

Нелинейная гидрофизика и морские природные катастрофы

Лекция 3

Е.Н. Пелиновский



Отделение геофизических исследований
Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН



Лаборатория нелинейной гидрофизики
Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН

Мегагрант № 075-15-2022-1127 Нелинейная гидрофизика с приложениями к природным катастрофам Дальневосточного региона
ДВФУ 11 октября 2023 года



ВОЛНЫ-УБИЙЦЫ

Авторы: Е. Н. Пелиновский, А. В. Слюняев

ВОЛНЫ-УБИЙЦЫ, принятое в русскоязычной литературе название аномально высоких волн в море. В английском языке наиболее часто используются термины «freak waves» («фрики») или «rogue waves». К наиболее характерным свойствам волн-убийц обычно относят неожиданность их возникновения и быстротечность. В отличие от [цунами](#), волны-убийцы относятся к [ветровым волнам](#), их характерные длины составляют не более нескольких сотен метров. Такие волны опасны для судов и стационарных сооружений в море (таких как нефтегазодобывающие платформы); они способны смывать людей и имущество на берегу, повреждать волнозащитные сооружения.

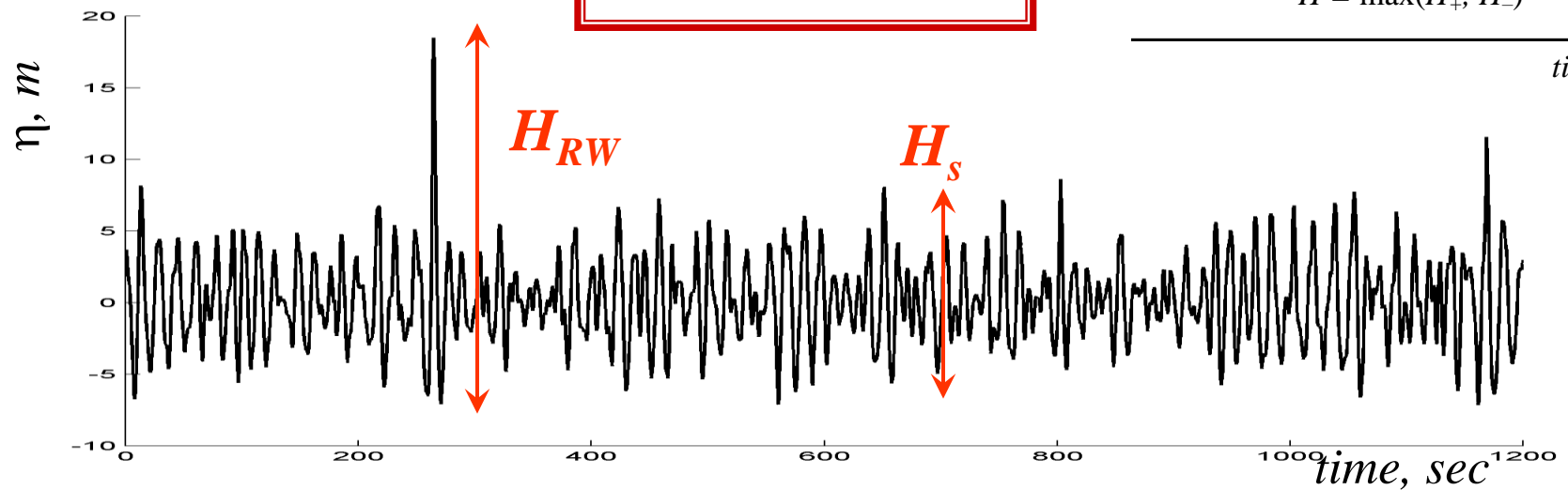
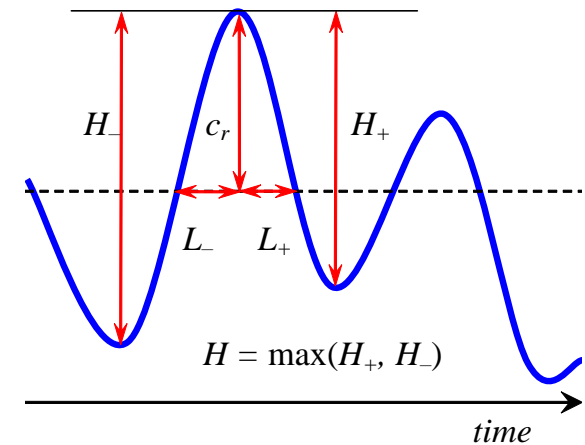
Rogue wave problem

Definition of Rogue Waves



amplitude criterion

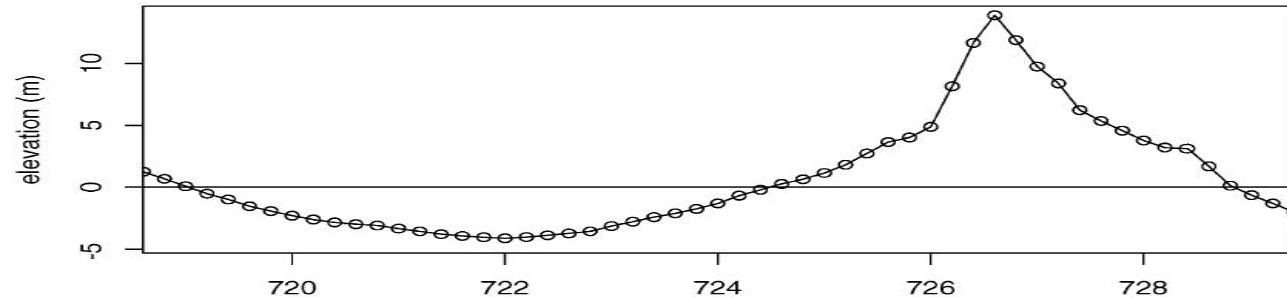
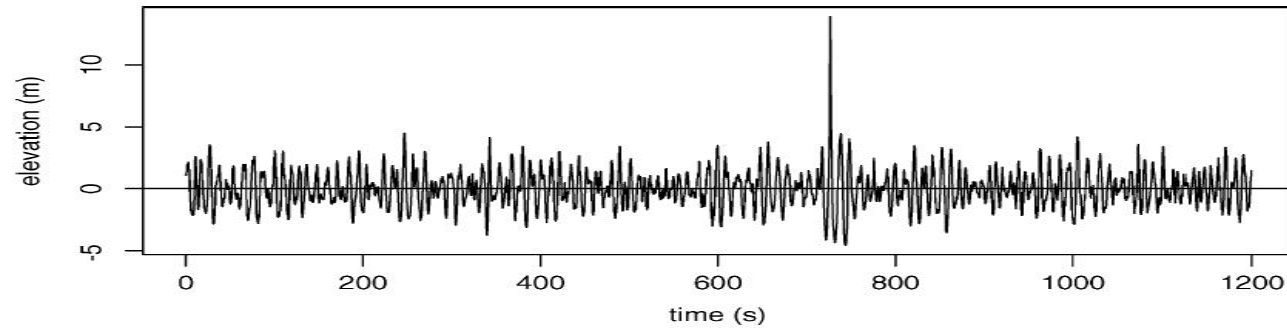
$$\frac{H_{RW}}{H_s} > 2$$



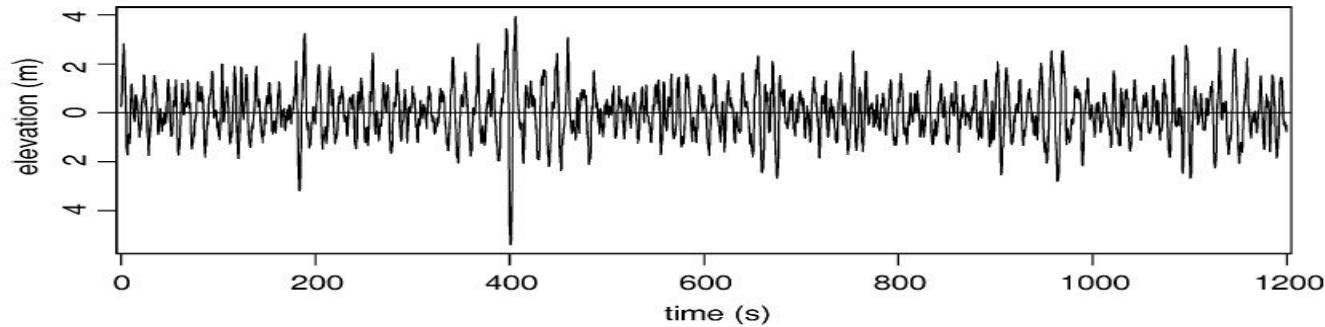
The “New Year Wave”, Draupner palfom, Jan 01, 1995
(Depth 85 m, $H_{max} = 25.6$ m , $H_s = 11.4$ m , $H_{max} / H_s = 2.24$)

Rogue wave problem

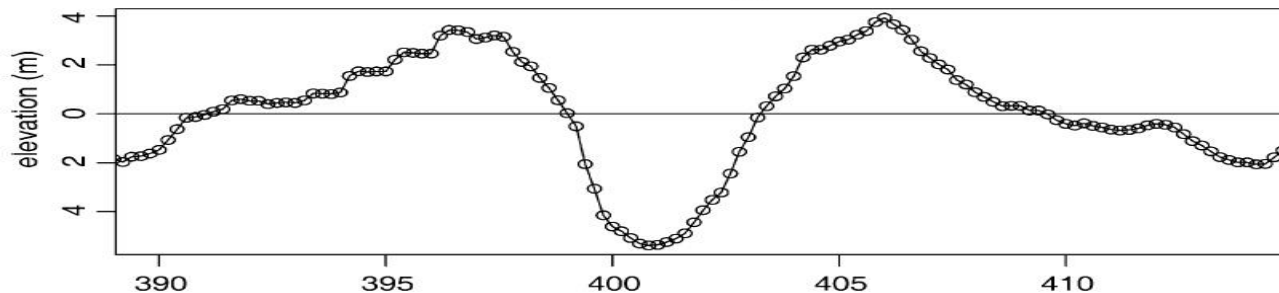
high crest



$$H_{RW}/H_s = 3.19,$$
$$H_{RW} = 18.0 \text{ m}$$



hole
in the sea



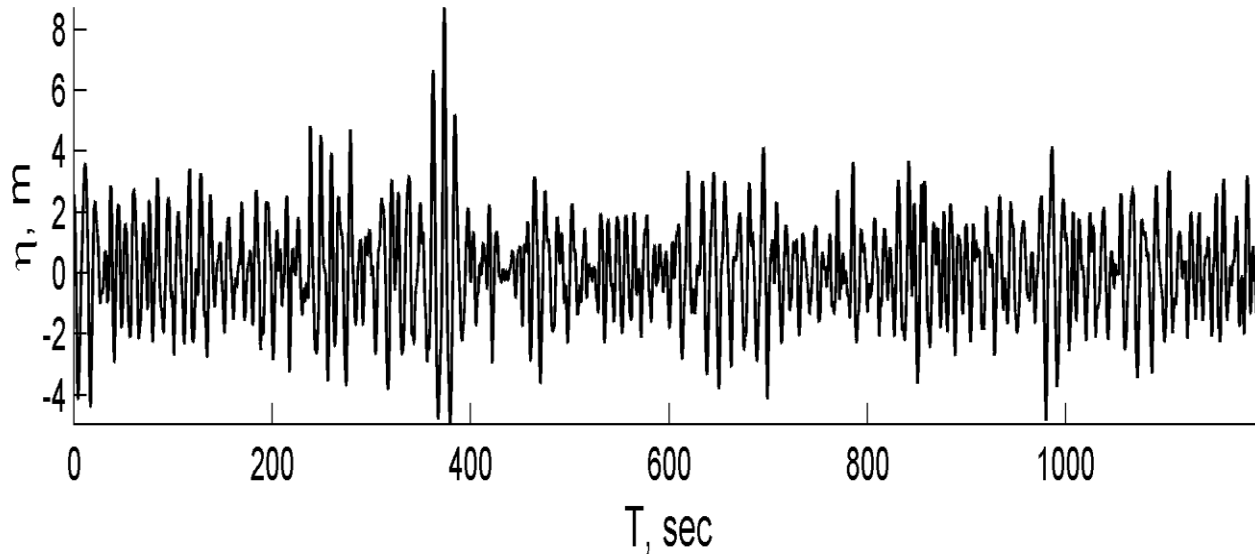
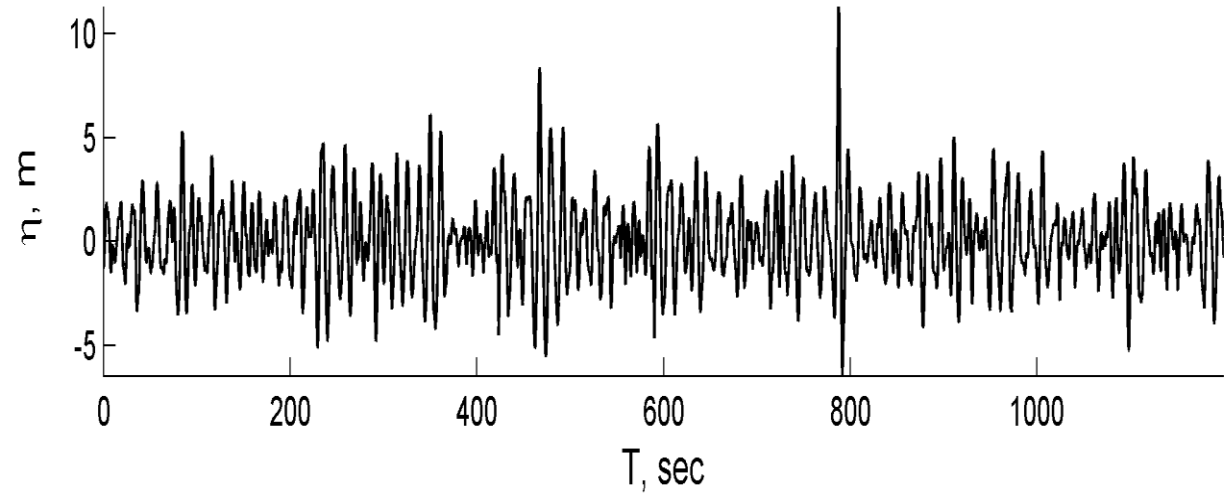
$$H_{RW}/H_s = 2.46,$$
$$H_{RW} = 9.3 \text{ m}$$

[Stansell, 2004]

Rogue wave problem

single wave

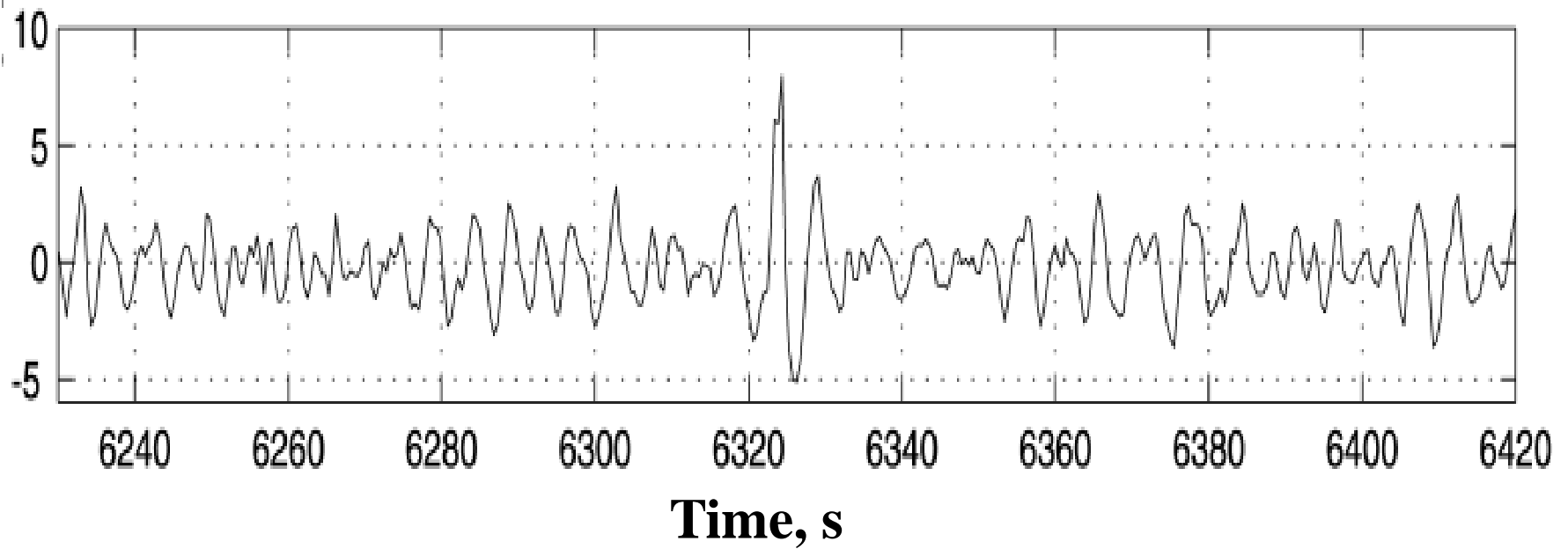
$$H_{RW}/H_s = 2.29,$$
$$H_{RW} = 17.8 \text{ m}$$



wave group

$$H_{RW}/H_s = 2.23,$$
$$H_{RW} = 13.7 \text{ m}$$

Water level, m



Japan Sea (Yura Harbor) 24/12/1987
(Mori et al, 2002)

22 supercarriers were lost for 1968-1994 (Deaths:525)

