

Воздействие цунами на берега и сооружения

Е.Н. Пелиновский

А.И.Зайцев, А.А. Куркин, А.С. Yalciner



Отделение геофизических исследований
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород



Лаб. моделирования природных катастроф
Нижегородский технический университет



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра информационных систем



Специальное конструкторское бюро
средств автоматизации морских
исследований ДВО РАН

Лаборатория вычислительной гидрофизики
и океанографии, Южно-Сахалинск

Middle East Technical University, Ankara, Turkey

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА

РУКОВОДСТВО

ПО РАСЧЕТУ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВОЛН ЦУНАМИ НА
ПОРТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ, АКВАТОРИИ И
ТЕРРИТОРИИ.

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

РД 31.33.07-86

Москва 1986

РАЗРАБОТАНО

Московским инженерно-строительным
институтом им.В.В.Куйбышева

Проректор по научной работе МИСИ
к.т.н. Костин И.Х.

Руководитель темы д.ф.-м.н., профессор
Крылов Ю.М. (СМНИИП)

Руководитель разработки д.т.н.,
профессор Мищев А.В. (МИСИ)

Исполнители:

к.т.н., с.н.с. Сладкевич М.С.,
м.н.с. Приказчиков Н.А., к.т.н., доцент
Шевлов Ю.А. (МИСИ)

УТВЕРЖДЕНО

Главным инженером института
Сюзуморнипроект Ильницким Е.А.

УТВЕРЖДЕН
приказом Министерства строительства и
жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации
от « 23 » июня 2017 г. № 915/пр

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ

СП 132-1325800.2017

**ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
В ЦУНАМИОПАСНЫХ РАЙОНАХ.
ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Издание официальное

Москва 2017

**ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В
ЦУНАМИОПАСНЫХ РАЙОНАХ.
Правила проектирования**

Издание официальное

Москва

2017

В НАБОР



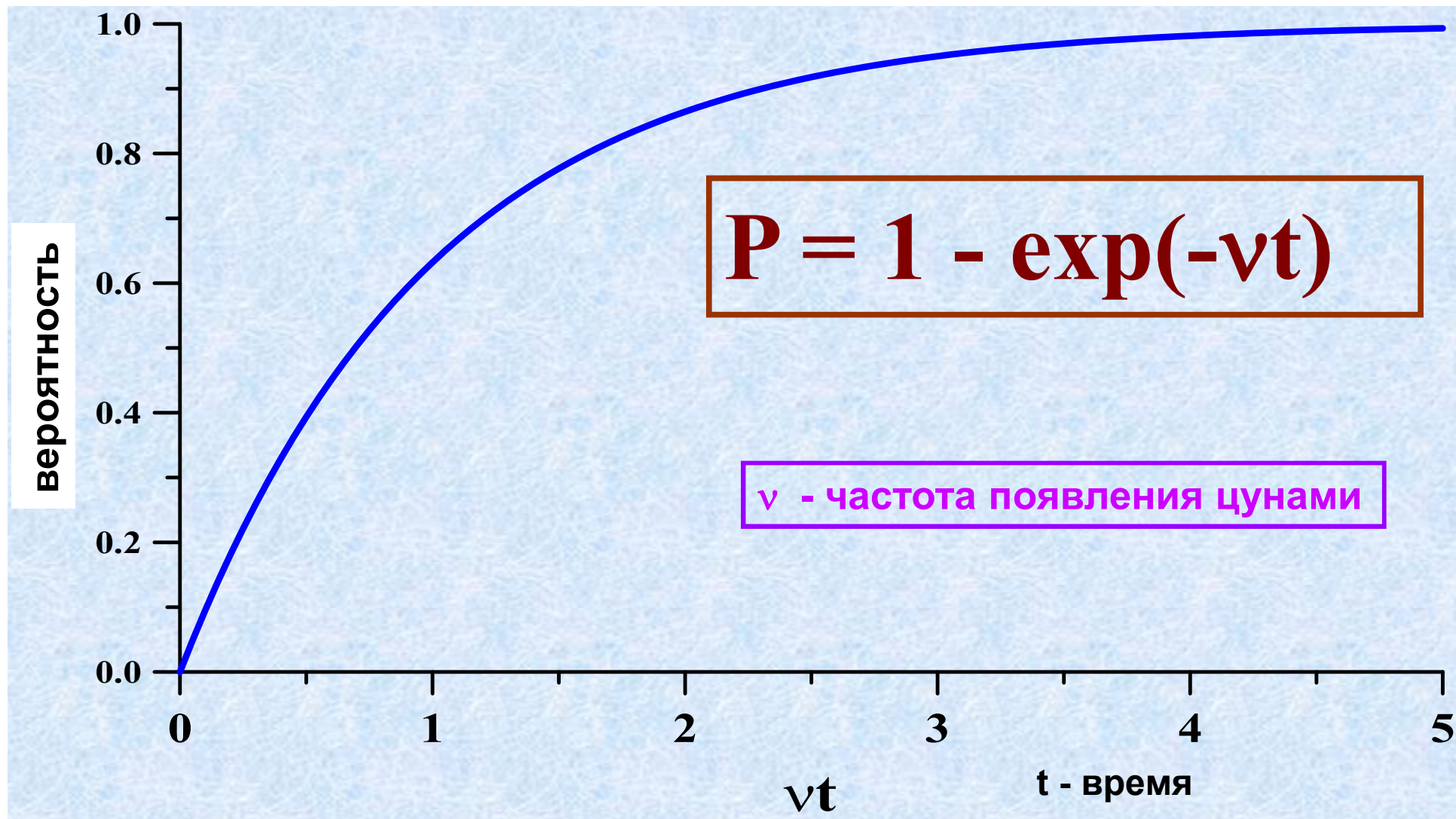
Дата регистрации 01 августа 2017 г.

