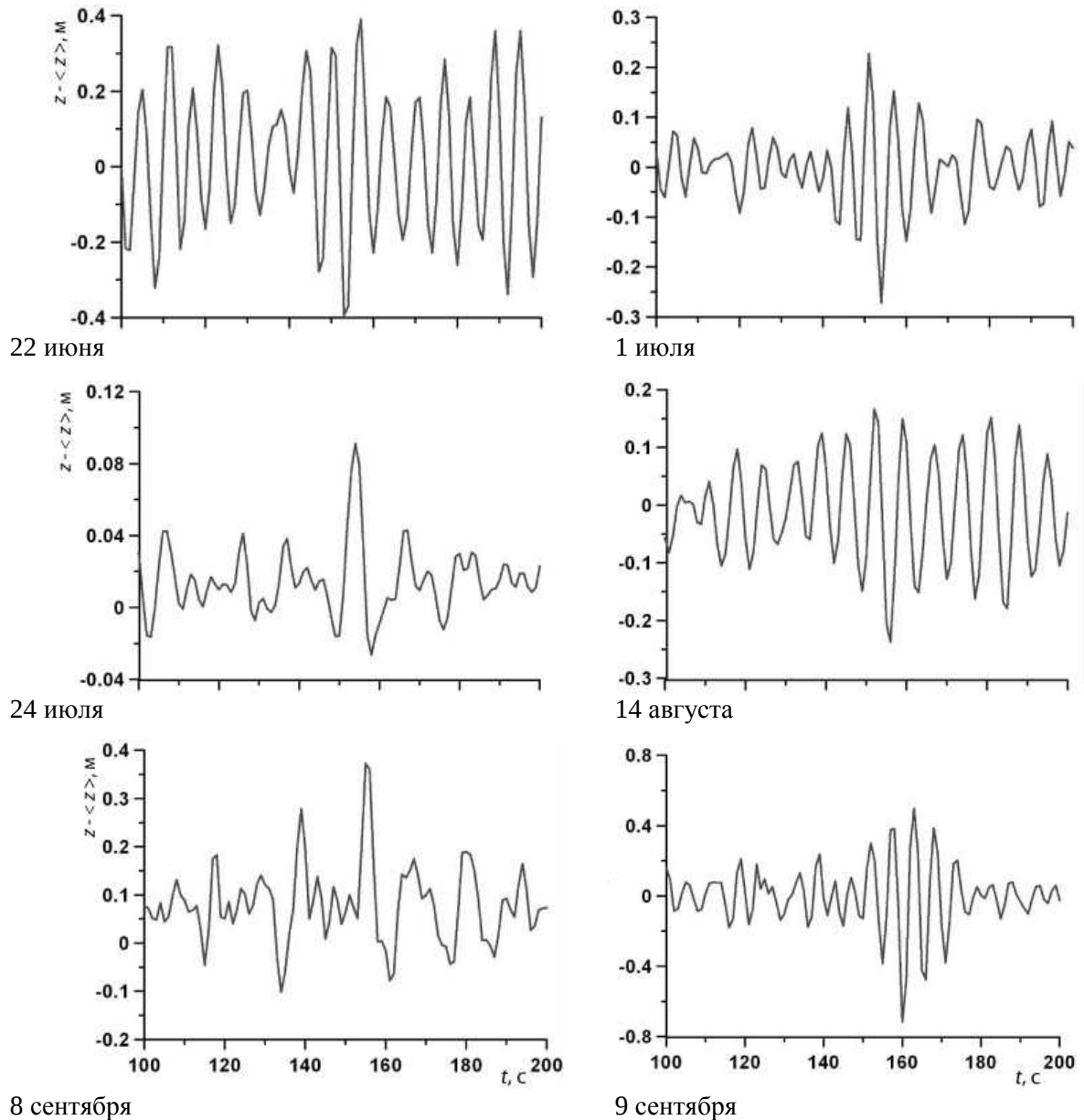


Рис. 7. Формы аномальных волн с превышением 2.5 над значительной амплитудой.

Приведены первые данные наблюдения аномально больших волн у оконечности м. Анива на южном побережье о. Сахалин. Они получены из анализа долговременных записей уровня моря за июнь–сентябрь 2009 г., полученных с помощью донной станции (глубина постановки 12 м). За время наблюдений зарегистрировано 394 аномально больших волн, высота которых в 2 раза и более превышает значительную высоту волны. Из них отмечено шесть случаев, когда превышение достигало 2.5. В этих шести событиях

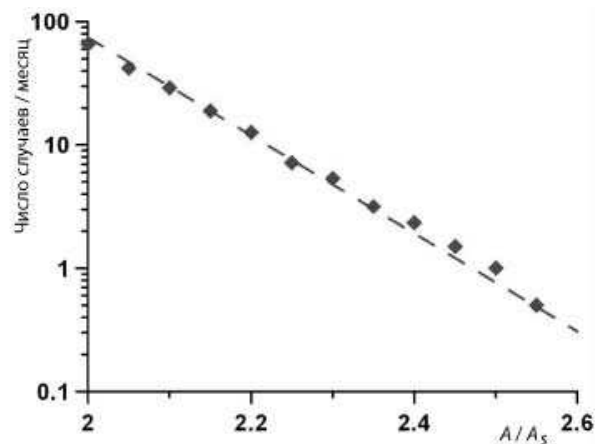


Рис. 8. Частота наблюдения волн-убийц в южной части Охотского моря.