Norse Variant
March 1973
Deaths: 29

Anita
March 1973
Deaths: 32

Christinaki
Feb 1994
Deaths: 28

Marina di Equa
December 1981
Deaths: 20

Tito Campanella
January 1984
Deaths: 27

Artemis
Dec 1980
Deaths: 0

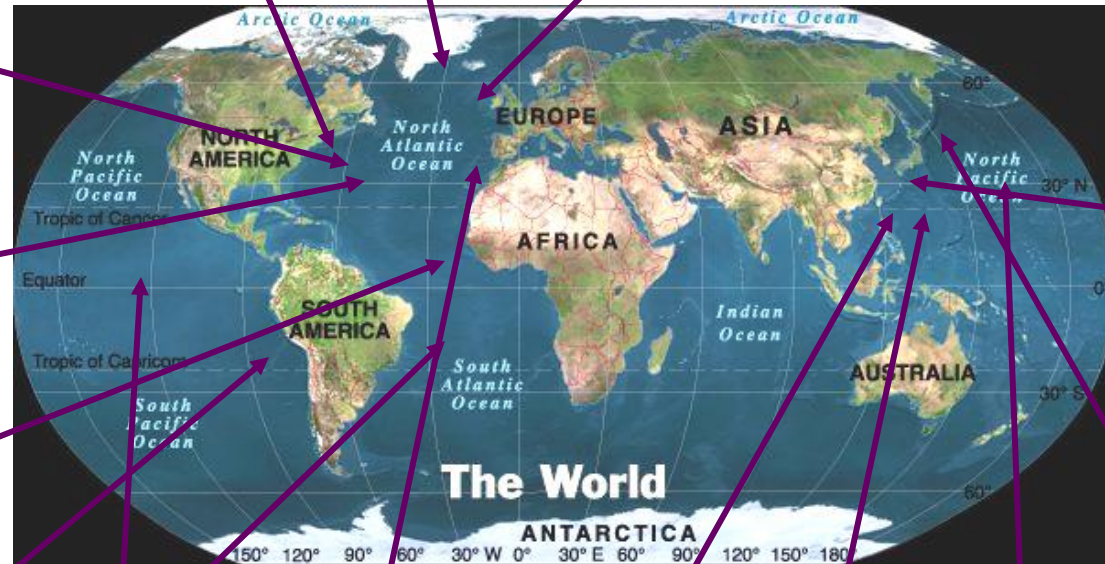
Silvia Ossa
October 1976
Deaths: 37

Skipper 1
April 1987
Deaths: 0

Mezada
March 1991
Deaths: 24

Alborada
July 1984
Deaths: 30

Arctic Career
June 1985
Deaths: 28



Testarossa
March 1973
Deaths: 30

Rhodain Sailor
December 1982
Deaths: 5

Golden Pine
January 1981
Deaths: 25

Chandragupta
January 1978
Deaths: 69

Derbyshire
December 1980
Deaths: 44

Dinav
Dec 1980
Deaths: 35

Sandalion
Nov 1980
Deaths: 0

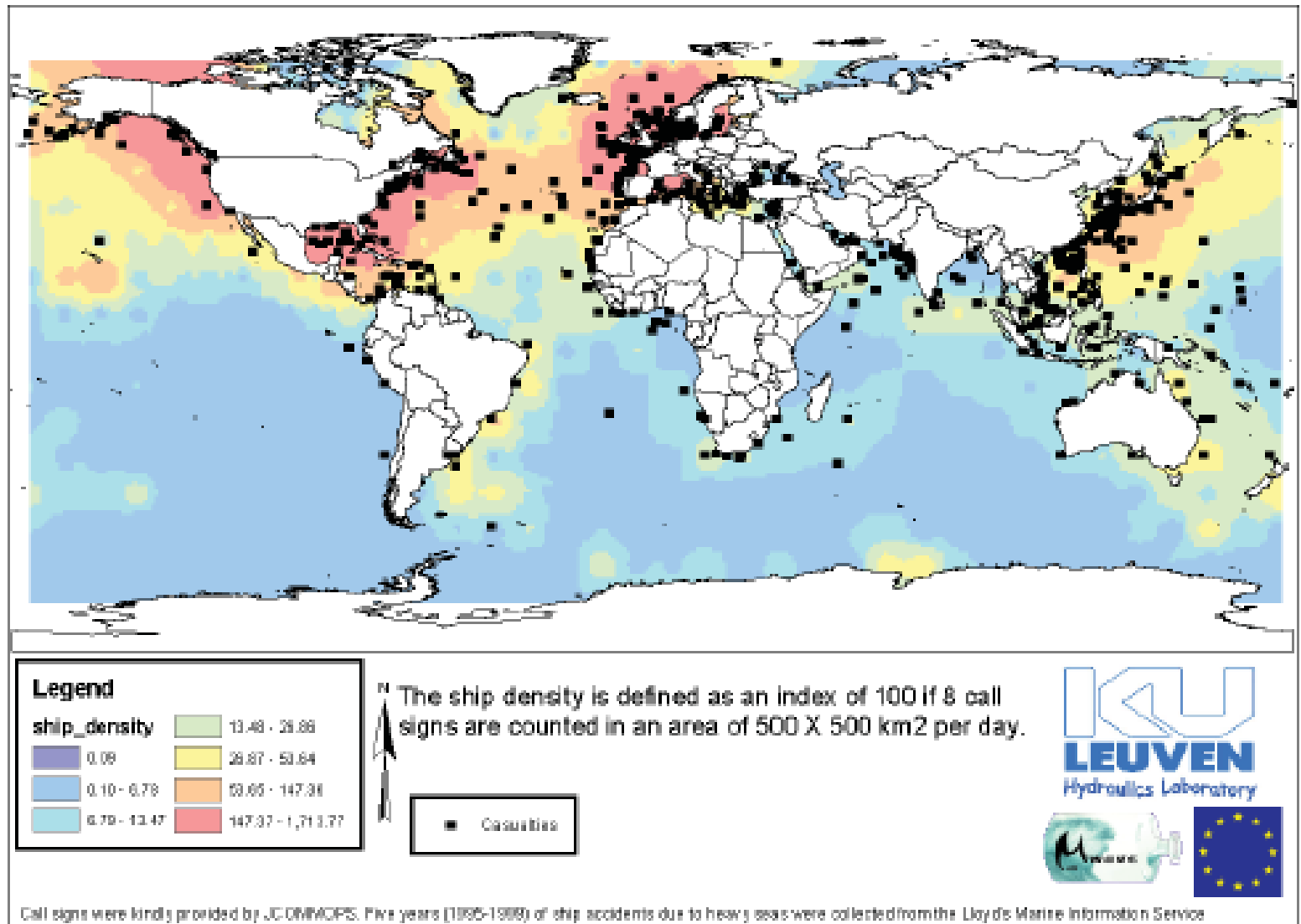
Antonis Demades
February 1970
Deaths: 0

Antparos
Jan 1981
Deaths: 31

Bolivar Maru
January 1969
Deaths: 31

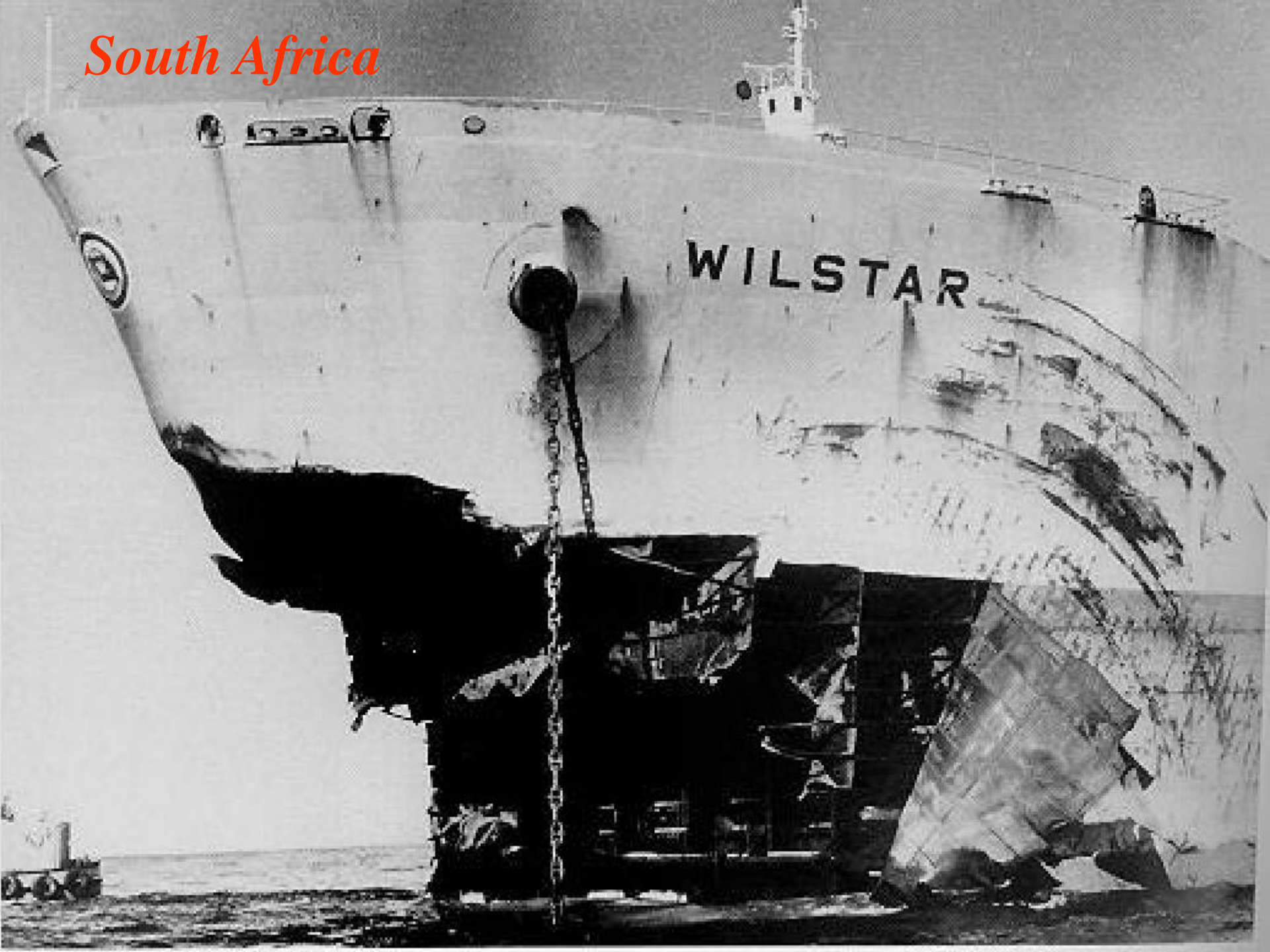
Onomichi Maru
December 1980
Deaths: 0

Correlation to ship density





South Africa



Ievoli Sun, 2000



Erica, 1999



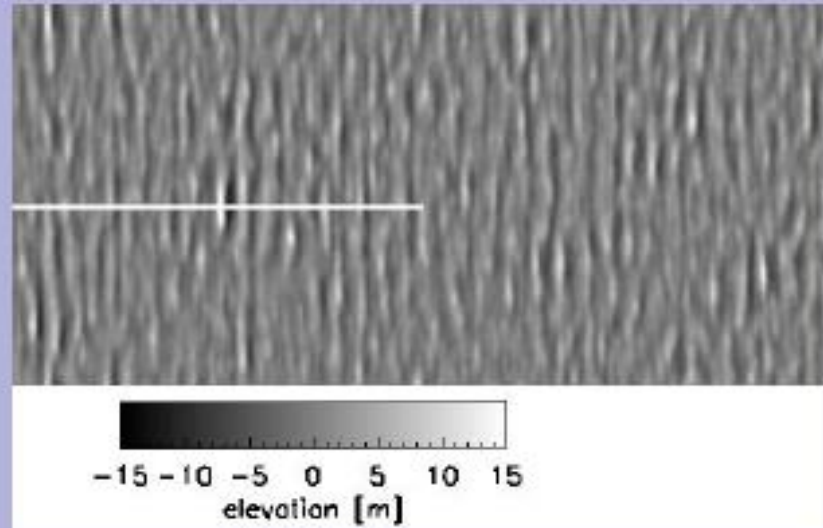
Prestige, 2002



Equatorial Atlantics

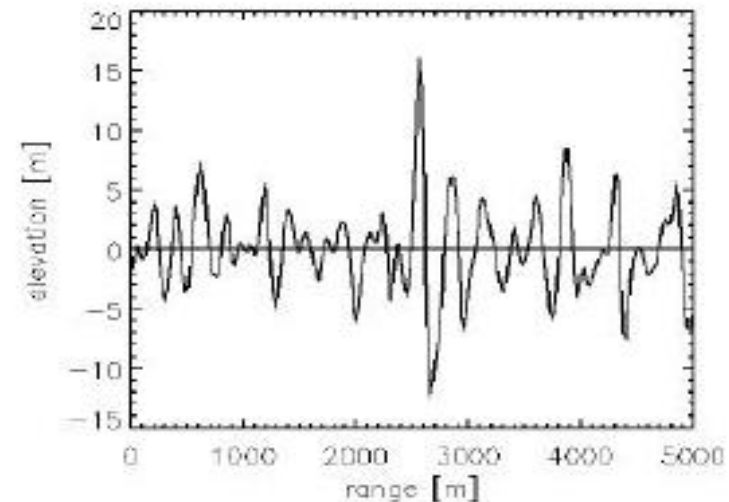
ERS-2 SAR Detected Extreme Wave

Aug 20, 1996, 22:51:17 UTC, 44.6 S, 7.1



$H_{\max} = 29.8 \text{ m}$

$$H_{\max} / H = 2.9$$



German Space Agency

Near San Francisco

February 14, 2010



In October, 1998, thirteen students in the Bamfield Marine Station Fall Program were taken on a field trip to Kirby Point, a wave-beaten peninsula on the southwest corner of Dianna Is. (**Barkley Sound, Vancouver Island, British Columbia**), to view the **large open-ocean swell breaking on the shore the day after a very large storm** had passed through. The students split into two groups and sat atop two adjacent rock outcrops, at least **25 meters above sea level**

After about **45 minutes** of wave watching, one student tried to capture the feel of these huge waves thundering onto the shore by taking *three pictures* in quick succession of what looked to be a nice example of a large wave as it started to break

1) A rogue wave starts to break low on the shore



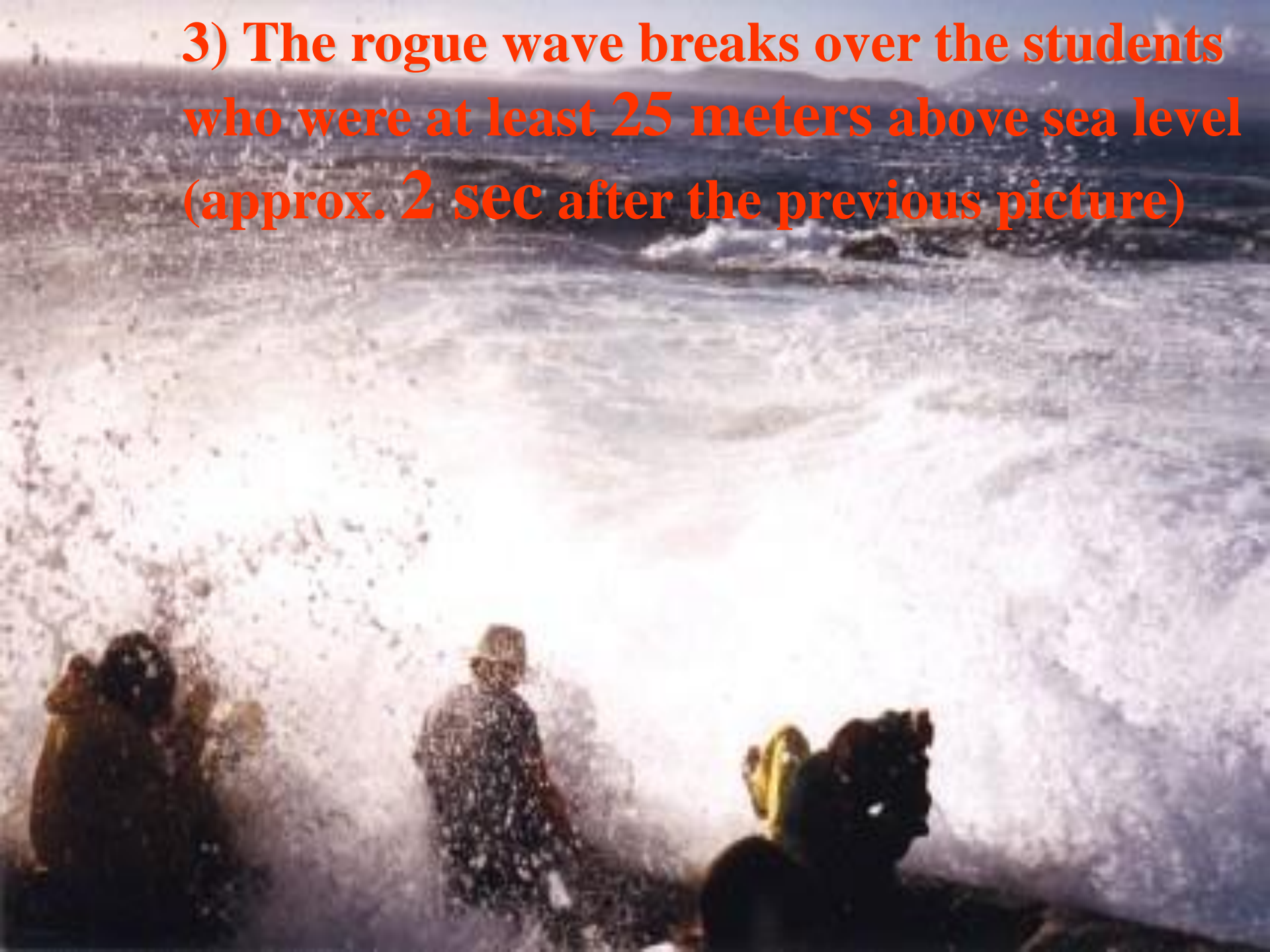
25 m

2) The rogue wave races up the shore
(approximately 2 sec after the first picture)

25 m



3) The rogue wave breaks over the students who were at least 25 meters above sea level (approx. 2 sec after the previous picture)



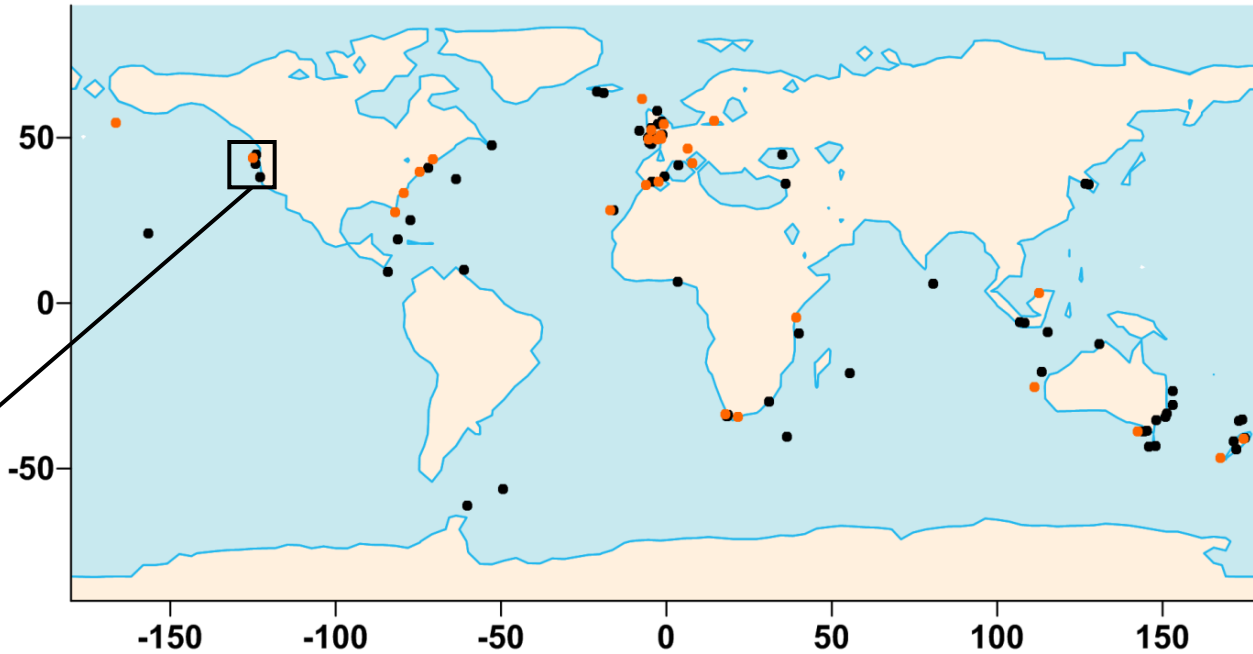
In these stormy seas, **45 minutes was not enough time** to judge how high to stay on the shore to avoid being hit by a breaking wave. In the preceding **45 minutes**, the next closest wave had only reached to within **5 m** of the students

Almost every year people are killed by rogue waves on the west coast of Vancouver Island

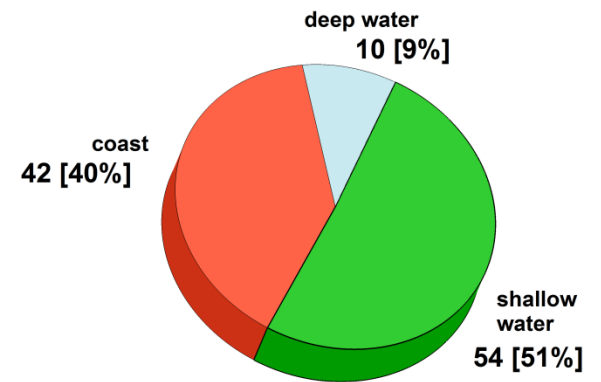
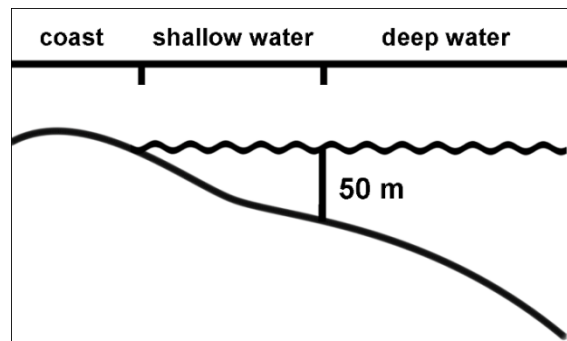
Had any of these students been even a few meters lower on the shore, they might have been washed off

Rogue waves from mass media in 2006-2010

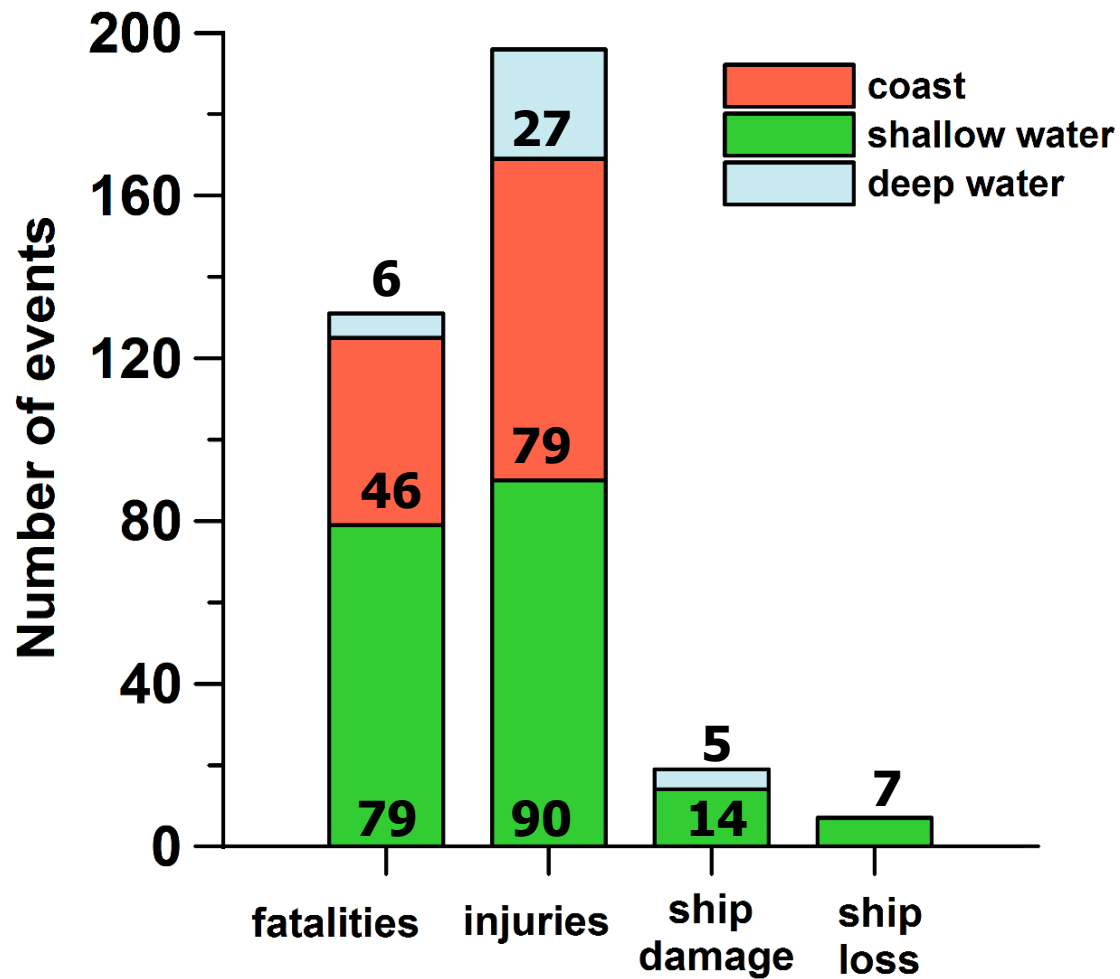
(Nikolkina & Didenkulova, 2011)



- **78 true events**
- **106 possible**



Rogue waves in 2006-2010: damage





Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ocean and Coastal Management

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ocecoaman>



Catalogue of rogue waves occurred in the World Ocean from 2011 to 2018 reported by mass media sources

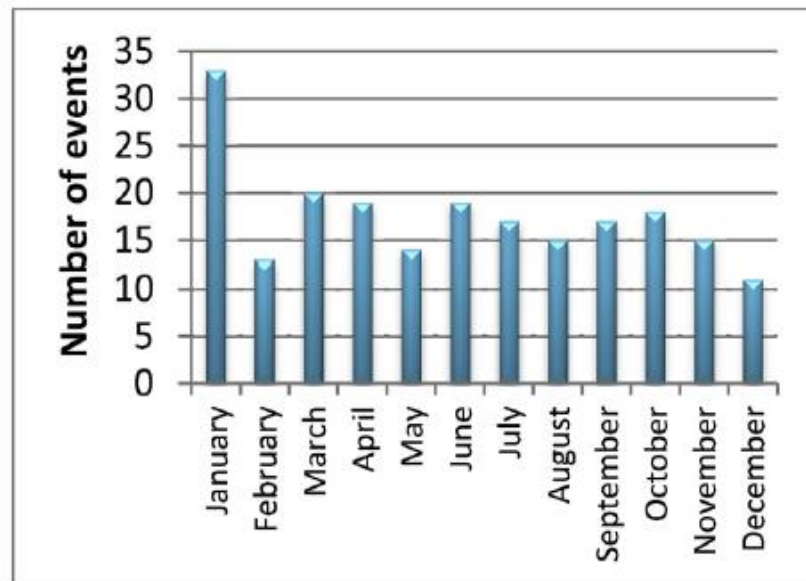
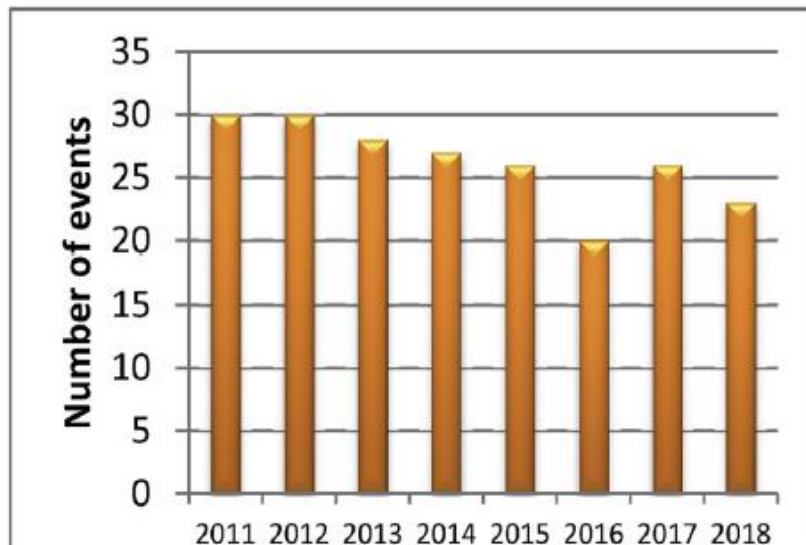
Ekaterina Didenkulova ^{a,b}

ВОЛНЫ-УБИЙЦЫ В 2011–2018 ГОДАХ

© 2020 г. Е. Г. Диденкулова^{1,2,*}, Е. Н. Пелиновский^{1,2}

Представлено академиком РАН В.Е. Захаровым 10.11.2019 г.

ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 491, № 1, с. 97–100

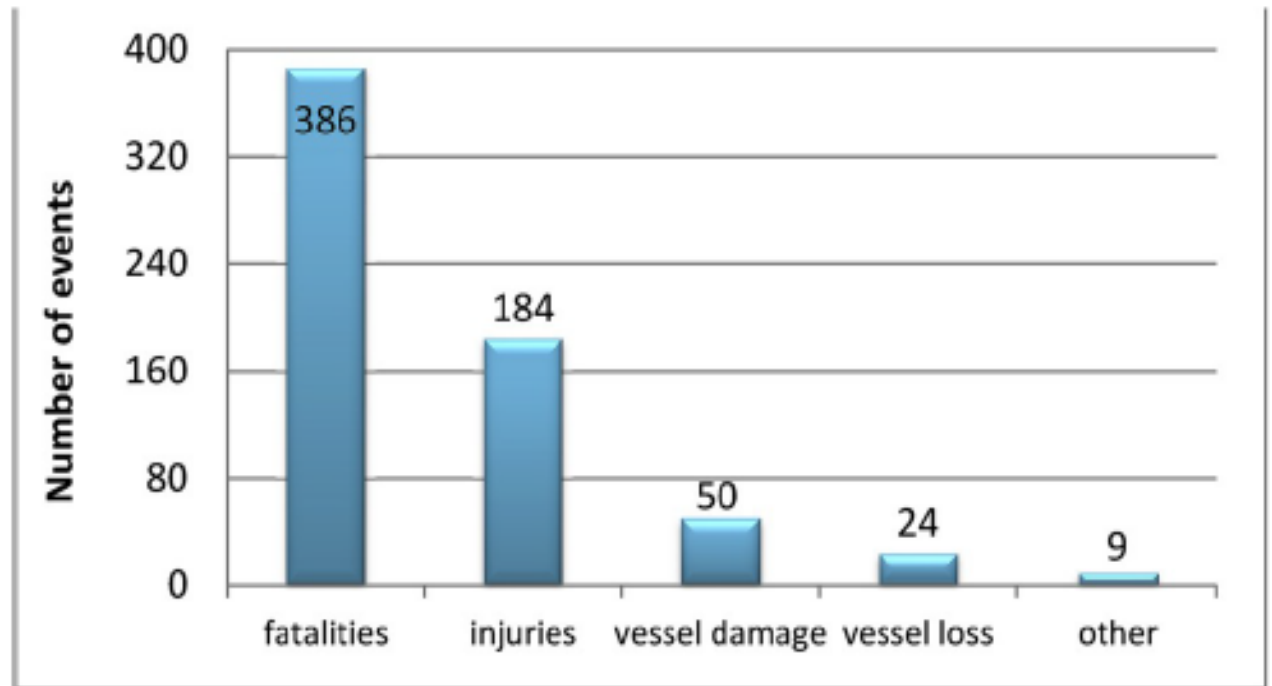
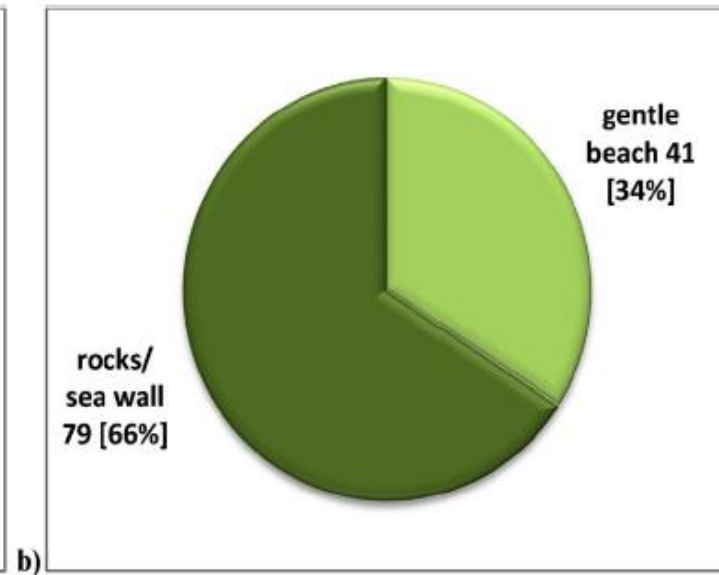
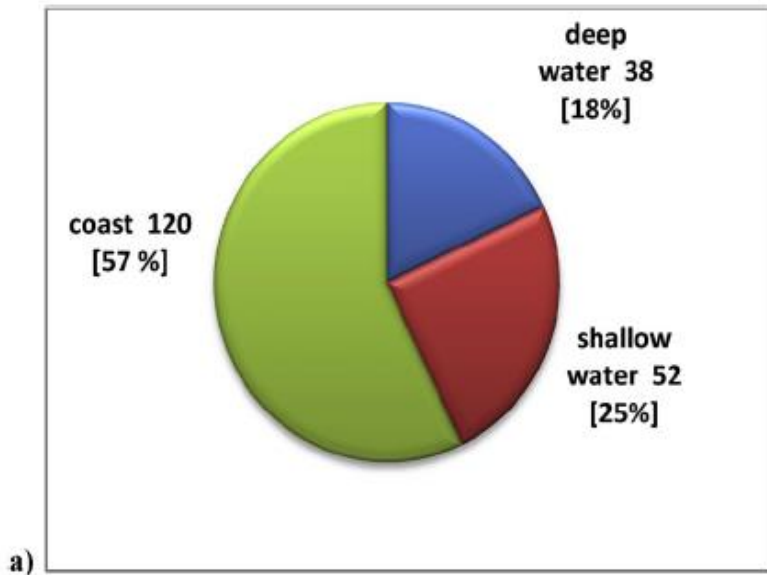


a)

b)

2011-2018





Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 23, 1653–1663, 2023
<https://doi.org/10.5194/nhess-23-1653-2023>
© Author(s) 2023. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Natural Hazards
and Earth System
Sciences



Freak wave events in 2005–2021: statistics and analysis of favourable wave and wind conditions

Ekaterina Didenkulova^{1,✉}, Ira Didenkulova², and Igor Medvedev³

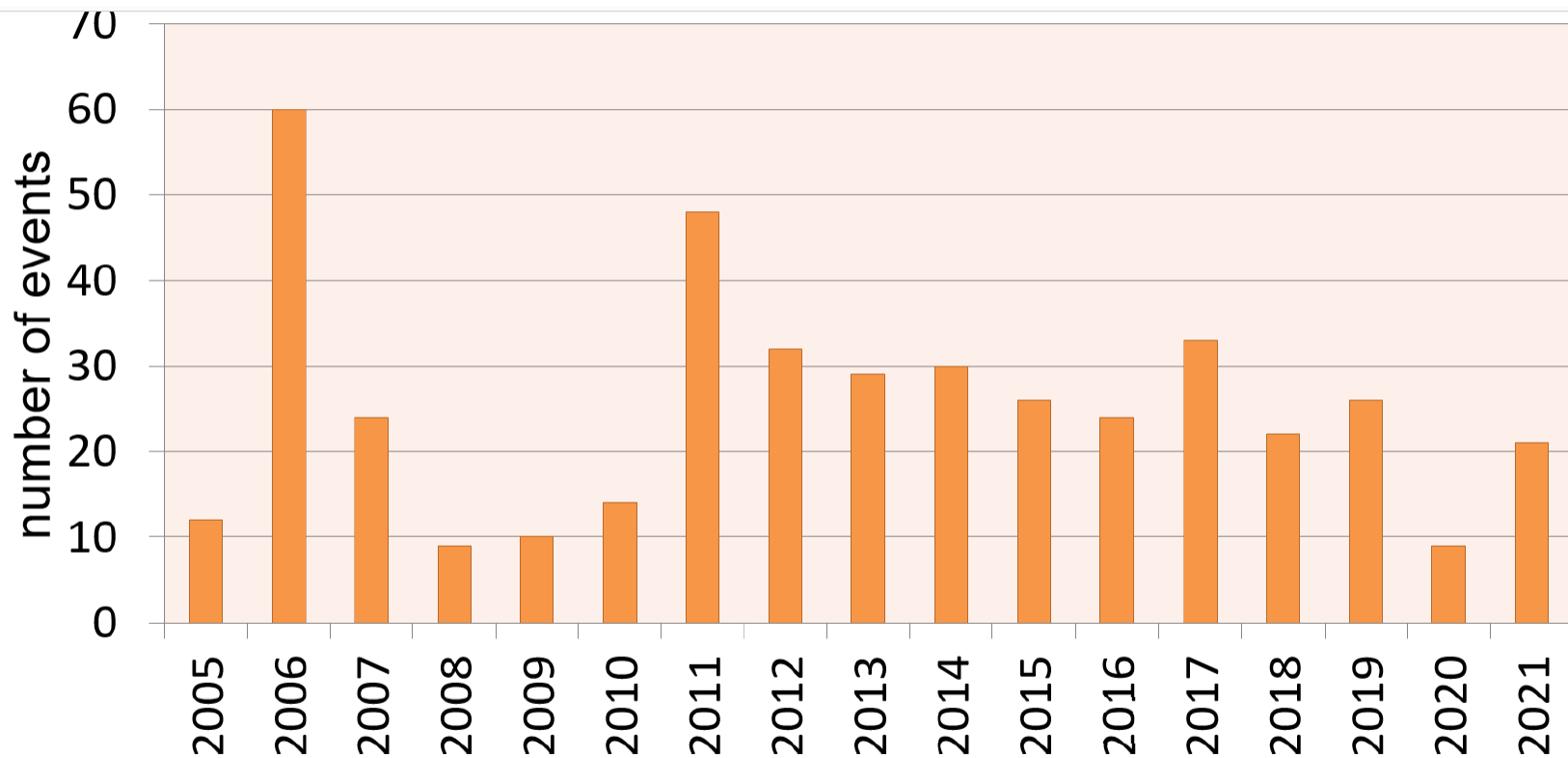
¹Faculty of Informatics, Mathematics and Computer Science, HSE University, Nizhny Novgorod 603155, Russia

²Department of Fluid Mechanics, University of Oslo, Oslo 0316, Norway

³Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow 117997, Russia

[✉]*Invited contribution by Ekaterina Didenkulova, recipient of the EGU Nonlinear Processes in Geosciences Division Outstanding Early Career Scientists Award 2020.*

Свободно скачивается с сайта журнала



**Статистика волн-убийц по годам
(визуальные наблюдения)**

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 729–758, 2018
<https://doi.org/10.5194/nhess-18-729-2018>
© Author(s) 2018. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Natural Hazards
and Earth System
Sciences Open Access 

Catalogue of extreme wave events in Ireland: revised and updated for 14 680 BP to 2017

Laura O'Brien¹, Emiliano Renzi², John M. Dudley³, Colm Clancy¹, and Frédéric Dias^{1,4}

Rogue Wave Observations Off the US West Coast

Oceanography, 2011, vol. 24

BY BURKARD BASCHEK
AND JENNIFER IMAI

А в России?

^{1, 2, 3} **Е.Г. Диденкулова**

канд. физ.-мат. наук, доцент,
старший научный сотрудник

^{1, 4} **А.И. Зайцев**

доктор физ.-мат. наук, Член-корреспондент РАН,
ИО директора

^{1, 2, 3} **Е.Н. Пелиновский**

доктор физ.-мат. наук, профессор,
главный научный сотрудник

¹ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

² Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород

³ Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

⁴ Специальное конструкторское бюро средств
автоматизации морских исследований
ДВО РАН, Южно-Сахалинск)

ВОЛНЫ-УБИЙЦЫ В МОРЯХ, ОКРУЖАЮЩИХ РОССИЮ

Собраны свидетельства очевидцев происшествий, связанных с волнами-убийцами в морях, окружающих Россию. Специально отмечены случаи повреждения российских судов волнами-убийцами в других акваториях. Упоминаются случаи инструментальных измерений параметров волн-убийц.

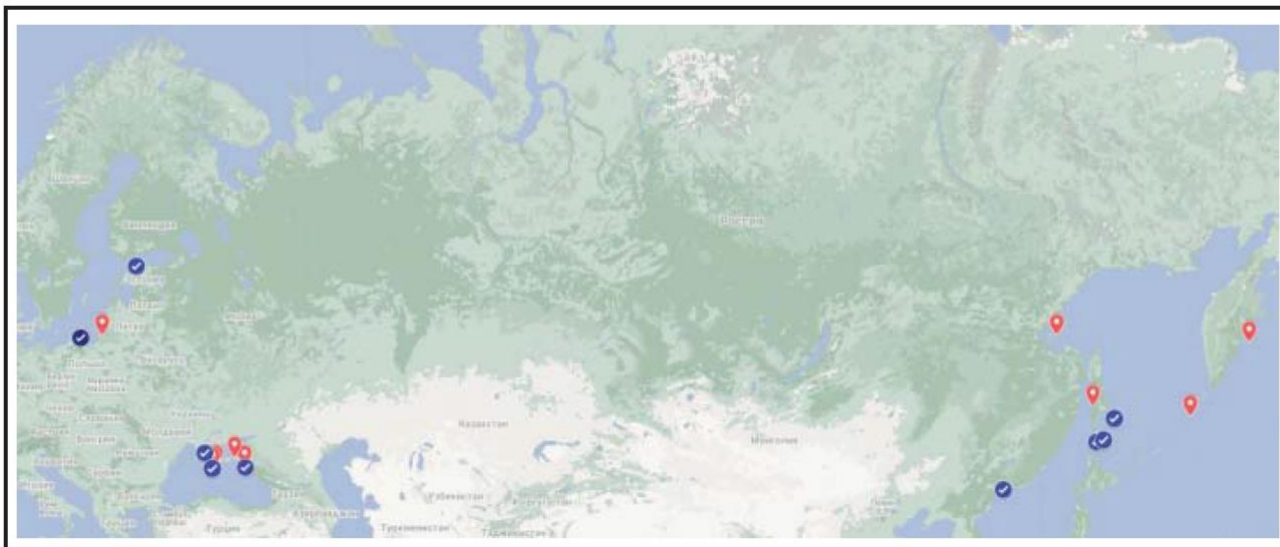


Рис. 1. Отмеченные на карте места происшествий с волнами-убийцами у берегов РФ (красные значки) и инструментальных измерений волн (синие точки)

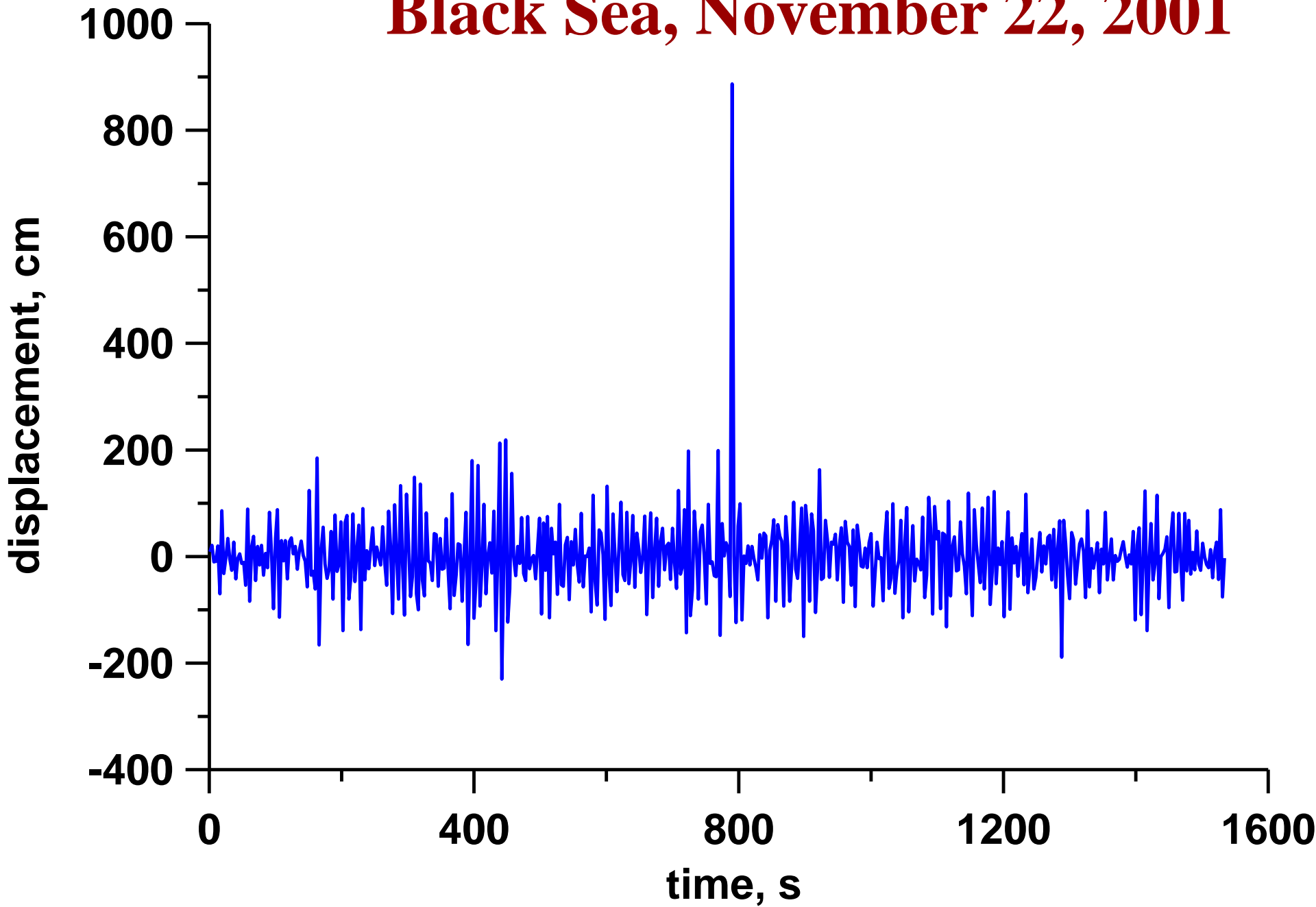
Очень плохая статистика!

In 1996, a Directional Waverider Buoy (DATAWELL Co., Netherlands) was deployed in the open sea (44°30'40 N, 37°58'70 E; depth 85 m) near Gelendzhik. The buoy was intended for making direct measurements of wave parameters, including direction of propagation, pre-processing, and transfer of gathered data to a coastal operational service.