Background Information on the Objective of the ASCE TLESC

- **A national standard for engineering design for tsunami effects written in mandatory language does not exist. As a result, tsunami risk to coastal zone construction is not explicitly and comprehensively addressed in design.**
- **The Tsunami Loads and Effects Subcommittee of the ASCE/SEI 7 Standards Committee is developing a proposed new Chapter 6 - Tsunami Loads and Effects for the ASCE 7-16 Standard.**
- **Anticipated completion by TLESC in November 2013**
- **Review by ASCE 7 Main Committee in 2014**
- **ASCE 7-16 to be published by March 2016**
- **ASCE 7 Tsunami Provisions will then be referenced in IBC 2018**
- **Local jurisdiction codes could decide to adopt Chapter 6 earlier.**

Долгосрочный прогноз цунами

Прогностическая вероятность



РТНА – probabilistic tsunami hazard assessment:

1. Создается каталог возможных землетрясений на период в 10000-100000 лет
2. Проводятся расчеты распространения цунами от каждого землетрясения
3. Получается каталог возможных цунами (1000-10000 событий)
4. Оценивается вероятность каждого события

Probabilistic Tsunami Hazard Analysis: Multiple Sources and Global Applications

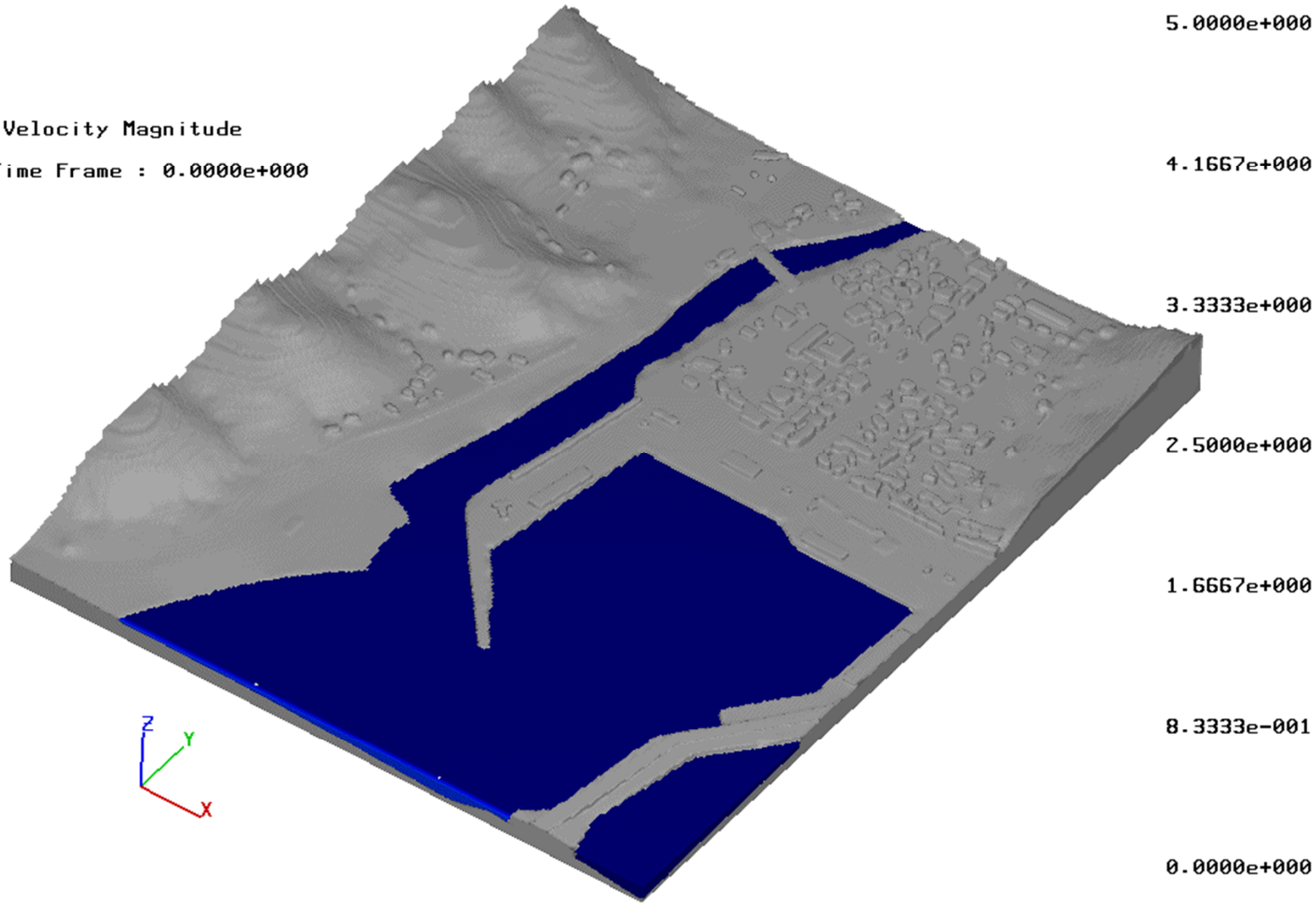
Reviews of Geophysics, 55, 1158–1198 (2017)