2 раза волна-убийца имела вид одиночного гребня, а в других случаях – знакопеременной волны или цуга волн. Частота наблюдения аномальных волн в зависимости от их амплитуды описывается пуассоновским распределением, как это и следует из теории экстремальной статистики. Волны-убийцы в среднем встречаются в этом районе дважды в день, что близко к оценке, следуемой из теории для узкополосного «гауссова» моря.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (11-05-00216, 11-05-92002, 09-05-00971, 11-05-90740-моб_см), ДВО (11-III-Д-07-010, 11-III-В-01II-002), гос. контракта № 02.740.11.0732 и МК-6734.2010.5.

Литература

1. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. Нижний Новгород: ННГУ, 2004. 157 с.
2. Kharif Ch., Pelinovsky E., Slunyaev A. Rogue Waves in the Ocean. Springer, 2009. 216 p.
3. Kharif C., Pelinovsky E. Physical mechanisms of the rogue wave phenomenon // European J. Mechanics B–Fluid, 2003. V.22, N 6. P.603–634.
4. Куркин А.А. Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В. Физика волн-убийц в океане // Нелинейные волны-2004. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2005. С.37–51.
5. Muller P., Garrett C., Osborne A. Rogue waves // Oceanography. 2005. V.18, N 3, P.66–75.
6. Didenkulova, I.I., Slunyaev, A.V., Pelinovsky, E.N., Kharif, Ch. Freak Waves in 2005. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2006. V.6. P.1007–1015.
7. Nikolkina I. Didenkulova I.I. Rogue waves in 2006–2010. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2011. V.11. P.2913–2924.
8. Baschek B., Imal J. Rogue wave observations off the US West Coast // Oceanography, 2011. V.24, N 2. P.158–165.
9. Доценко С.Ф. Иванов В.А., Побережный Ю.А. Волны-убийцы в северо-западной части Черного моря // Докл. НАН Украины. 2009. № 9. С.113–117.
10. Доценко С.Ф. Иванов В.А., Побережный Ю.А. Связь образования волн-убийц и метеорологических условий в северо-западной части Черного моря // Докл. НАН Украины. 2010. № 12. С.105–109.
11. Доценко С.Ф., Иванов В.А. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона. Севастополь: НИЦП Экокси-гидрофизика, 2010. 174 с.
12. Кузнецов С.Ю., Дулов В.А., Сапрыкина Я.В., Доценко С.Ф., Малиновский В.В., Полников В.Г., Шокуров М.В. Экстремально опасные штормовые условия в Черном море. Севастополь: НИЦП Экокси-гидрофизика, 2011. 66 с.
13. Дивинский Б.В., Левин Б.В., Лопатухин Л.И., Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В. Аномально высокая волна в Черном море: наблюдения и моделирование // ДАН, 2004. Т.395, № 5. С.690–695.
14. Didenkulova I. Shapes of freak waves in the coastal zone of the Baltic Sea (Tallinn Bay) // Boreal Environ Res. 2011. V.16. P.138–148.
15. Didenkulova I., Anderson C. Freak waves of different types in the coastal zone of the Baltic Sea // Natural Hazard Earth System Science, 2010. V.10. P.2021–2029.
16. Зайцев А.И., Ковалев Д.П., Куркин А.А., Левин Б.В., Пелиновский Е.Н., Чернов А.Г., Ялчинер А. Невельское цунами 2 августа 2007 года: инструментальные данные и численное моделирование // Докл. АН, 2008. Т.421, № 2. С.249–252.
17. Зайцев А.И., Ковалев Д.П., Куркин А.А., Левин Б.В., Пелиновский Е.Н., Чернов А.Г., Ялчинер А. Цунами на Сахалине 2 августа 2007 года: мареографные данные и численное моделирование // Тихоокеанская геология. 2009. Т.28, № 5. С.30–35.
18. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П., Чернов А.Г., Золотухин Д.Е. Регистрация Симуширского и Невельского цунами в порту города Холмска // Тихоокеанская геология, 2009. Т.28, № 5. С.36–43.
19. Левин Б.В., Чернов А.Г., Шевченко Г.В., Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Куркин А.А., Лихачева О.Н., Шишкин А.А. Первые результаты регистрации длинных волн в диапазоне периодов цунами в районе Курильской гряды на разнесённой сети станций // Докл. АН. 2009. Т.427, № 2. С.239–244.
20. Лидбеттер М., Ротсен Х., Линдгрэн Г. Экстремумы случайных последовательностей и процессов. М.: Мир, 1989. 391 с.

Статья поступила в редакцию 03.09.2011 г.