Freak Wave in the Black Sea



Black Sea, November 22, 2001



**X14 September 2005,
Gelendzhik, 40-50 m from
the coast, water depth ~2-
3m. The highest waves were
~0.4-0.5 m with lengths ~8-
10 m, no white caps.
Suddenly a 1 m high
breaking wave has been
noticed about 15-20 m from
the rubber boat which could
potentially overturn it.**

Черное море



**8 August 2006, Sudak,
Crimea . Two children
swept off rocks by a huge
wave, while they were
making photos by the sea**

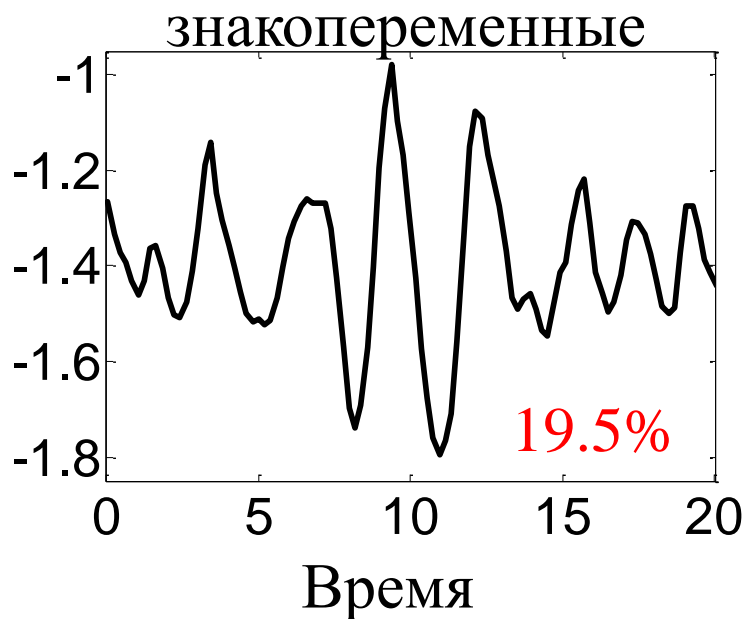


Севастополь, 2014 г. (фото С.Ф. Доценко)



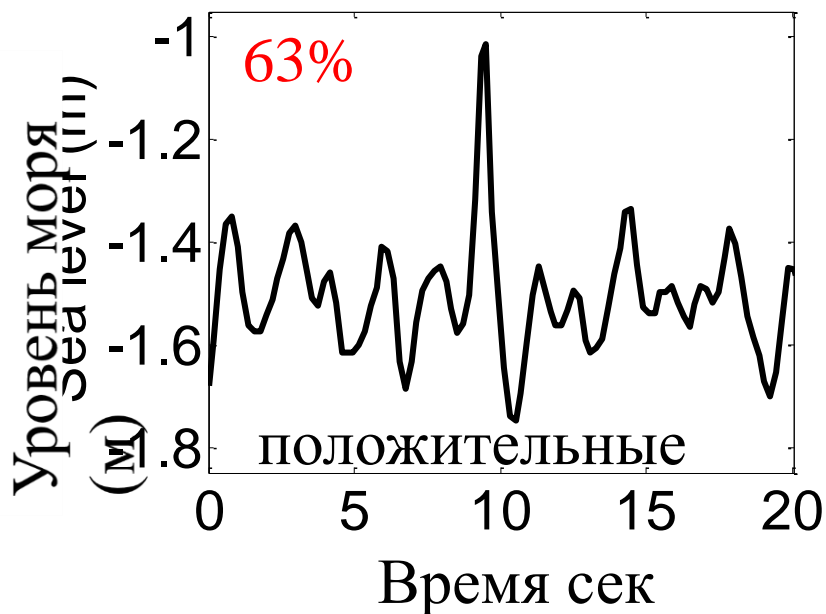
Мелководные волны-убийцы: проявления

[Didenkulova and Anderson, 2010]



(с)

По данным эксперимента
в **Балтийском море**



Буй в Таллиннской бухте, глубина 3 м

June 11, 2006. Kamchatka, Russia, 1-2 km from shore



MSTISLAV SOKOLOVSKY

JUNE 2006, EAST COAST OF KAMCHATKA, ~25 KM TO N FROM CAPE OLGA

View from Pacific



Каякерский поход вдоль западного побережья Сахалина от п. Бошняково до г. Александровска-Сахалинского.

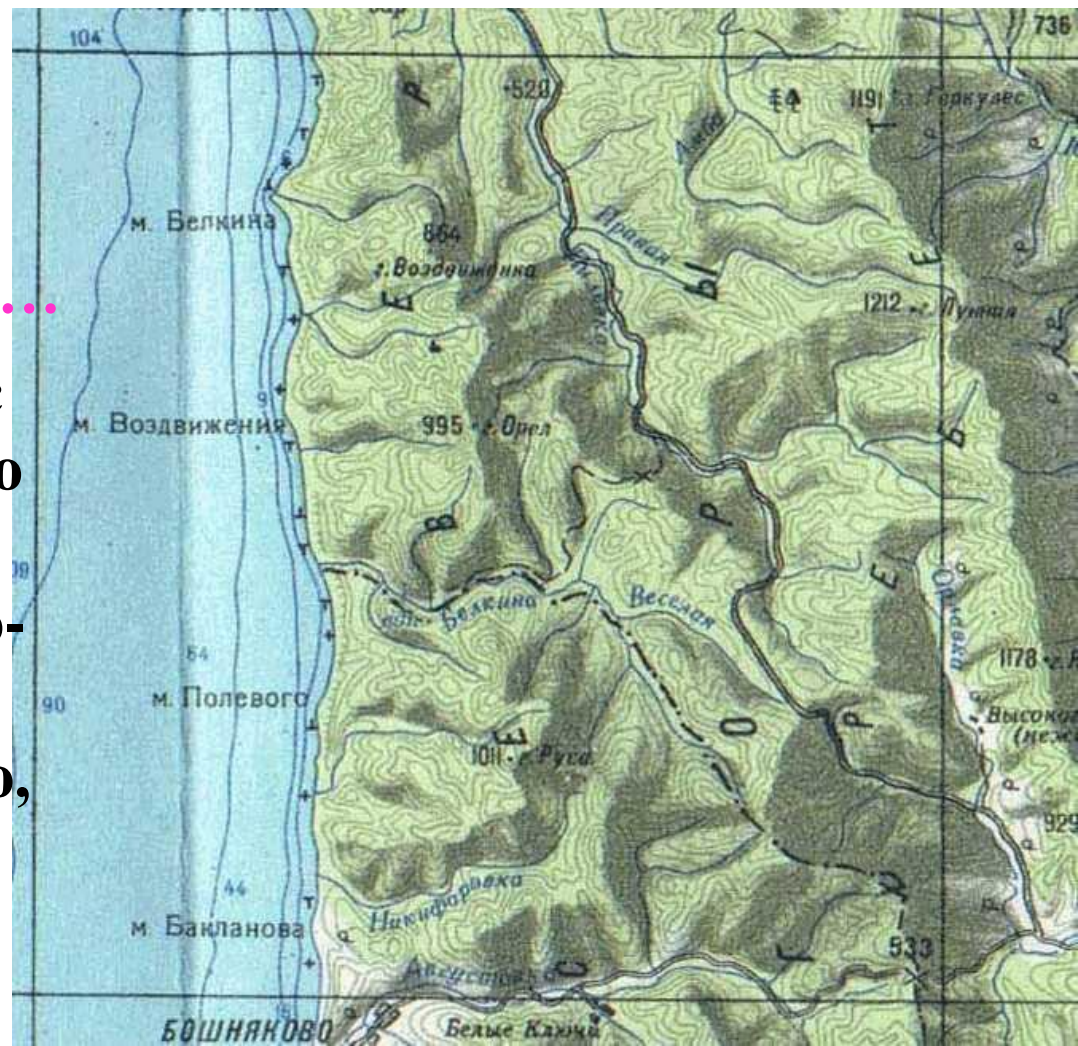
Сахалин

2 августа 2010 года

В нескольких метрах от меня внезапно выросла боковая волна, поднялась над мной и прихлопнула меня сверху как мы прихлопываем ладонью комаров...

В последующие дни похода с нами происходило еще много интересного, были и ветры, и волны, но ничего из природных явлений настолько же внезапного и неотвратимого, как прихлопнувшая меня волна, уже не встречалось.

Андрей Серафимов



Солдатенков Александр Евгеньевич

В начале лета 1977 года корабль привлекался к контрольному поиску иностранных ПЛ в северной части Японского моря к западу от о-вов Ребун и Рисири. Поиск происходил в условиях густого тумана и практически штилевой погоды. В первой половине дня корабль лежал в дрейфе в очередной точке поиска. Подруливающее устройство находилось в нижнем положении в готовности к работе. Вдруг радиометрист доложил об обнаружении на экране РЛС линии с угловой протяженностью градусов десять на дистанции 35 кабельтовых. Линия фронтально и довольно быстро двигалась на корабль. На всякий случай приказал рулевому развернуть корабль форштевнем на надвигающую линию с помощью активного руля, почему-то решив, что это одиночная волна. По трансляции предупредил экипаж о возможной значительной килевой качке. Линия, приближаясь, вошла в мертвую зону РЛС и впереди по курсу уже не была видна на экране, но за мертвой зоной справа и слева движение было видно. Я вышел на крыло мостика и стал смотреть прямо по курсу в туман. Видимость не превышала 50 м. И вдруг увидел белую полосу пены примерно на высоте уровня мостика. Это был гребень надвигающейся на корабль довольно крутой волны. Я успел укрыться в ходовой рубке. Корабль, стоявший в разрез волне, сильно качнуло по килевой качке, волна прошла по верхней палубе, но ничего не сорвала и никого не смыла. А дальше опять был штиль, густой туман и незначительная рябь на поверхности воды.

Солдатенков Александр Евгеньевич

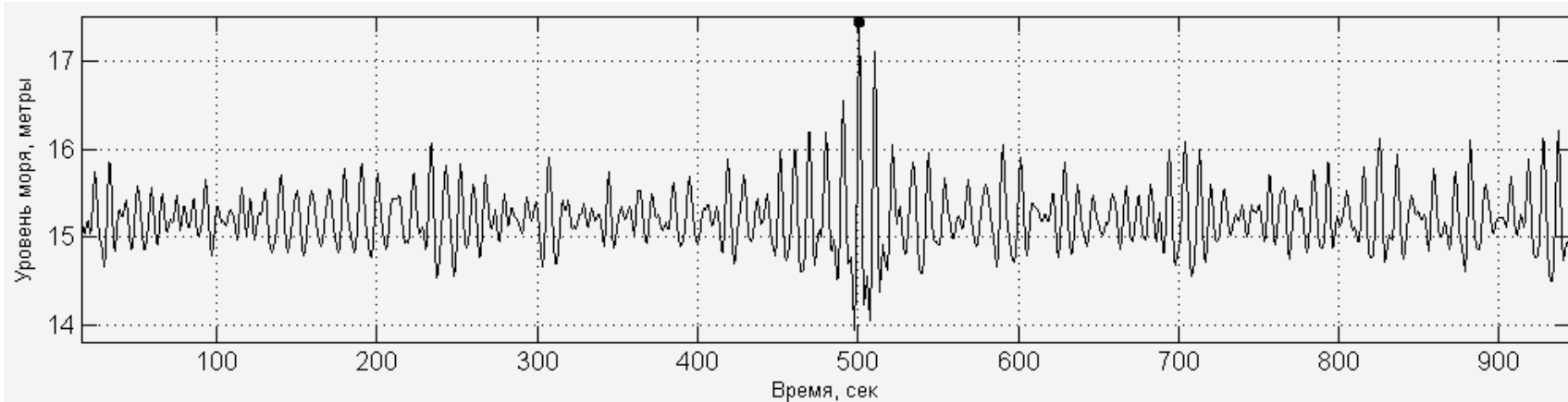
В 1982 г. встреча с волной произошла с океанской стороны о-ва *Шиашкотан Курильской гряды*. На шлюпке мы подходили к берегу для снятия людей. Дрек уже был отдан и шлюпка, табаня, продвигалась к берегу кормой, чтобы с кормы принять пассажиров. При этом маневре старшина шлюпки командует подходом к берегу, а командир шлюпки наблюдает за окружающей обстановкой. В тот раз я оценил сполна мудрость наших предшественников, которые выработали эти правила. Полностью уверен в квалификации старшины, поэтому смотрю вперед по курсу и вижу, **как со стороны океана на нас надвигается волна высотой равной длине шлюпки**. Ее увидел и один из баковых гребцов, который травил дректов. Я успел скомандовать: "Выбирать дрек, весла, весла на воду, навались". Гребцы выполнили команду своевременно. Нас весьма прилично качнуло, но без ударов о грунт и заливаний шлюпки - повезло. **И это при полном штиле и ясной погоде!** Ожидающих на берегу обдало морской водой, но без других неприятностей.



СКБ САМИ
в кооперации с Нижним Новгородом
с 2009 года регистрируют ветровое
волнение, в том числе и **волны-убийцы**
с помощью донных датчиков

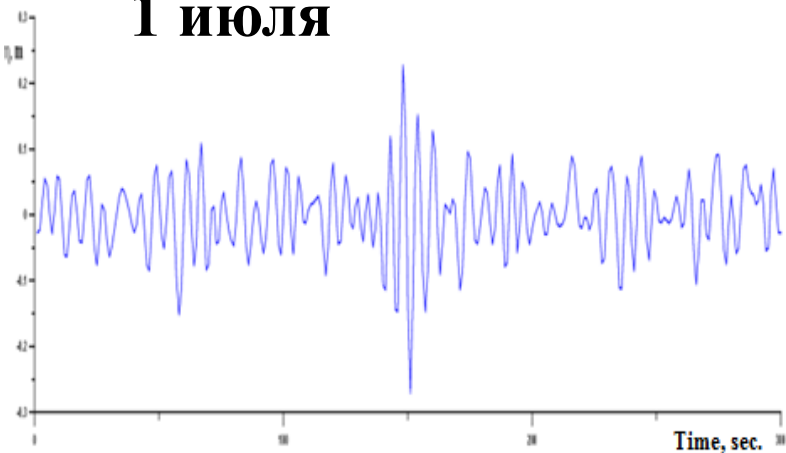
В среднем волны-убийцы появляются
раз в 12 часов

Озеро Изменчивое

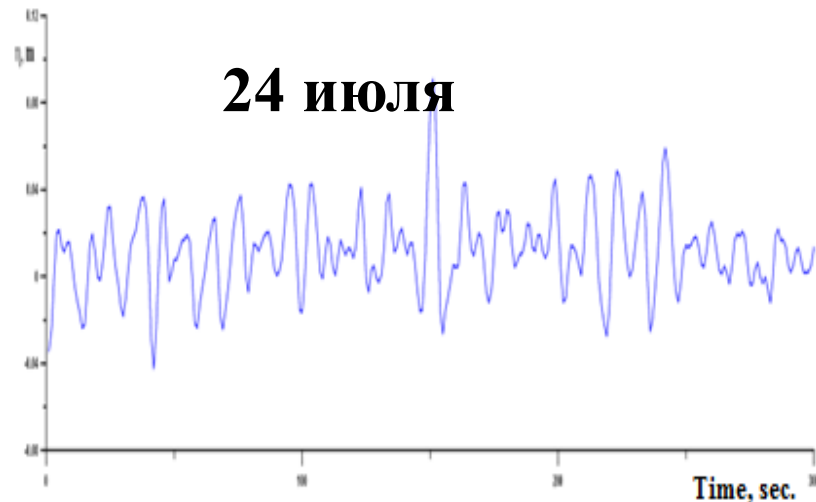


Волны-убийцы на мысе Анива (Сахалин) в 2009 г.

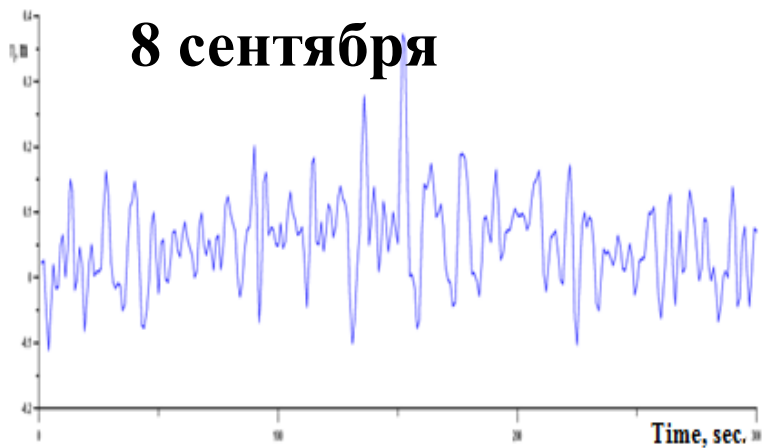
1 июля



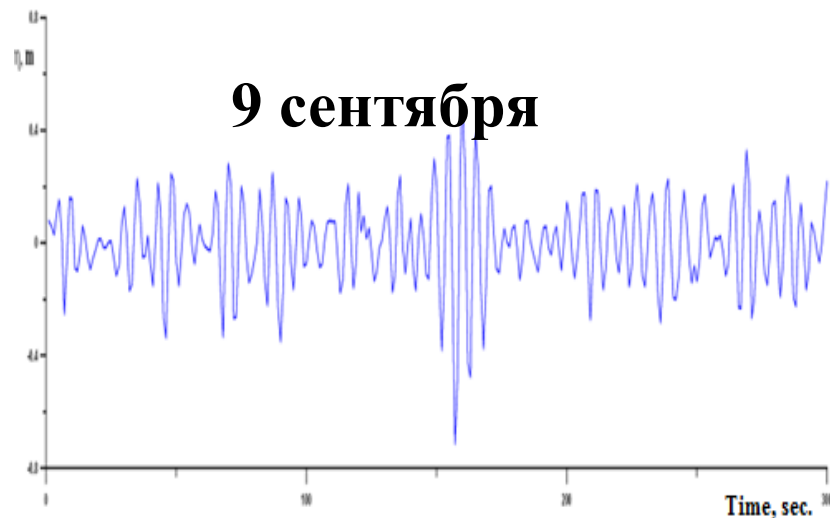
24 июля



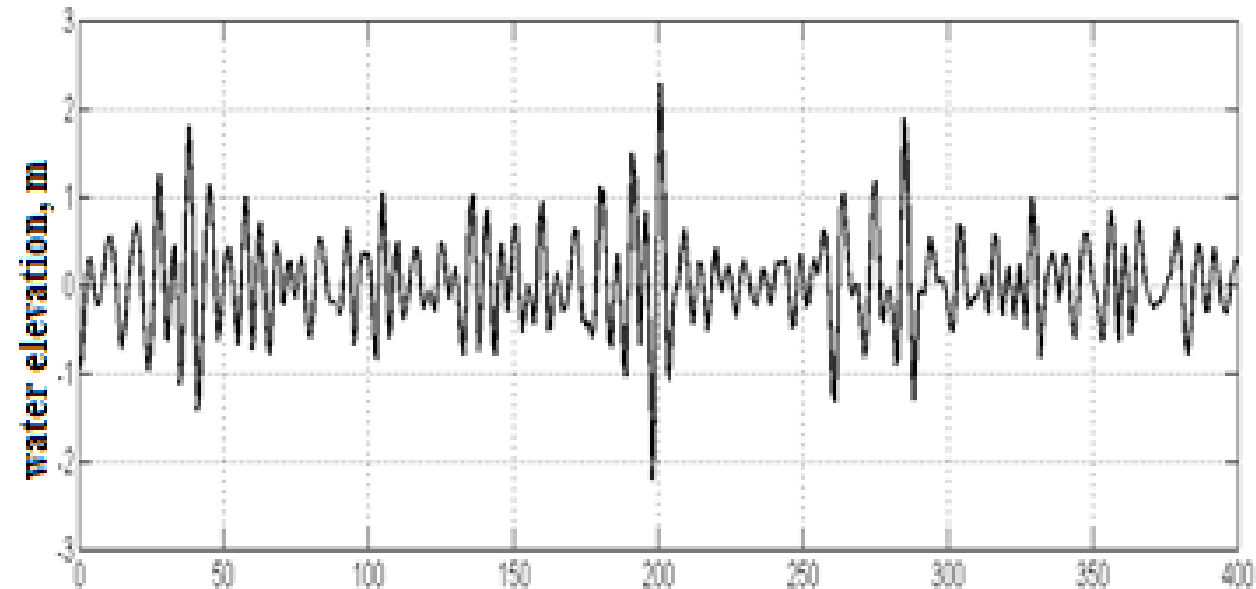
8 сентября



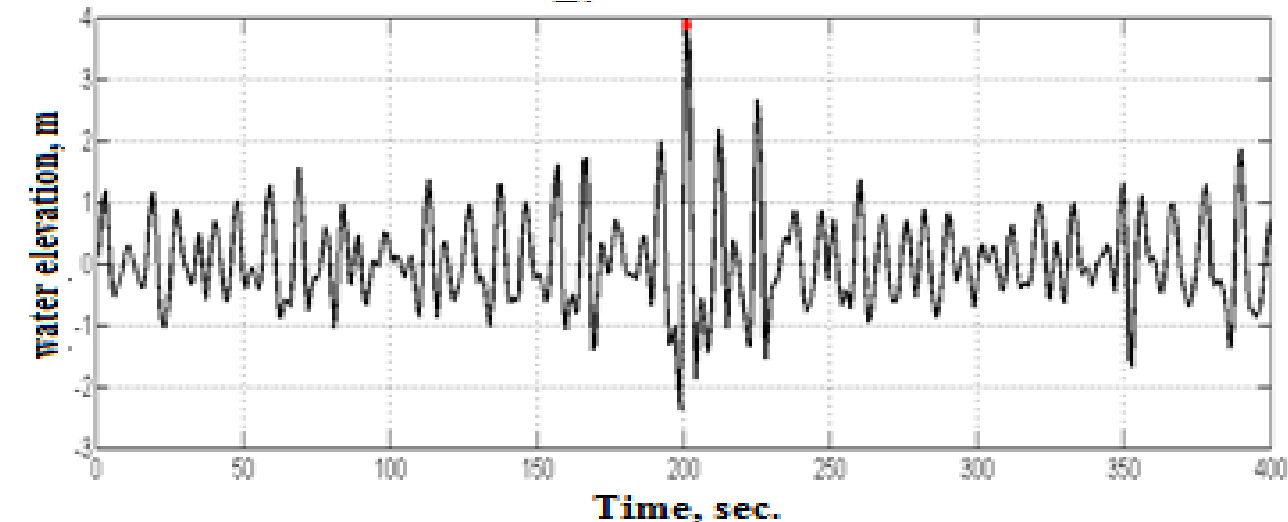
9 сентября



Волны-убийцы на м. Свободный (Сахалин)



08.12.2011,
height – 4.48 m,
 $H/H_s = 2.43$



24.12.2011,
height – 6.23 m,
 $H/H_s = 2.29$

Г.И. Долгих

доктор физ.-мат. наук, директор, академик

С.Г. Долгих

канд. физ.-мат. наук

В.В. Овчаренко

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

В.А. Чупин

канд. физ.-мат. наук

В.А. Швеиц

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

С.В. Яковенко

ведущий научный сотрудник

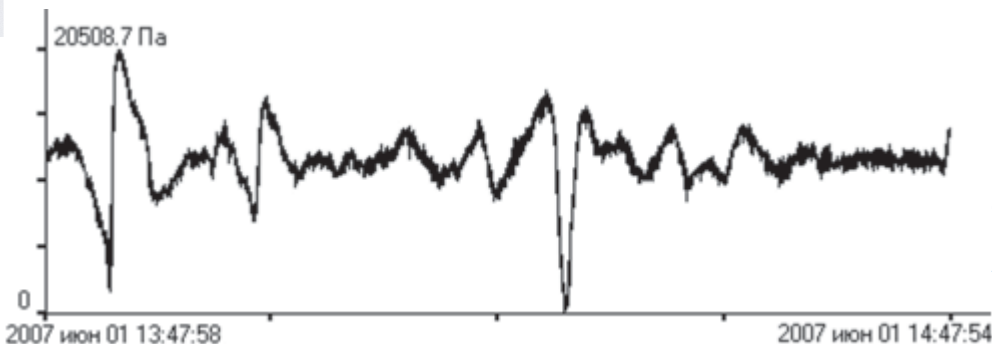
(ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт
им В.И. Ильичева ДВО РАН)

г. Владивосток, Российская Федерация

РЕГИСТРАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН ТИПА «ДВЕ СЕСТРЫ», «ТРИ СЕСТРЫ»

В статье обсуждаются результаты обработки и анализа экспериментальных данных, полученных на лазерном измерителе вариаций гидросферного давления при регистрации вариаций гидросферного давления на дне на шельфе Японского моря. Основное внимание уделено изучению физических механизмов возникновения нелинейных гидрофизических возмущений в диапазоне гравитационных и инфрагравитационных морских волн, относящихся к классу волн-убийц, амплитуды которых более чем в два раза превышают амплитуды граничащих сигналов данного диапазона периодов. Обнаружены классические нелинейные возмущения, относящиеся к волнам-убийцам «одна сестра», «две сестры», «три сестры». Возникновение их связано с взаимодействием гравитационных и инфрагравитационных морских волн зоны расположения регистрирующей аппаратуры. При спектральной обработке полученных экспериментальных данных выделены основные моды ветрового волнения и инфрагравитационных морских волн, ответственных за формирование наблюдаемых волн-убийц.