Anita Grezio¹ , Andrey Babeyko², Maria Ana Baptista³ , Jörn Behrens⁴ , Antonio Costa¹ , Gareth Davies⁵, Eric L. Geist⁶ , Sylfest Glimsdal⁷, Frank I. González⁸, Jonathan Griffin⁵ , Carl B. Harbitz⁶, Randall J. LeVeque⁸ , Stefano Lorito⁹ , Finn Løvholt⁷ , Rachid Omira³, Christof Mueller¹⁰ , Raphaël Paris¹¹, Tom Parsons⁶ , Jascha Polet¹² , William Power¹⁰, Jacopo Selva¹ , Mathilde B. Sørensen¹³, and Hong Kie Thio¹⁴ 

5. Принимается допустимое значение вероятности (законодательно) и получается расчетное значение высоты цунами

Районирование городов и поселков

Velocity Magnitude
Time Frame : 0.0000e+000



Methodology for Development of Physics-Based Tsunami Fragilities

Navid Attary, John W. van de Lindt, Vipin U. Unnikrishnan, Andre R. Barbosa, and Daniel T. Cox

Journal of Structural Engineering, 2016

[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001715](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001715)

“Tsunami forces are broadly classified as hydrostatic forces, buoyant forces, hydrodynamic forces, impulsive forces, and debris impact forces [FEMA P-646]”

Гидродинамические силы на одиночную преграду

$$F_h = \frac{1}{2} \rho_w g D S \quad \text{давление}$$

$$F_f = \frac{1}{2} \rho_w C_D U^2 S \quad \text{лобовое сопротивление}$$

D – полная глубина потока

U – скорость потока

S – площадь поперечного сечения преграды

Отношение сил – число Фруда

$$Fr = \frac{U^2}{g D}$$



Tsunami inundation modeling in constructed environments: A physical and numerical comparison of free-surface elevation, velocity, and momentum flux



Hyoungsu Park ^{a,*}, Daniel T. Cox ^a, Patrick J. Lynett ^b, Dane M. Wiebe ^a, Sungwon Shin ^c