Ключевые слова: волны-убийцы, «две сестры», «три сестры», явление возврата.



**Участок записи лазерного
измерителя вариаций гидросферного
давления, установленного на дне
на глубине 27 м**

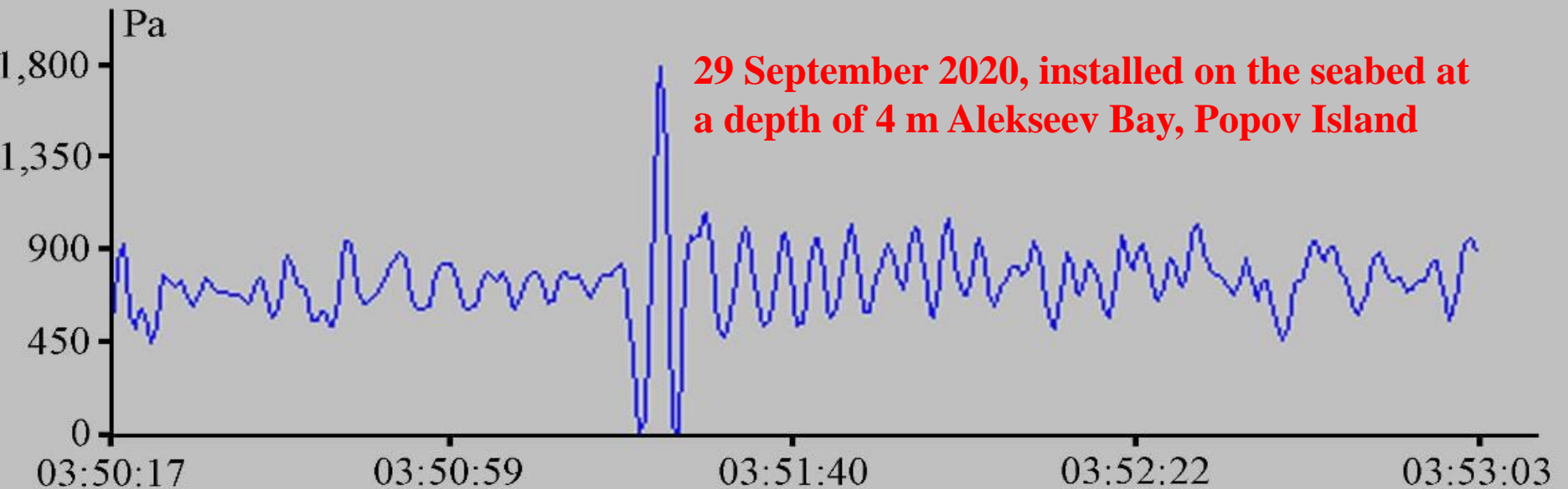
Article

Registration of Nonlinear Hydrophysical Disturbances—Rogue Waves in Full-Scale Conditions

Grigory Dolgikh , Stanislav Dolgikh *, Vladimir Chupin , Vladimir Ovcharenko, Vyacheslav Shvets and Sergey Yakovenko 

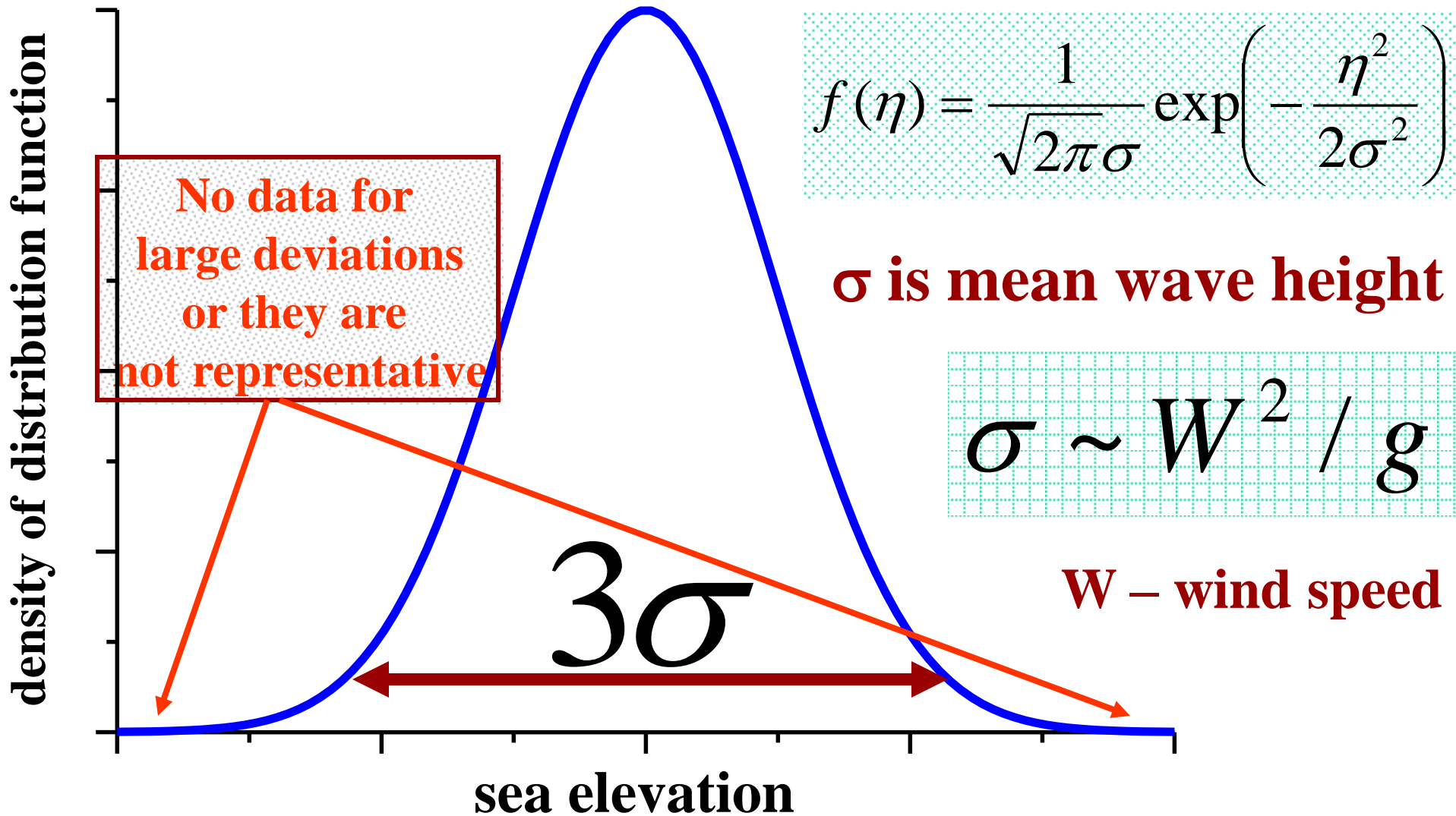
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences,
690041 Vladivostok, Russia

* Correspondence: sdolgikh@poi.dvo.ru



Why does large wave appear?

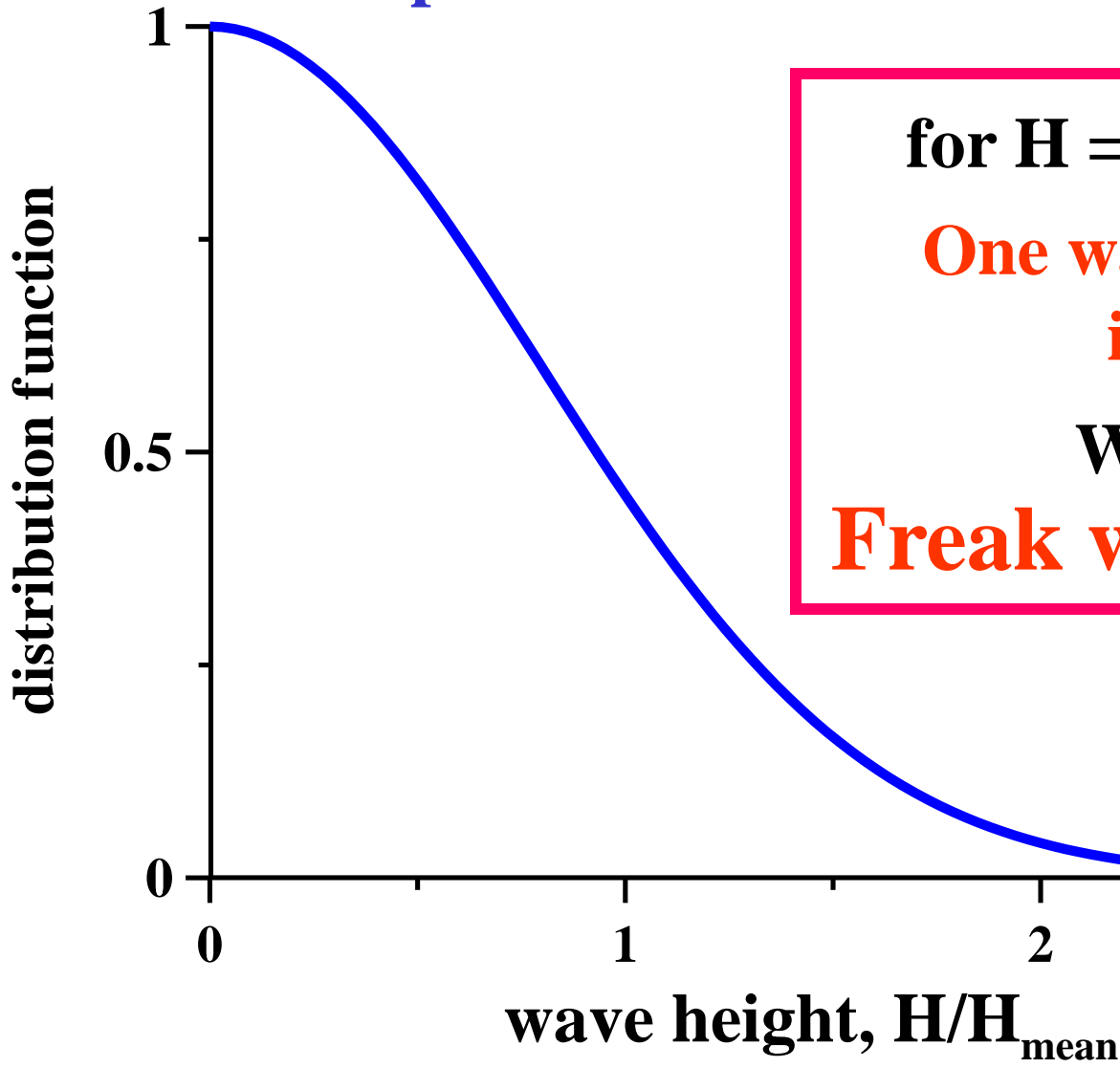
Wind wave field is quasi-Gaussian random process



“Gaussian” Prediction

Wind wave field
has narrow spectrum

$$P(H) = \exp\left(-\frac{2H^2}{H_s^2}\right)$$



for $H = 2H_s$ $P = 0.000336$

**One wave from 3000 waves
is a freak wave!**

Wave Period ~ 10 s,
Freak wave – each 10 hr!

**But who knows
extreme statistics?**

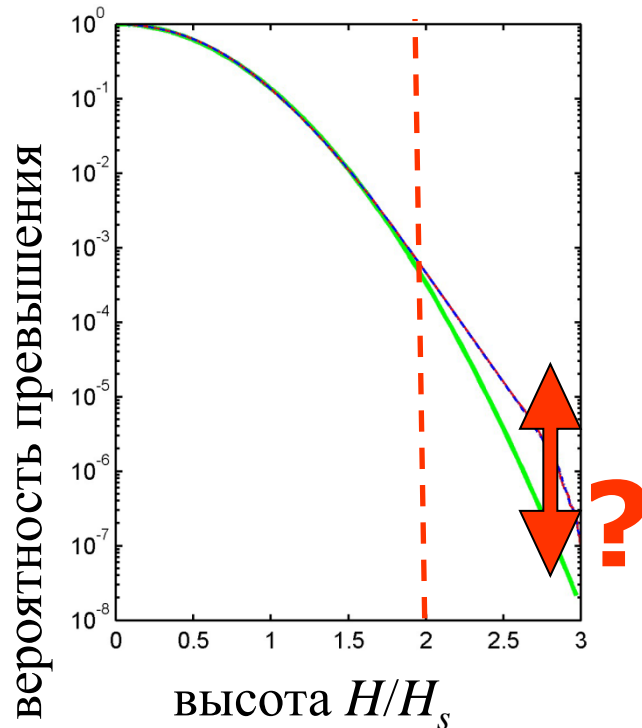
Волны как случайная суперпозиция гармоник

Распределение Рэля для высот волн

$$P(H) = \exp\left(-2 \frac{H^2}{H_s^2}\right)$$

$H = 2H_s \Rightarrow$ вероятность $3 \cdot 10^{-4}$ (одна волна за шторм)

$H = 3H_s \Rightarrow$ вероятность $1.5 \cdot 10^{-8}$ (~20 лет)



Нормы безопасности шельфовых платформ
(Norwegian Petroleum Directorate's regulations):

Ultimate Limit State: **1 раз в 100 лет** – заплеск без нарушения работоспособности и без травмирования персонала;

Accidental Limit State: **1 раз в 10 000 лет** – без разрушения платформы, возможность эвакуации, без существенного загрязнения

За одни сутки непрерывной записи: $9 \cdot 10^3$ волн
Банк данных Shell [Christou&Ewans'11]: $1.2 \cdot 10^8$ волн
(+ статистическая неоднородность, ошибки)

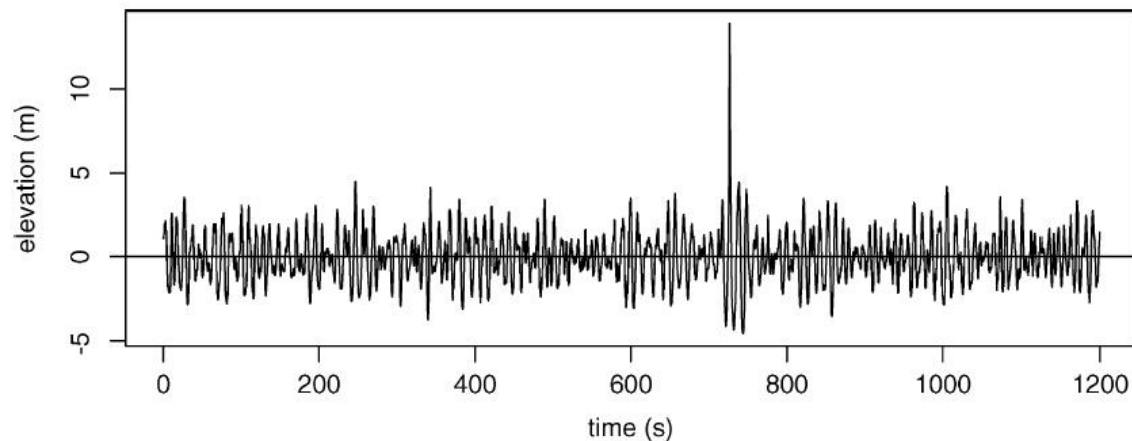
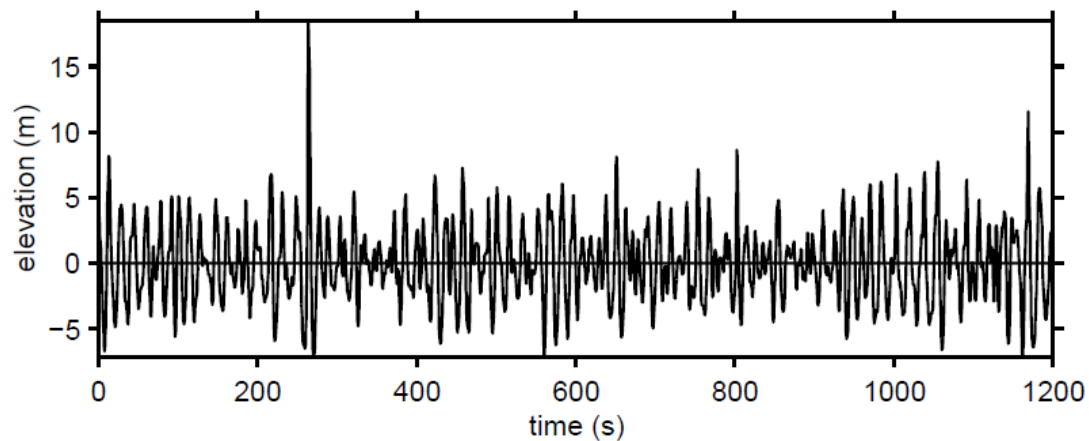
Одна волна в 10 тыс. лет: вероятность $3 \cdot 10^{-11}$,
для нее $H = 3.48H_s$

Редкие экстремальные события



Баренцево море: $H_{100y} = 24$ м,
Северное море: $H_{100y} = 24-30$ м
[Лопатухин и др., 2003; Haver, 2005]

Haver (2005): вероятность
высоты гребня Новогодней
волны: **~1 раз в 10 тыс. лет.**



Stansell (2005): вероятность
наиболее экстремального
события по данным
измерений в Северном море
 $H/H_s = 3.19$ **недооценена в
~300 раз.**

Mechanisms:

- **Wave – current interaction**

- wave blocking,
- random caustics.

- **Wave – bottom interaction**

- focuses, shallow water only
- random caustics.

- **“Itself” wave dynamics**

- temporal-spatial focusing,
- **modulation instability.** deep water only

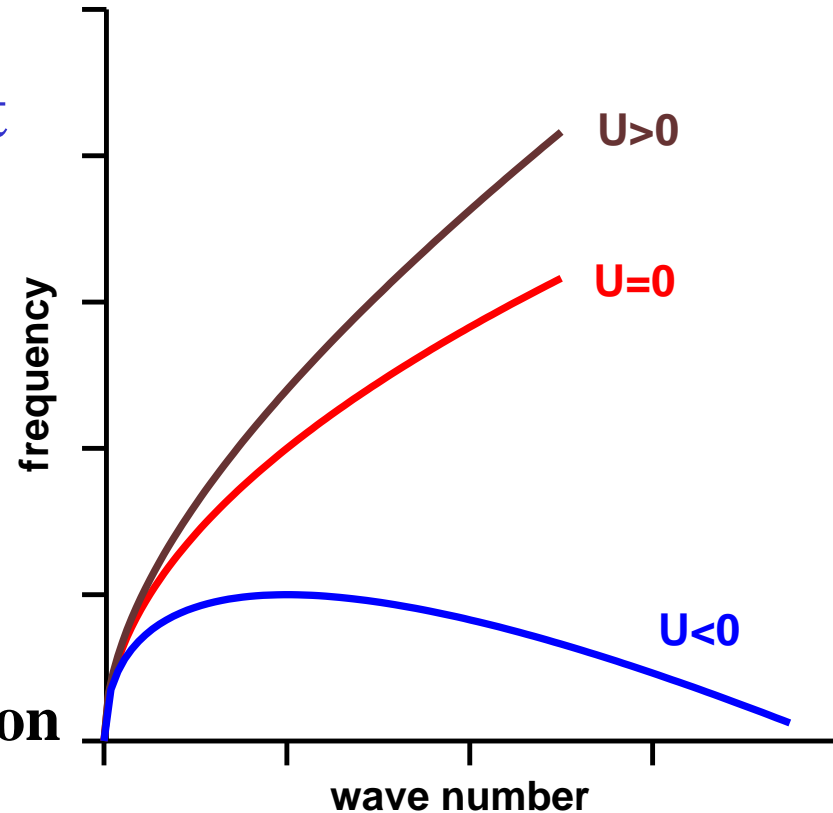
Wave – Current Interactions

□ Blocking on opposite current

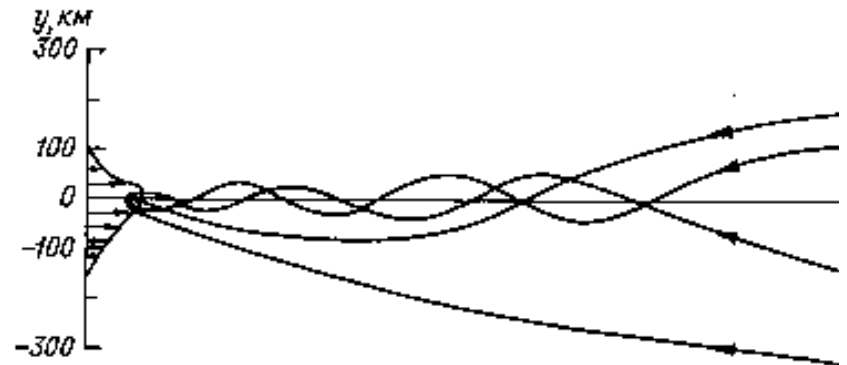
$$\omega = \sqrt{gk} + \vec{k} \vec{U}(x, y)$$

blocking at $c_{gr} = -U(x)$

Models: energy balance equation,
nonlinear Schrodinger equation



□ Random Caustics



Wave – Current Interaction

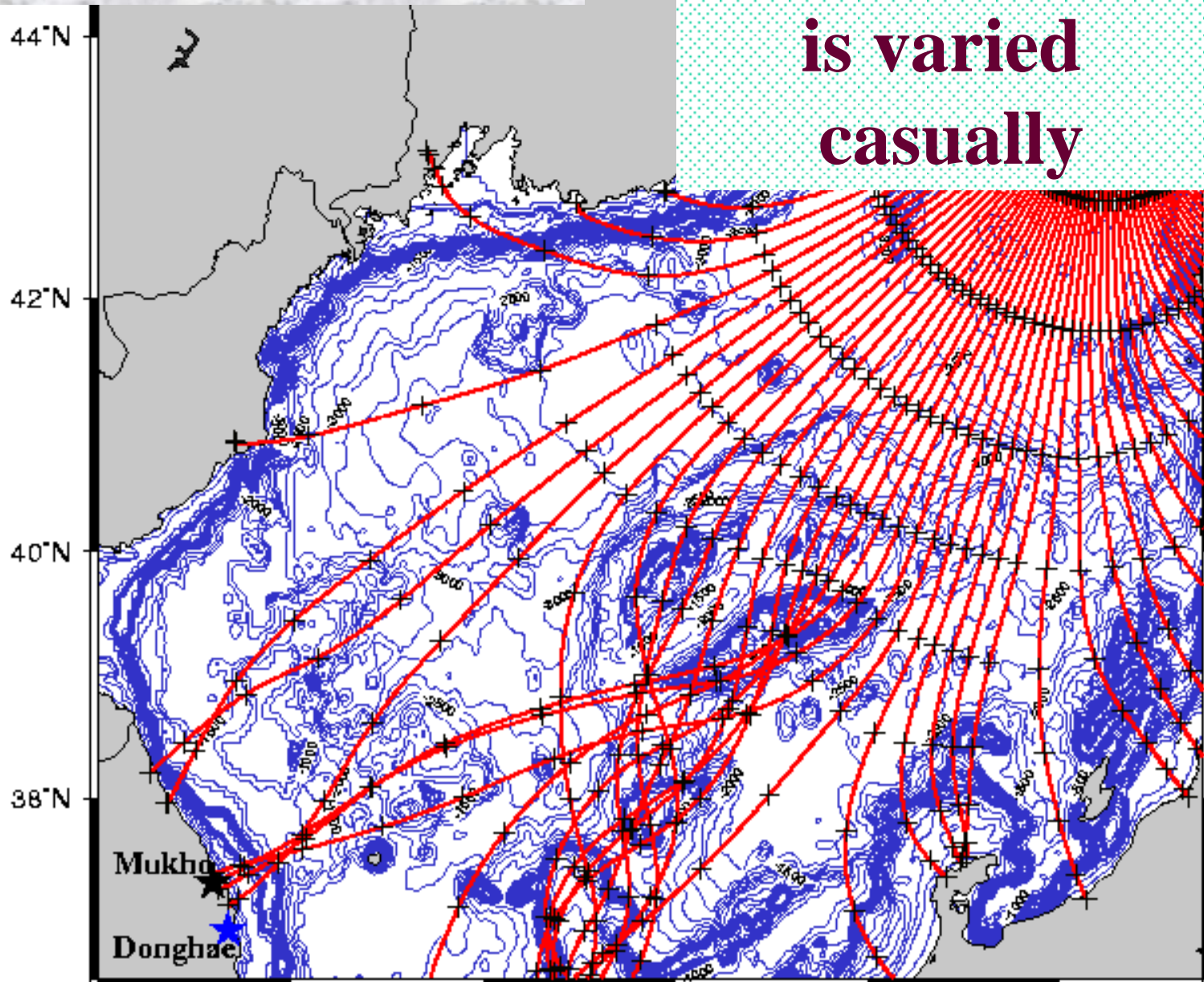
**Indian River Inlet,
Delaware, USA**



Wave Bottom Interactions

134
Wind direction
is varied
casually

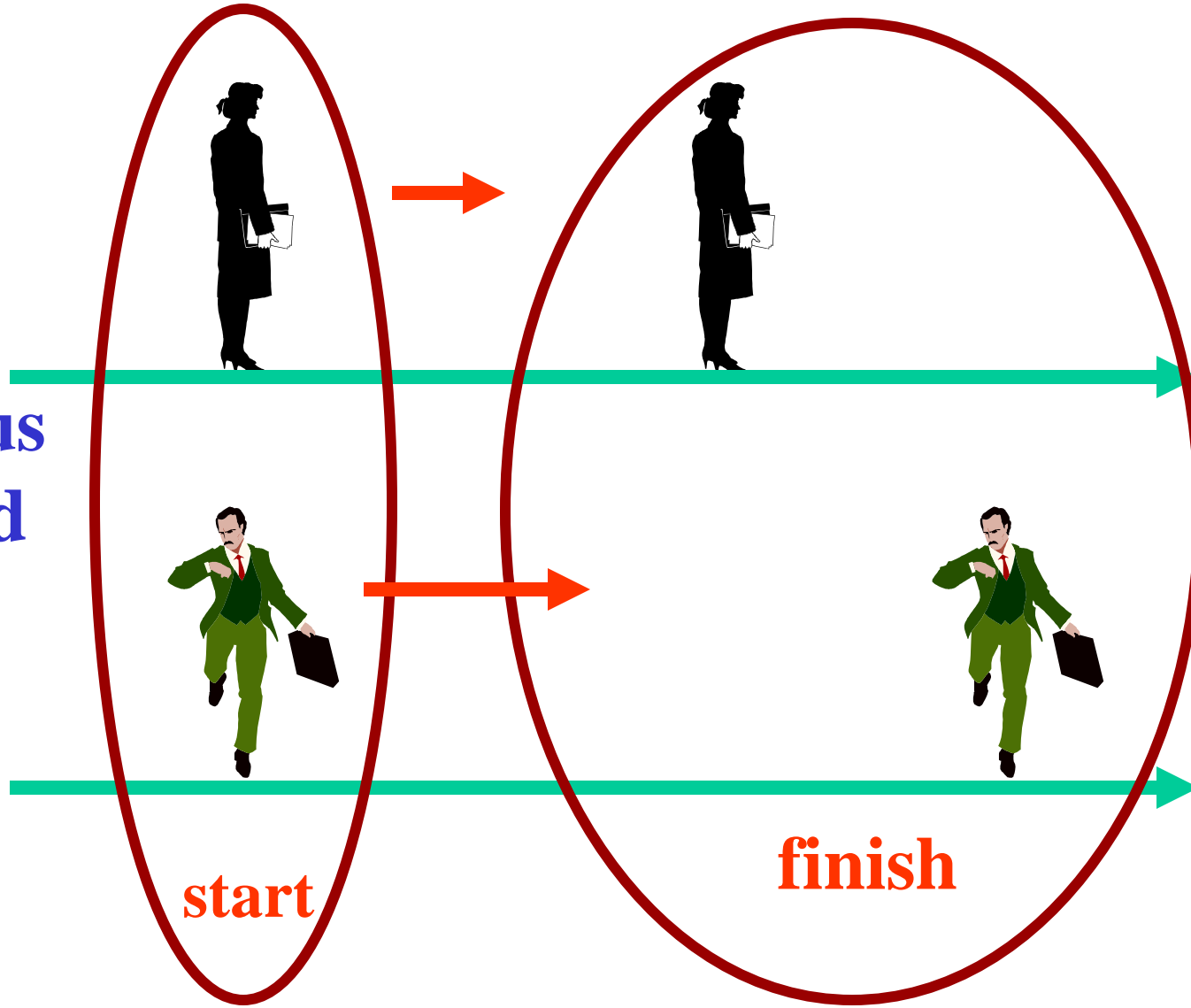
*Shallow
Water
only*



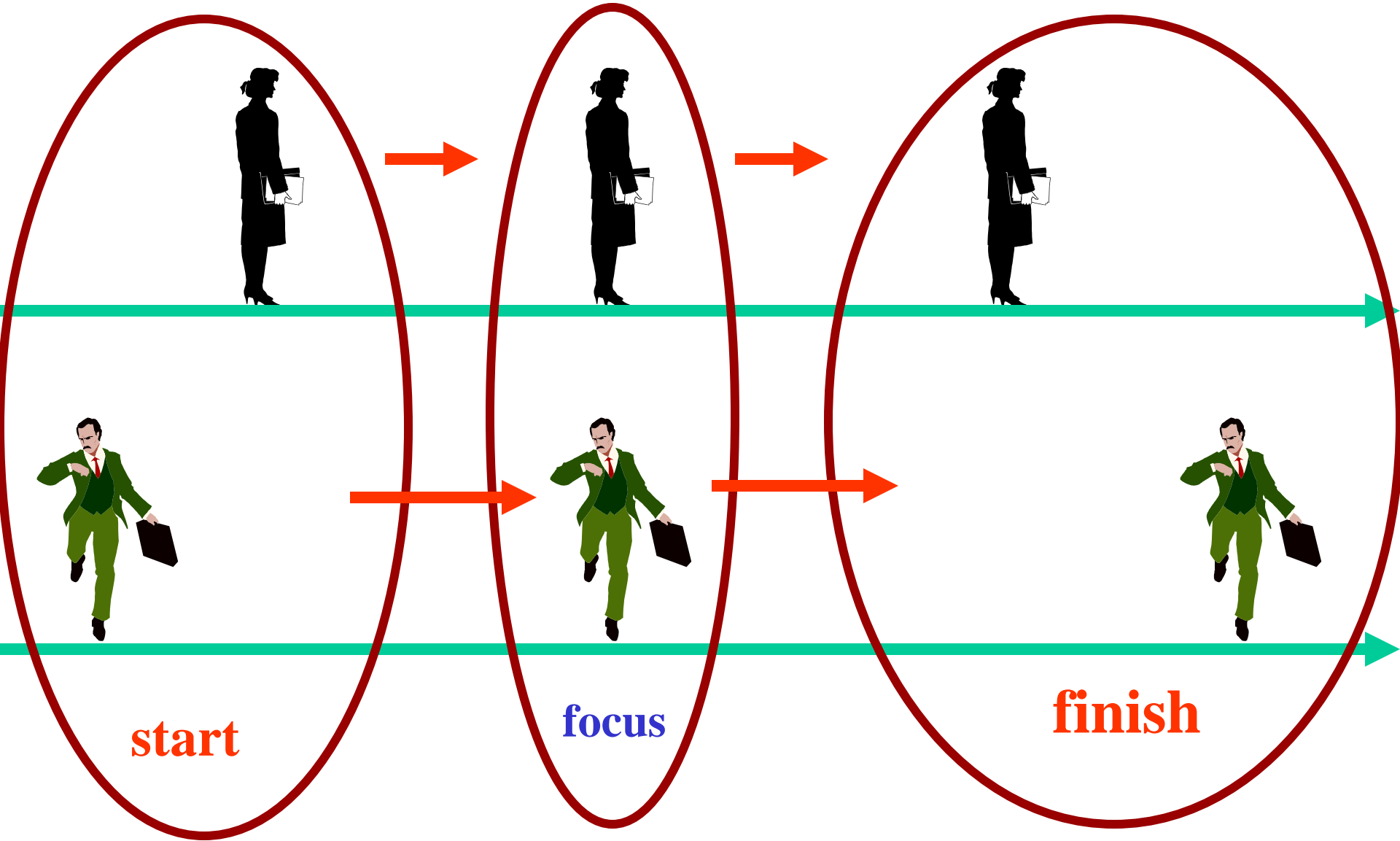
**Random
Focues,
Caustics**

Mechanism of Wave Focusing

Wave
as each from us
has own speed



Mechanism of Wave Focusing



start

focus

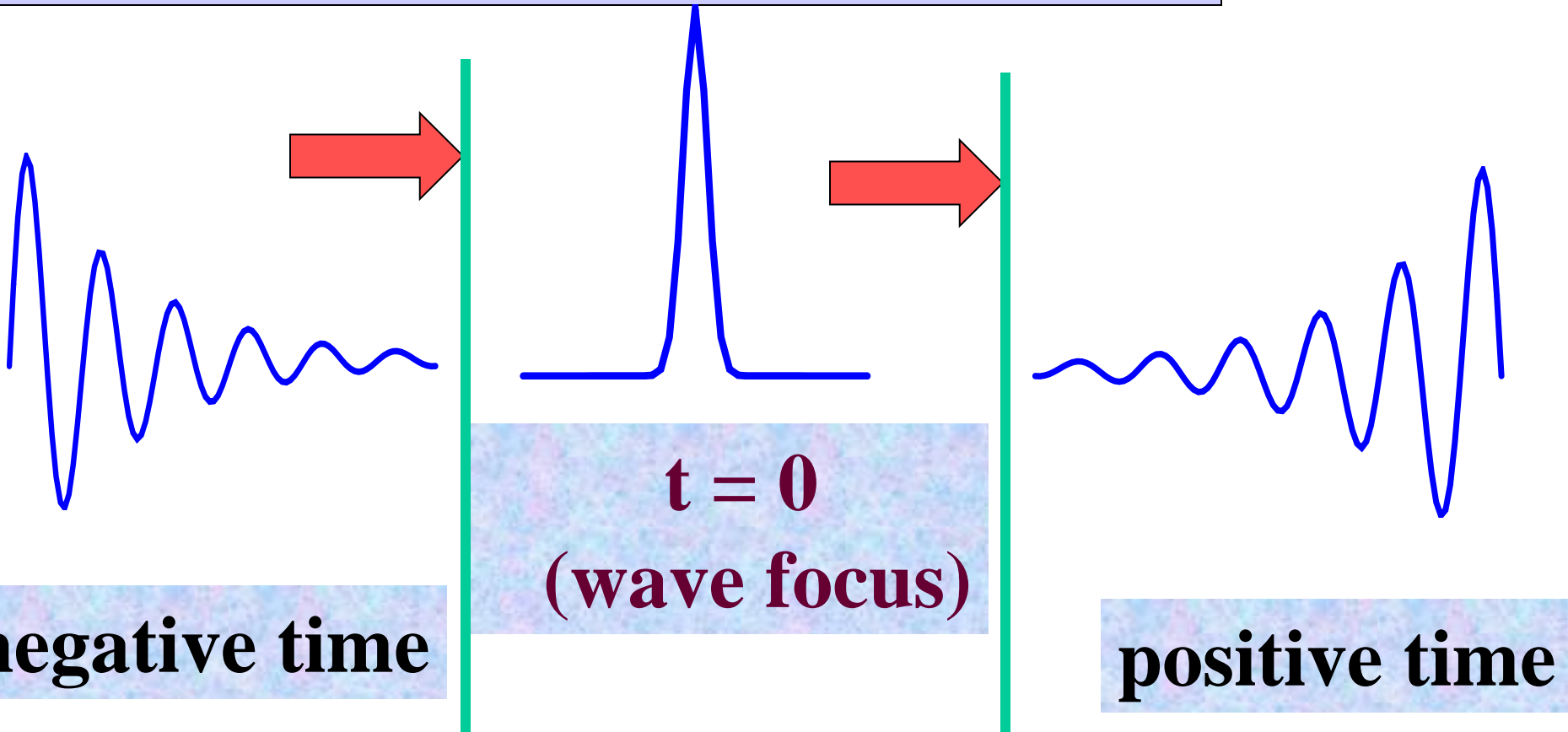
finish

Meeting point

Dispersion Enhancement

Physics:

Phase speed is $c(k)$



Who is **responsible** for frequency modulated wave

Focused in the **Freak Wave** ?

Of course, **WIND**

But variable wind!

Waves are generated by resonant wind:

$$c_{ph}(k) \sim W$$

Light Wind generates **Slow (Short)** Waves,

Strong Wind generates **Fast (Long)** Waves.

And Long Waves overtake Short Waves (Focusing)

Deep water waves

The Ninth Wave
by Ivan Aivazovsky (1850)

The nonlinear Schrodinger equation

$$i \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\omega_0}{2k_0} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\omega_0}{8k_0^2} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\omega_0 k_0^2}{2} |A|^2 A = 0$$

The similarity parameter for the NLS e

$$\sqrt{\frac{\text{nonlinearity}}{\text{dispersion}}} \propto \frac{\text{steepness}}{\text{bandwidth}} \propto \frac{k_0 \eta_{rms}}{\Delta k / k_0}$$

$$\boxed{BFI = \sqrt{2sn_t}} \quad - \text{ Benjamin-Feir Index [Onorato et al, 2001; Janssen, 2003]}$$

Dimensionless steepness: $s = k_0 \eta_{rms}$

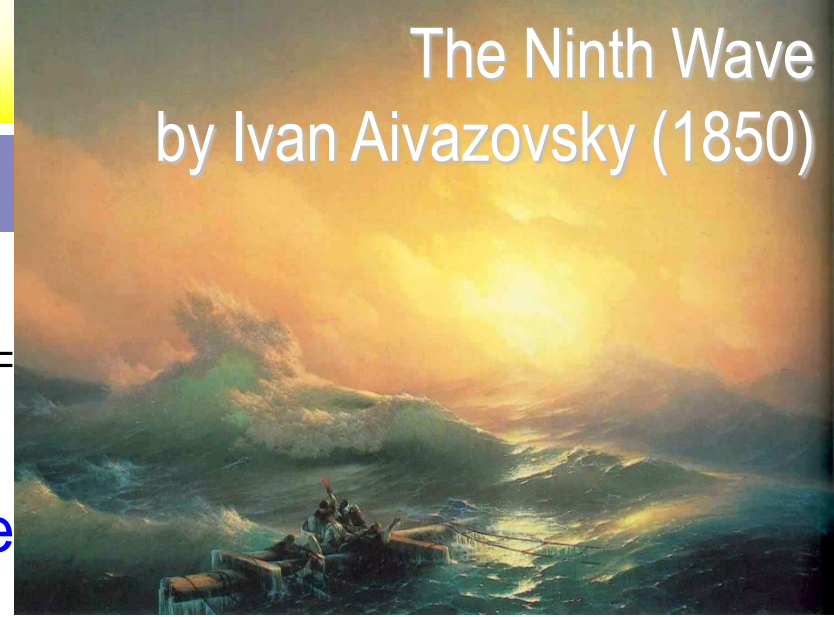
Number of individual waves within the group: $n_t = 2 \cdot n_x$

Typical groups in the open sea should consist of 5-10 waves

Waves with **BFI > 1** are modulationally unstable

(Benjamin – Feir instability, 1967)

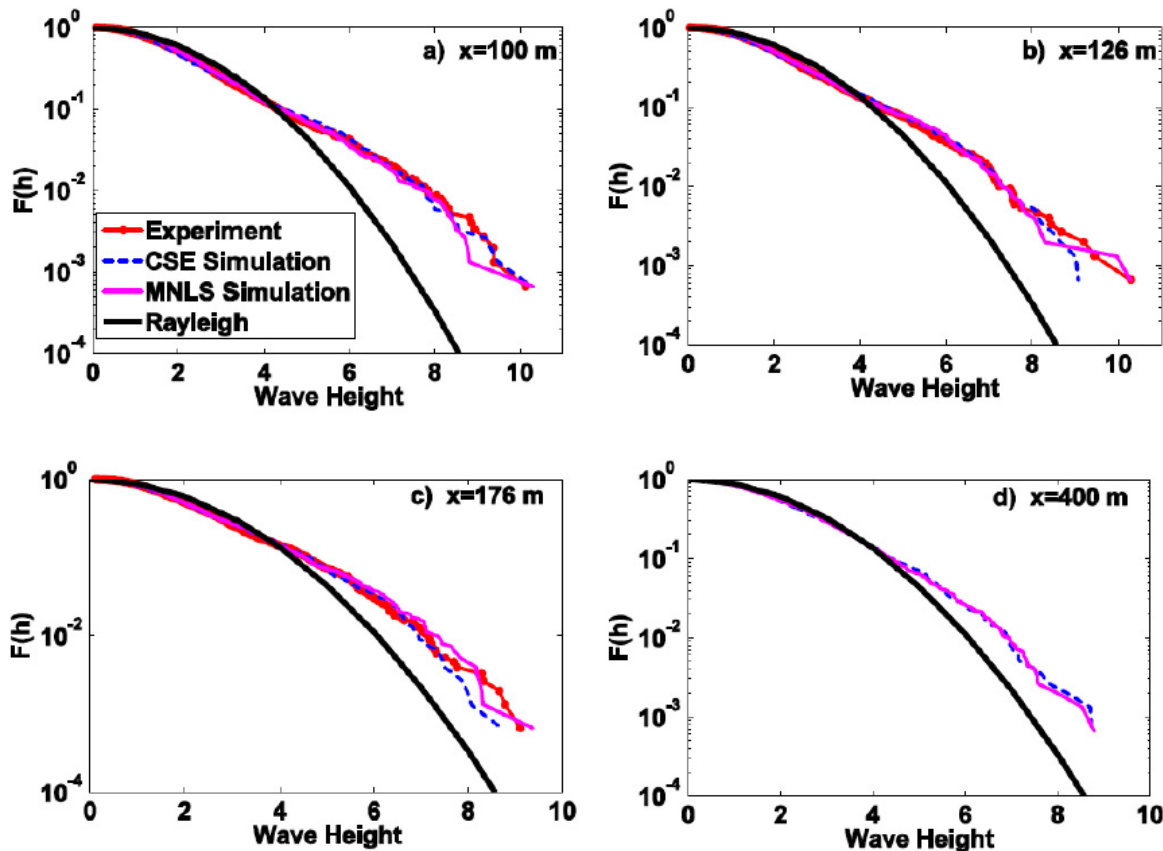
[Alber, 1978]



Validation in laboratory flumes

Benjamin – Feir Index

Exceedance Probability Functions for large BFI



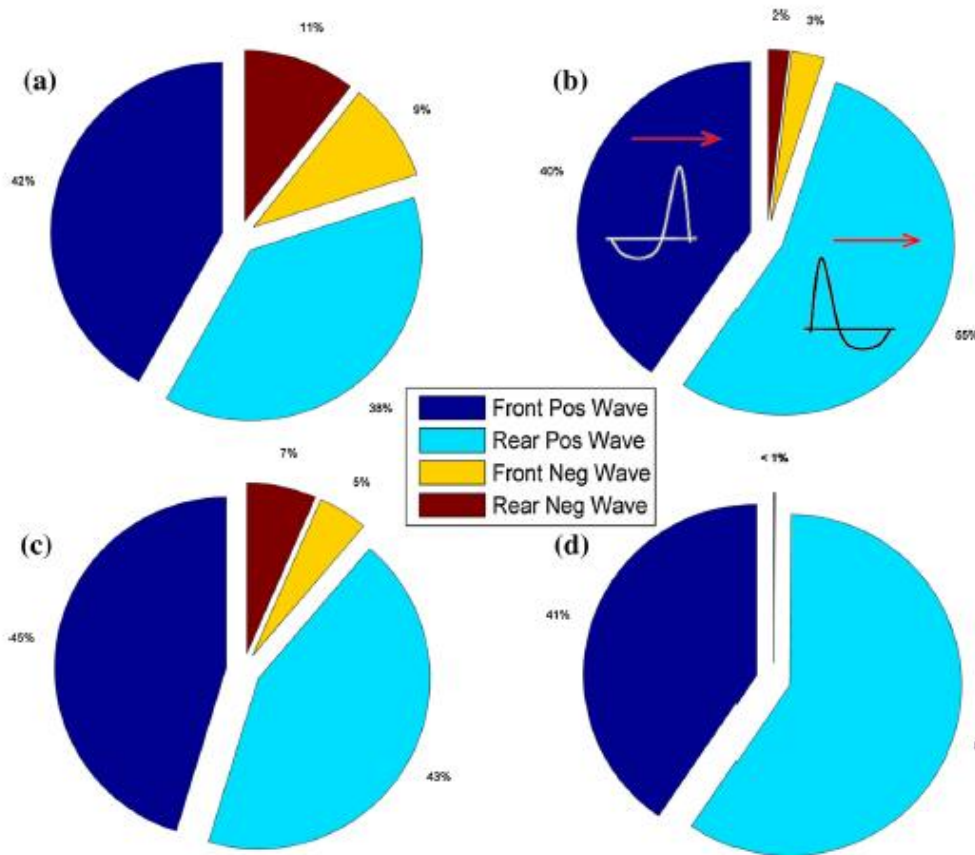
Findings from laboratory and numerical simulations:

1. Probability of large waves increase significantly when waves are modulationally unstable ($BFI > 1$)
2. The wave dynamics may be described rather accurately by the potential models and by NLS-type equations

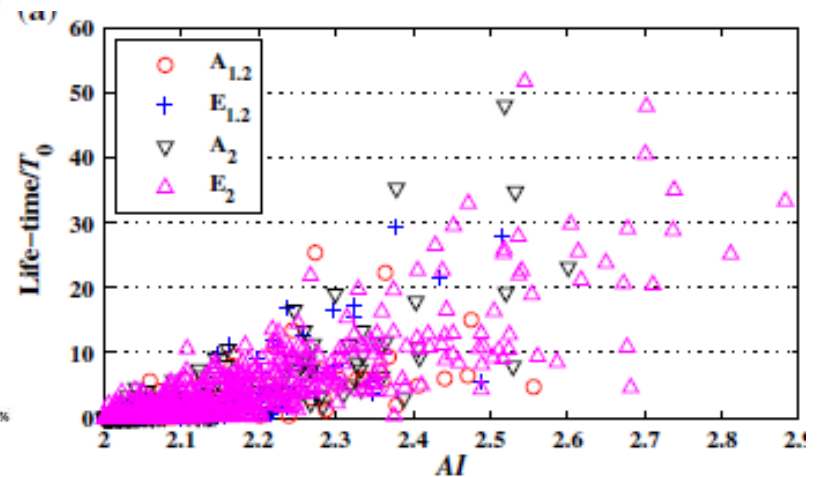


Rogue events in spatiotemporal numerical simulations of unidirectional waves in basins of different depth

A. Slunyaev^{1,2} · A. Sergeeva^{1,2} · I. Didenkulova^{1,2,3}



Typical freak wave shapes and their life-times



Rogue waves in mathematics

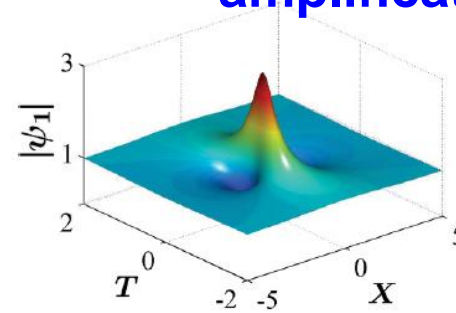
$$i \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + 2|A|^2 A = 0$$

Super-rogue-waves [multi-breathers]

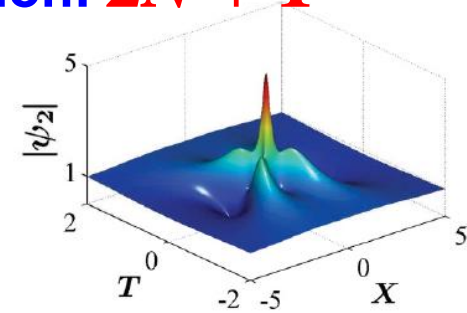
Rational breather solutions
(**homoclinic orbits**)
are frequently identified
with **rogue waves**

Up to ~ 12-order rational
breather solutions have
been derived analytically
[Dubard et al]

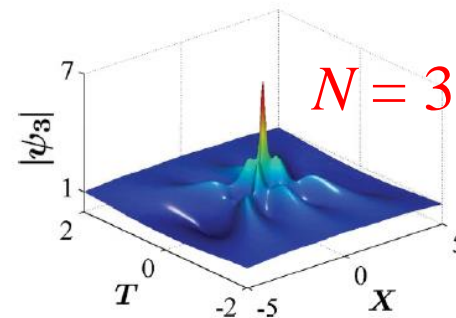
Maximum wave amplitude
amplification: $2N + 1$



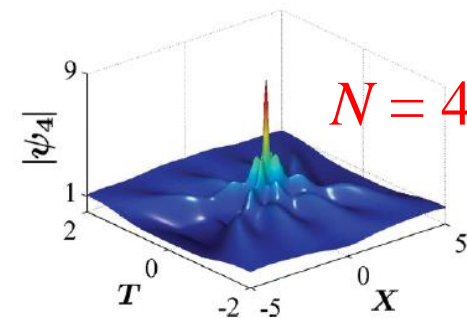
$N = 1$



$N = 2$



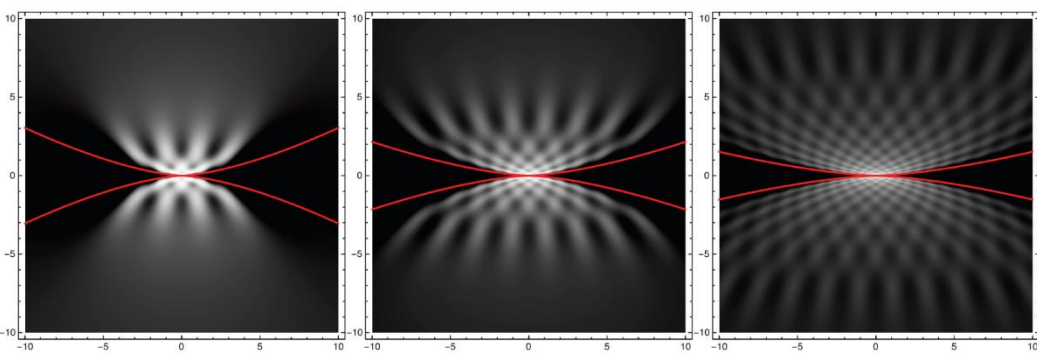
$N = 3$



$N = 4$

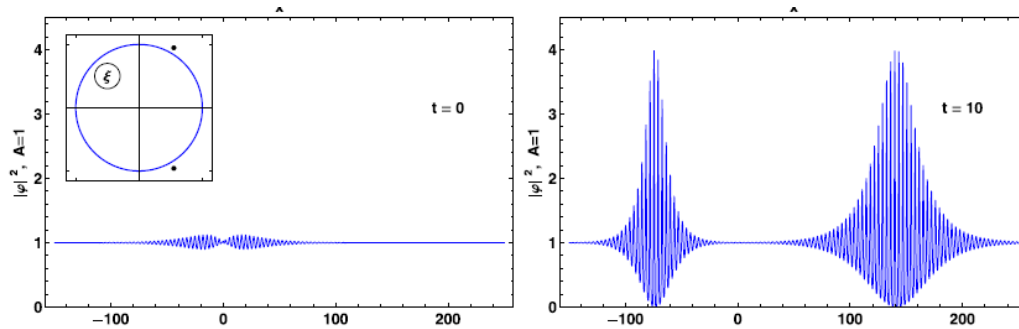
Rogue waves in mathematics

Infinite-order breathers



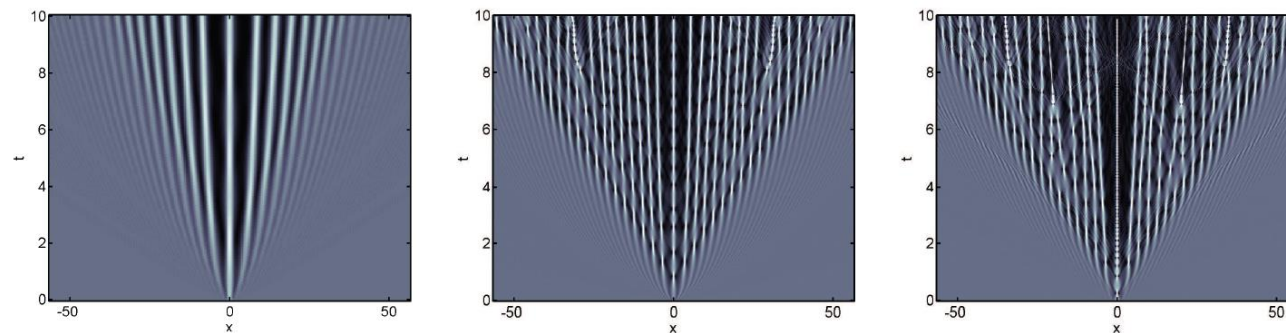
[Bilman et al, 2018]

Superregular solutions



[Gelash & Zakharov, 2014]

Development of the unstable background (condensate)



[Biondini et al, 2018]

Long-living non-linear wave groups

Long-living short groups of steep waves have been observed in laboratory experiment.

They are strongly nonlinear and strongly modulated, but still have much similarity with the NLS envelope solitons.

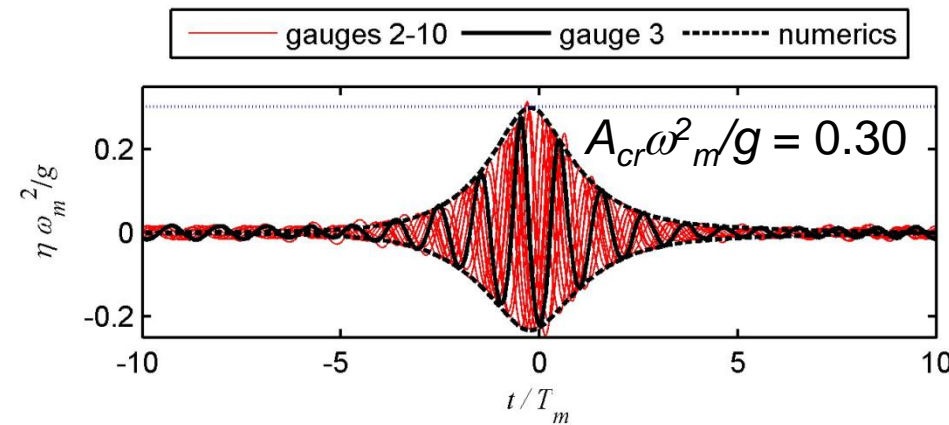
Most importantly – they exist in nature!

The NLS equation is a reasonable first approximation for their description.

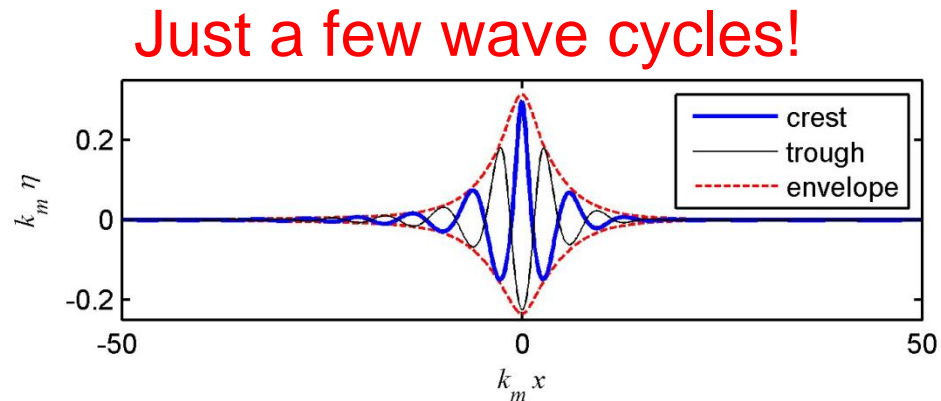
If such groups could be revealed in the field of sea waves, this method might be used for **predicting dangerous waves** for some time horizon

[Slunyaev et al 2013, 2017]


Time series



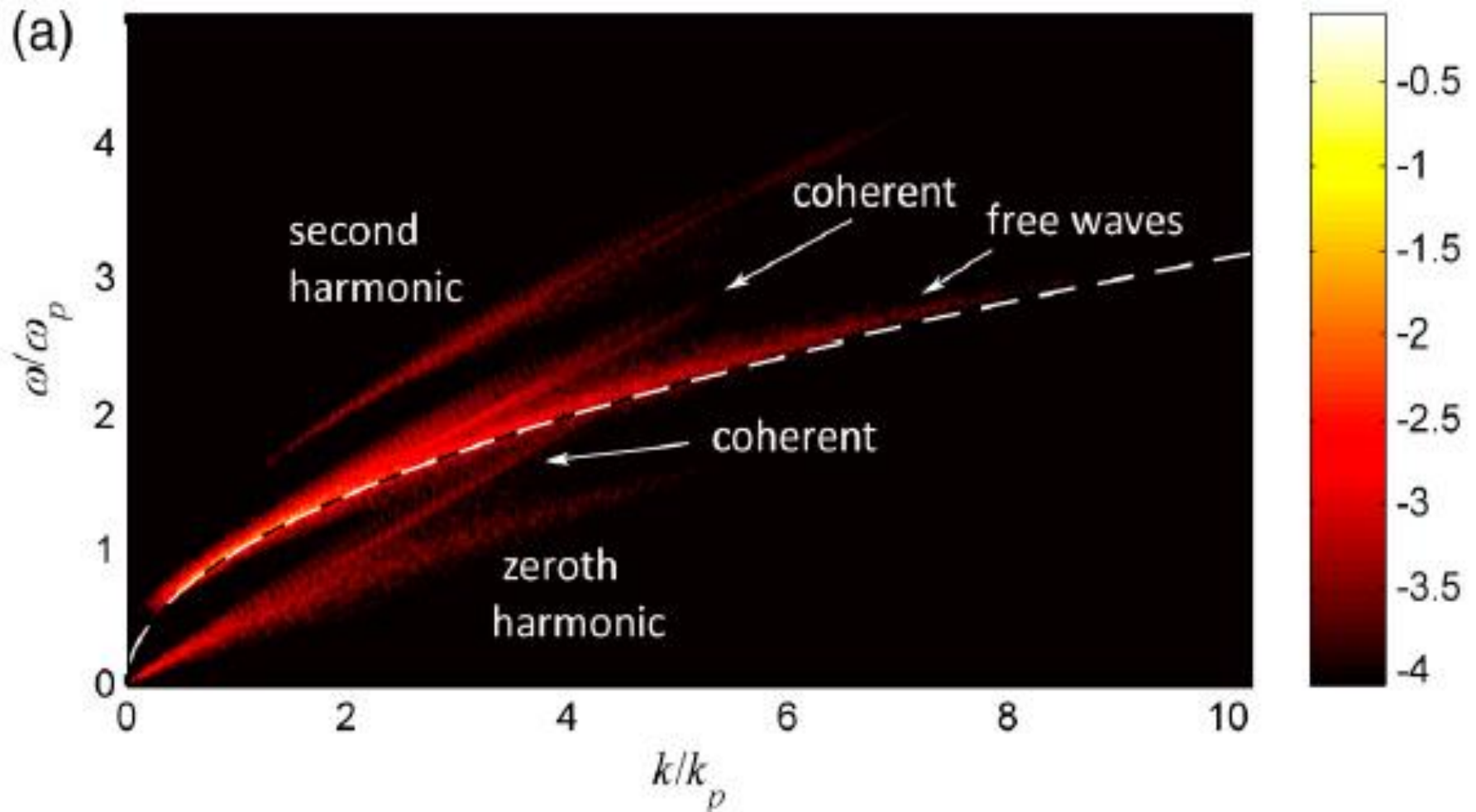
Snapshots



Effects of coherent dynamics of stochastic deep-water waves

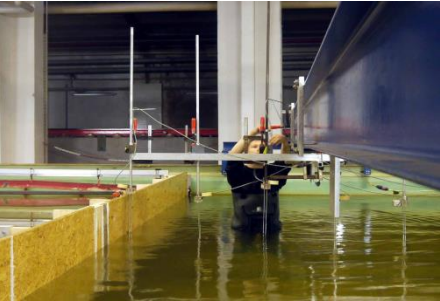
A. V. Slunyaev 

PHYSICAL REVIEW E **101**, 062214 (2020)

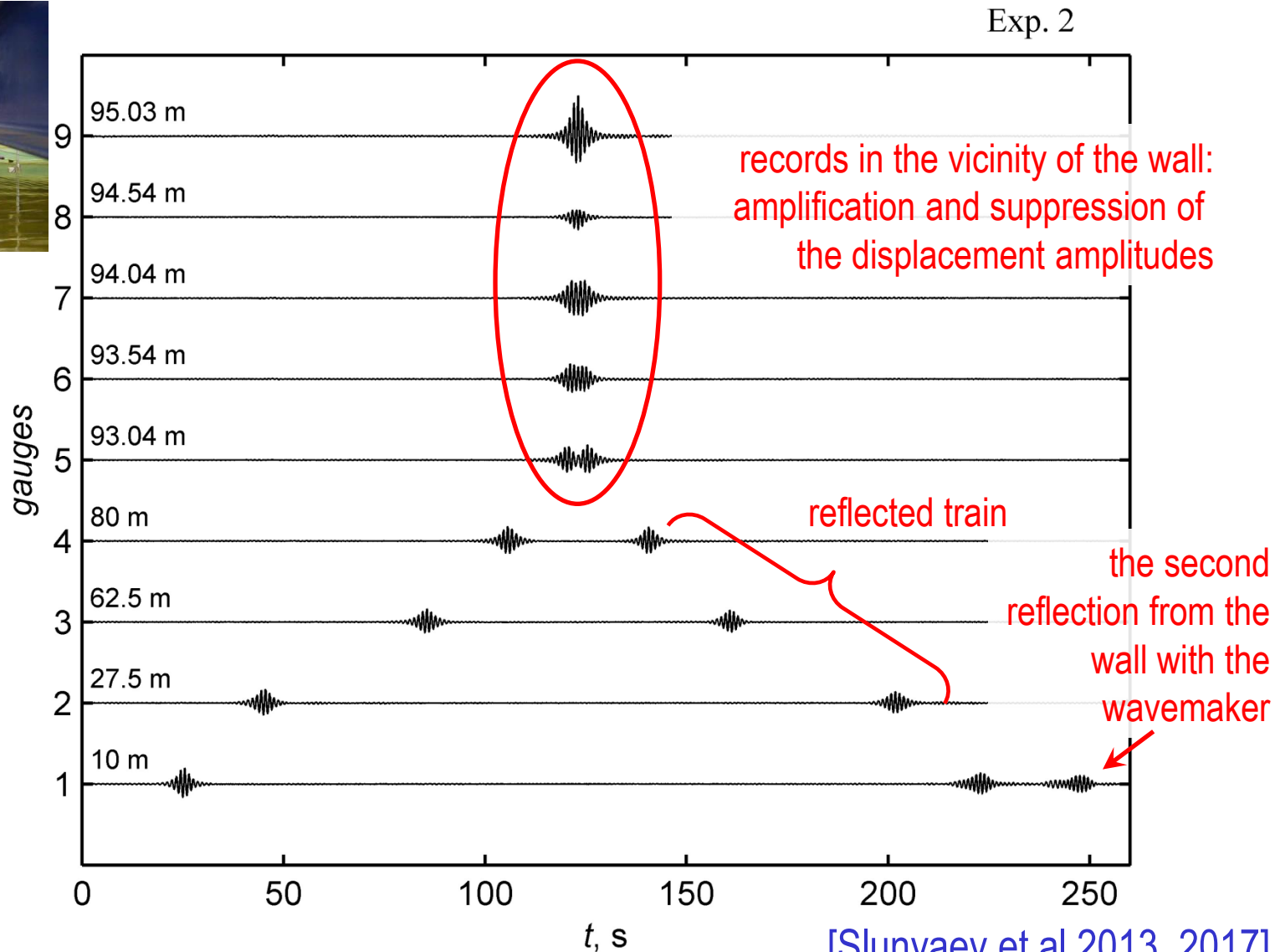


Long-living non-linear wave groups

Collision of intense solitons in laboratory experiments



Technical Univ.
of Berlin



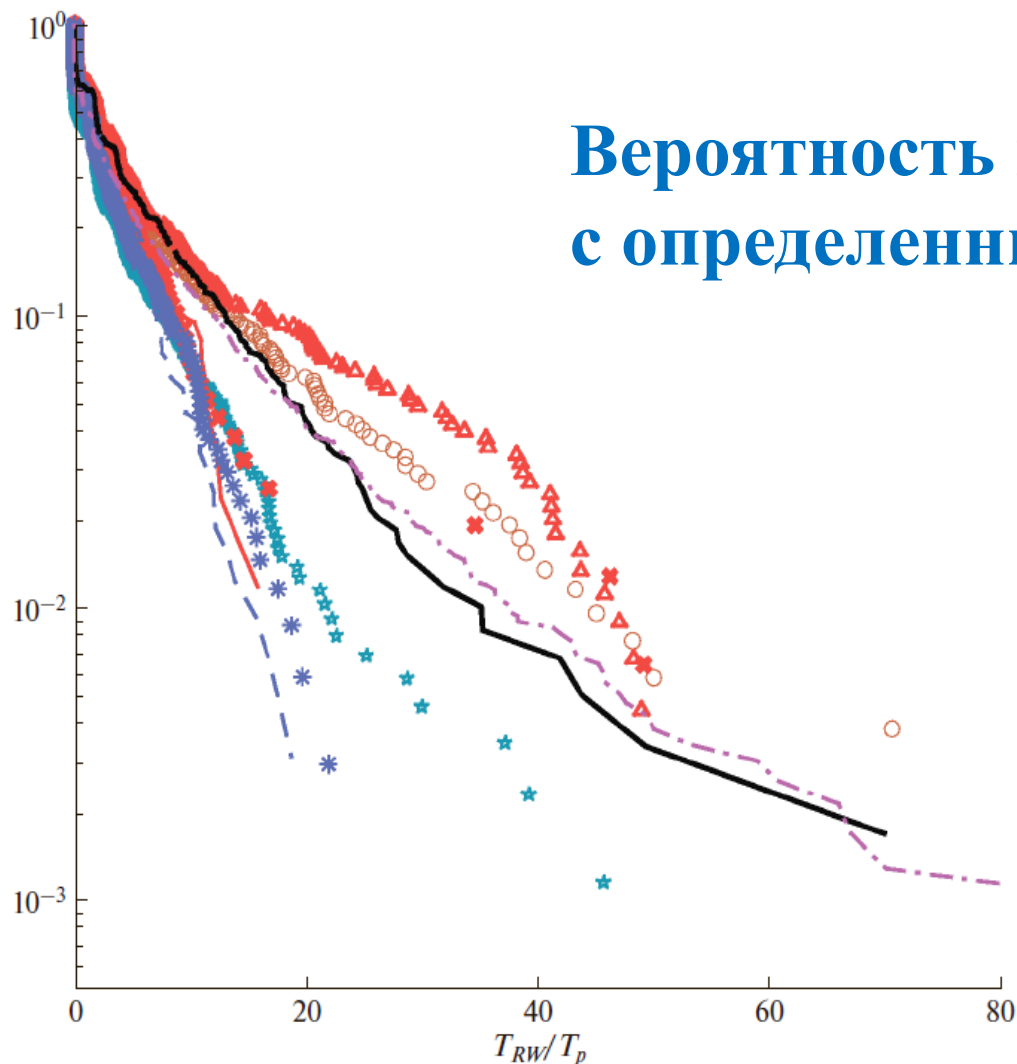
[Slunyaev et al 2013, 2017]

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ “ВОЛН-УБИЙЦ” НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАМКАХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА

© 2020 г. А. В. Слюняев^{a, b, c, *}, А. В. Кокорина^{a, b, **}

ИЗВЕСТИЯ РАН. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА, 2020, том 56, № 2, с. 210–223

Вероятность появления волн-убийц с определенным временем жизни



Action on Ship Design

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

RESEARCH DIRECTORATE-GENERAL

SP1-Cooperation

Collaborative project

Small or medium-scale focused research project

FP7-SST-2008-RTD-1

Grant Agreement Number 234175

EXTREME SEAS

Design for Ship Safety in Extreme Seas

SCP8-GA-2009-234175

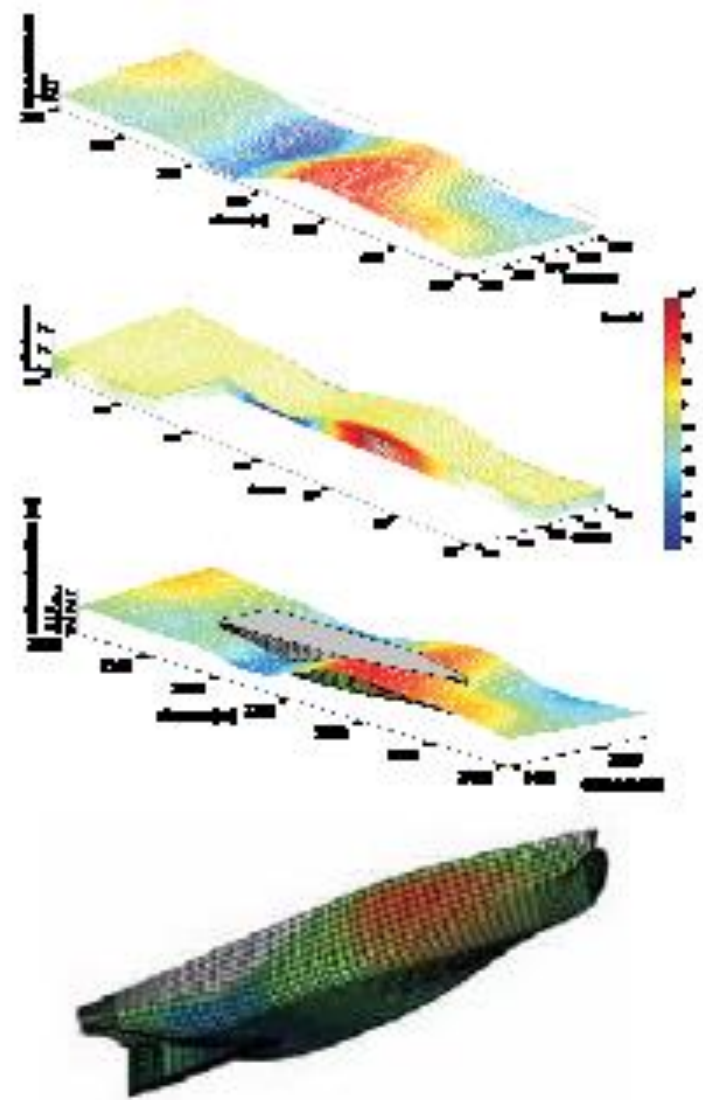


Fig. 16. Model of the investigated Ro/Ro vessel.

Fig. 15. Irregular short crested sea state (top); slice through the irregular short crested wave field and distribution of the dynamic pressure calculated by adaptive Airy-theory (2nd from top); irregular short crested sea state and pressure distribution on ship hull (3rd from top); Dynamic pressure distribution along a ship hull calculated by adapted Airy-theory (blue indicates negative dynamic pressure, red indicates positive dynamic pressure (below)).

Forecast based on time-series processing

Rogue waves and entropy consumption

ALI HADJIHOSEINI¹, PEDRO G. LIND², NOBUHITO MORI³, NORBERT P. HOFFMANN^{4,5} and JOACHIM PEINKE¹

¹ *Institute of Physics and ForWind, Carl-von-Ossietzky University of Oldenburg - Oldenburg, Germany*

² *Institute of Physics, University of Osnabrück - Osnabrück, Germany*

³ *Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University - Kyoto, Japan*

⁴ *Hamburg University of Technology - 21073 Hamburg, Germany*

⁵ *Imperial College - London SW7 2AZ, UK*


received 19 September 2017; accepted in final form 9 January 2018
published online 2 February 2018

PACS 05.10.Gg – Stochastic analysis methods (Fokker-Planck, Langevin, etc.)

PACS 05.20.Jj – Statistical mechanics of classical fluids

PACS 02.50.Fz – Stochastic analysis

Abstract – Based on data from the Sea of Japan and the North Sea the occurrence of rogue waves is analyzed by a scale-dependent stochastic approach, which interlinks fluctuations of waves for different spacings. With this approach we are able to determine a stochastic cascade process, which provides information of the general multipoint statistics. Furthermore the evolution of single trajectories in scale, which characterize wave height fluctuations in the surroundings of a chosen location, can be determined. The explicit knowledge of the stochastic process enables to assign entropy values to all wave events. We show that for these entropies the integral fluctuation theorem, a basic law of non-equilibrium thermodynamics, is valid. This implies that positive and negative entropy events must occur. Extreme events like rogue waves are characterized as negative entropy events. The statistics of these entropy fluctuations changes with the wave state, thus for the Sea of Japan the statistics of the entropies has a more pronounced tail for negative entropy values, indicating a higher probability of rogue waves.

 Copyright © EPLA, 2018

Возможен ли прогноз?

IOP Publishing

New J. Phys. 18 (2016) 013017

doi:10.1088/1367-2630/18/1/013017

New Journal of Physics

The open access journal at the forefront of physics

Deutsche Physikalische Gesellschaft  DPG
IOP Institute of Physics

Published in partnership
with: Deutsche Physikalische
Gesellschaft and the Institute
of Physics



PAPER

Capturing rogue waves by multi-point statistics

OPEN ACCESS

A Hadjihosseini¹, Matthias Wächter¹, N P Hoffmann^{2,3} and J Peinke^{1,4}

¹ Universität Oldenburg, D-26111 Oldenburg, Germany

² Hamburg University of Technology, D-21073 Hamburg, Germany

³ Imperial College, London SW7 2AZ, UK

⁴ Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology, Ammerländer Heerstr. 136, DE-26129 Oldenburg, Germany

E-mail: ali.hadjihossini@uni-oldenburg.de

RECEIVED
1 September 2015

ACCEPTED FOR PUBLICATION
7 December 2015

PUBLISHED
12 January 2016

Original content from this
work may be used under
the terms of the Creative
Commons Attribution 3.0
licence.

Any further distribution of
this work must maintain
attribution to the
author(s) and the title of
the work, journal citation
and DOI.



Keywords: Stochastic process, complex systems, multi-point statistics, rogue wave, prediction

Abstract

As an example of a complex system with extreme events, we investigate ocean wave states exhibiting rogue waves. We present a statistical method of data analysis based on multi-point statistics which for the first time allows the grasping of extreme rogue wave events in a highly satisfactory statistical manner. The key to the success of the approach is mapping the complexity of multi-point data onto the statistics of hierarchically ordered height increments for different time scales, for which we can show that a stochastic cascade process with Markov properties is governed by a Fokker–Planck equation. Conditional probabilities as well as the Fokker–Planck equation itself can be estimated directly from the available observational data. With this stochastic description surrogate data sets can in turn be generated, which makes it possible to work out arbitrary statistical features of the complex sea state in general, and extreme rogue wave events in particular. The results also open up new perspectives for forecasting the occurrence probability of extreme rogue wave events, and even for forecasting the occurrence of individual rogue waves based on precursory dynamics.

The approach does not take into account the wavelike nature of rogue waves

'Artificial intelligence'

Ocean Engineering 169 (2018) 270–280



Contents lists available at ScienceDirect

Ocean Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/oceaneng



Development of a warning model for coastal freak wave occurrences using an artificial neural network



Dong-Jiing Doong^{a,*}, Jen-Ping Peng^b, Ying-Chih Chen^a

^a Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Tainan
^b Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemuende (IOW), Rostock, Germany

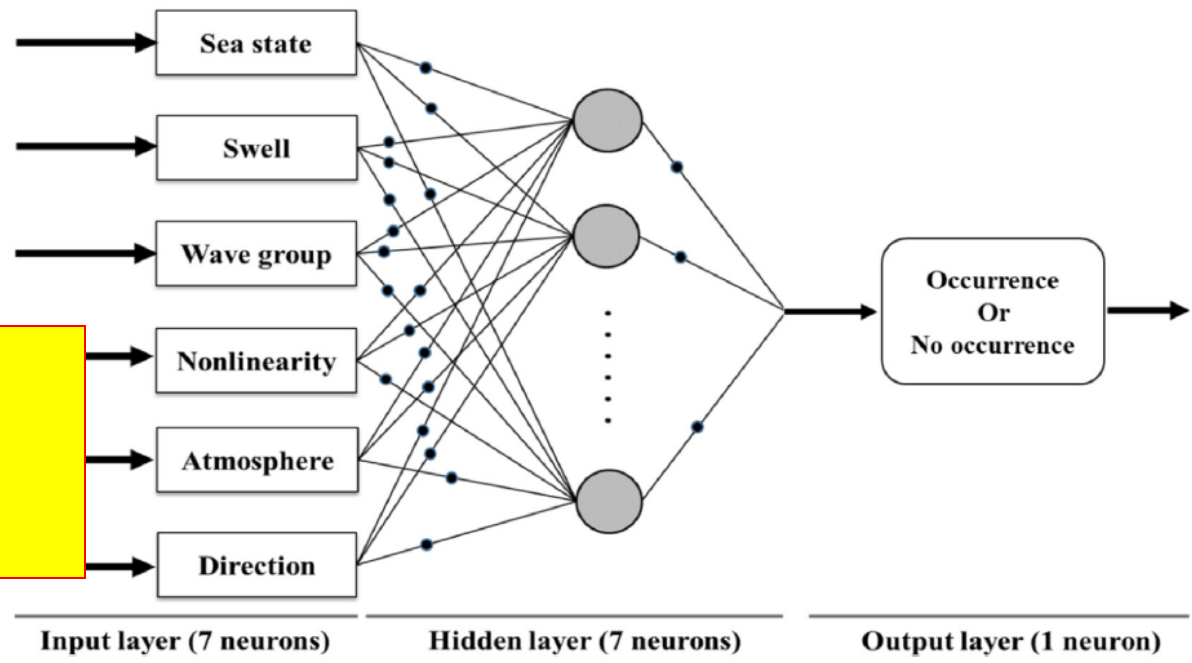
ARTICLE INFO

Keywords:
Coastal freak wave
Artificial neural network
Warning model
Data buoy

ABSTRACT

The potential for coastal freak waves generated via the evolutionary mechanism of their formation. An artificial neural network (ANN) is proposed to predict the occurrence of coastal freak waves based on wave height, peak period, wind direction, and wave direction misalignment. The data associated with 40 coastal freak wave events are used for validation. The results show that the ANN model with the same amount of published and camera-rec

ANN-based warning model for coastal freak wave forecasting (Back-propagation learning algorithm)



The choice of the input data should be physically adequate

this type may also occur in coastal areas, where they can be disastrous for those on the shore, including individuals who may be fishing at breakwaters or along rocky shores. The coastal freak wave (CFW) is a phenomenon in which a large amount of splash water is generated due

Среднесрочный прогноз по BFI

- Оперативные карты индексов *BFI* уже предоставляются Европейским центром среднесрочного прогноза погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, P. Jansses)

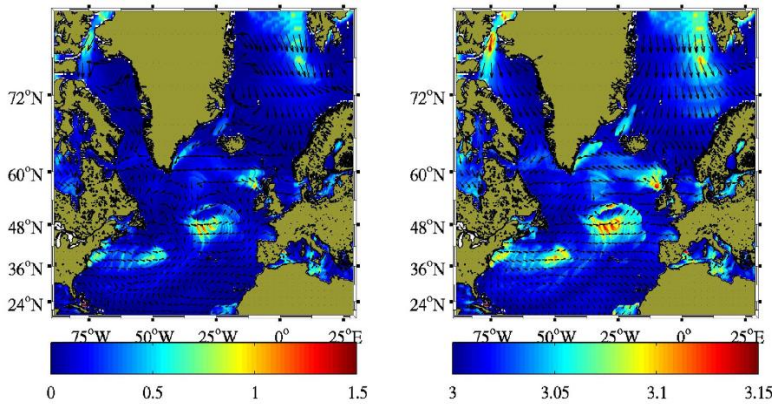


Fig. 6. BFI (left) and the kurtosis (right) spatial distribution. Date: 9th February 2007 at 12 UTC.

- Данные ретропрогноза интерпретируются с точки зрения карт *BFI* (Ponce de Leon & Soares, 2014) и условий модуляционной неустойчивости других типов волн (скрещенные волны под углом 40-60° в инциденте Louis Majesty (2010) (Cavaleri et al, 2012)

$$BFI = 2\sqrt{2} \frac{k_0 \eta_{rms}}{\Delta k / k_0}$$

Трудности использования *BFI* для прогноза

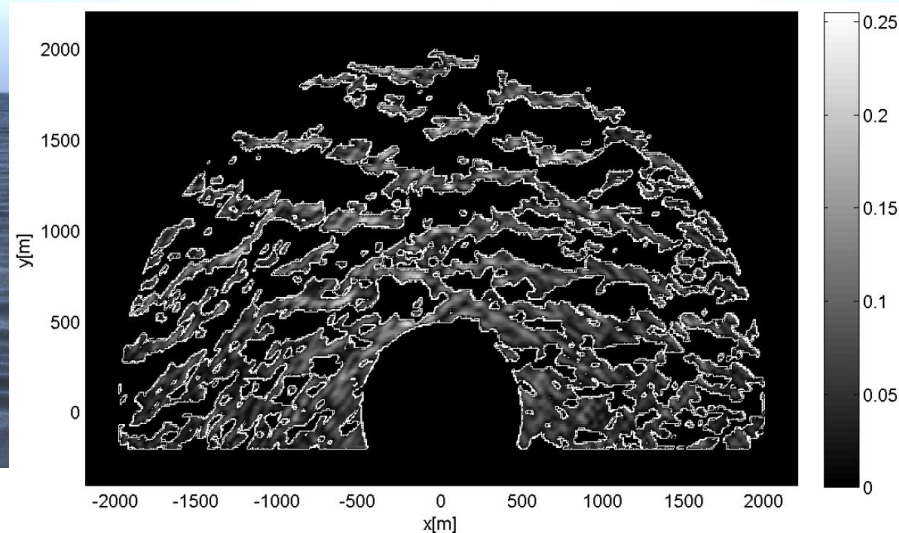
Нет однозначного определения *BFI* для спектров сложной формы, 3D

Негрубость определения *BFI* [2 спектральных параметра]

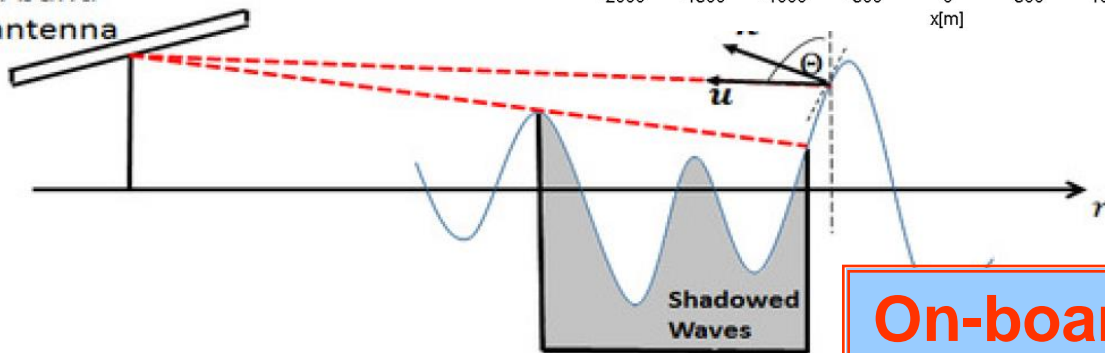
Малый разброс значений *BFI*, реализуемых в море

Эффект памяти [~10-100 периодов волн] и быстрое забвение

Real-time (short-term) wave forecast

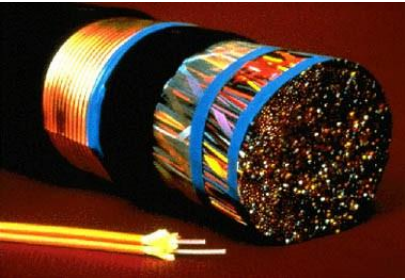


X-band antenna

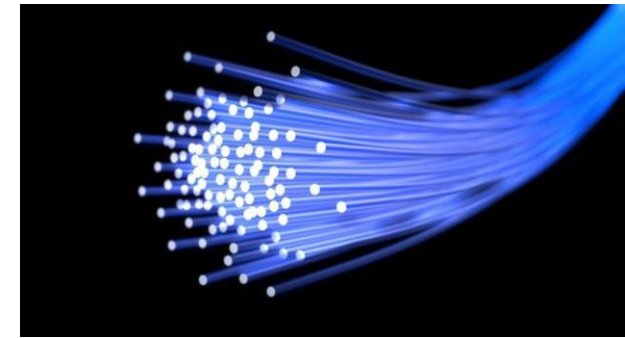


On-board support system which foresees dangerous waves

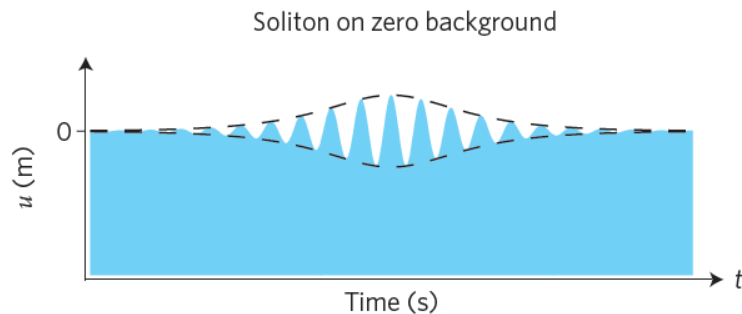
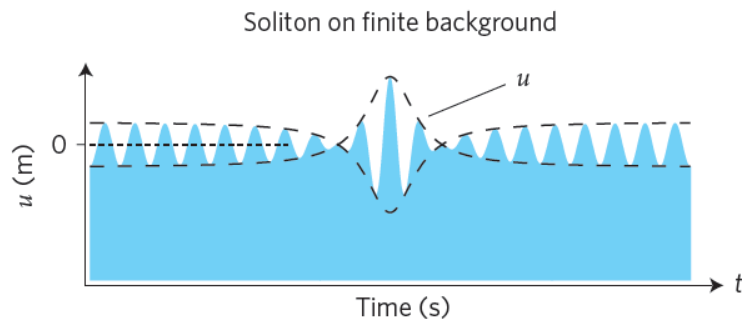
От гидродинамики к нелинейной оптике



Морские «волны-убийцы» –
близкие родственники пробоев в
волоконно-оптических системах



Бум исследований «волн-убийц» в
нелинейной оптике. Аналогии
между волнами на воде и волнами
в оптических волноводах



Свободно скачивается с сайта журнала

Февраль 2023 г.

Том 193, № 2

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ОБЗОРЫ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

Морские волны-убийцы: наблюдения, физика и математика

А.В. Слюняев, Д.Е. Пелиновский, Е.Н. Пелиновский

Волны-убийцы — неожиданно возникающие аномально высокие волны на морской поверхности — привлекли внимание исследователей, от океанографов до математиков, на рубеже XX–XXI вв. Обсуждаются результаты исследования этого явления: физические механизмы возникновения аномально высоких волн и соответствующие математические модели, натурные данные, результаты прямого численного моделирования и лабораторных экспериментов, новые подходы к моделированию и прогнозу экстремальных морских волн.

Заключение

- **Нужен анализ наблюдаемых данных**
(каталог, география, вероятность)
- **Нужен анализ долговременных записей волн с платформ и буев**
- **Нужен анализ космических снимков**
- **Моделирование наблюдаемых событий**
(время жизни)
- **Рекомендации для навигации и газо-добычи**