$$F_f = \frac{1}{2} \rho_w C_D U^2 S$$

S=DB

Momentum Flux

$$M = D * U^2$$

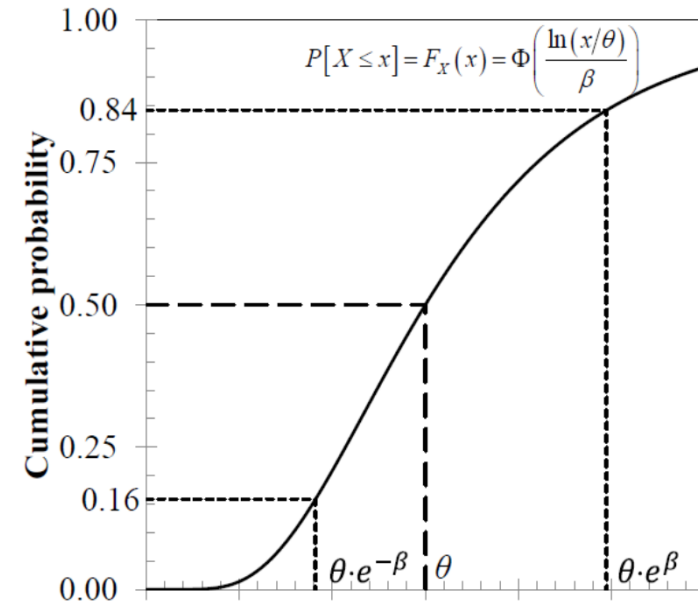
Не включает
параметры
строительных
конструкций

Porter, K., 2017. A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk. University of Colorado Boulder, 101 pp.,
<http://spot.colorado.edu/~porterka/Porter-beginners-guide.pdf>

Why the lognormal cumulative distribution function is widely used for fragility

At least four reasons justify its use:

- 1. Simplicity.** It has a simple, parametric form for approximating an uncertainty quantity that must take on a positive value, using only an estimate of central value and uncertainty;
- 2. Precedent.** It has been widely used for several decades in earthquake engineering.
- 3. Information-theory reasons.** It is the distribution that assumes the least if one only knows that the variable is positively valued with specified median and logarithmic standard deviation.
- 4. Often fits data.** It often reasonably fits observed distributions of quantities of interest here, such as ground motion conditioned on magnitude and distance, the collapse capacity of structures, and the marginal distribution of loss conditioned on shaking.



*Распределение высот
Вдоль побережья*

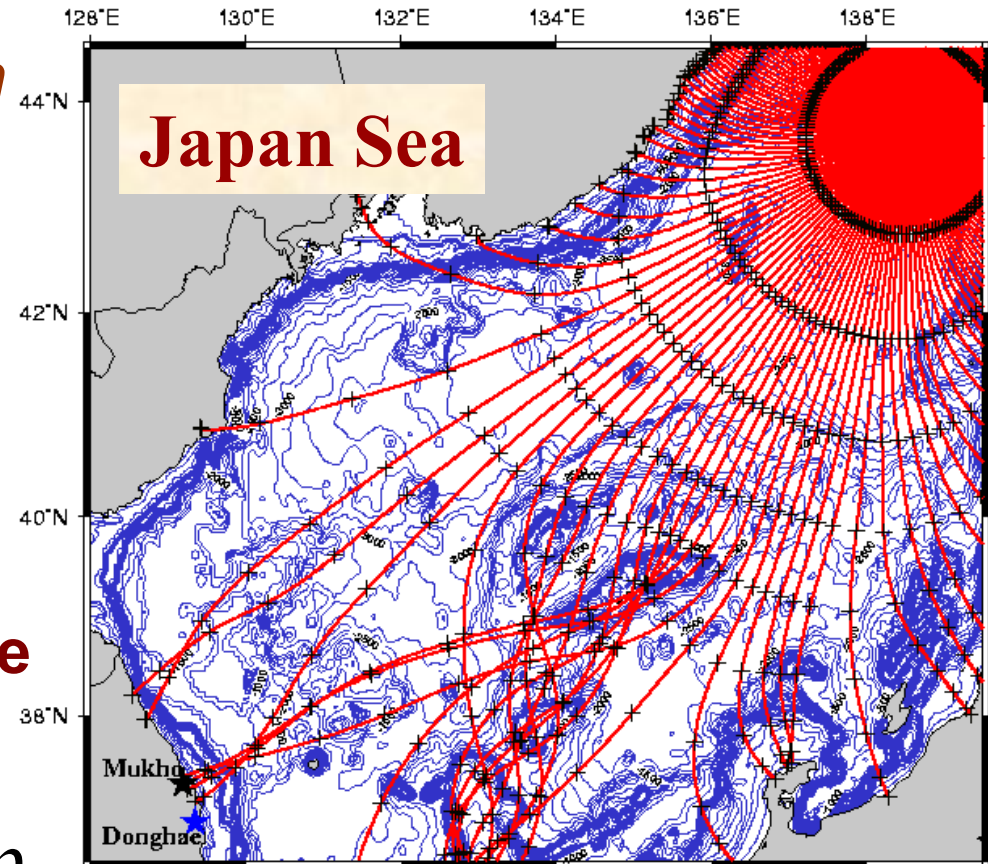
Random Wave Paths

$$H = K H_e$$

or

$$\log H = \log K + \log H_e$$

$$K = \prod_i K_i \quad \text{-- random amplification}$$



According to the central limit theorem $\log H$ is the gaussian process

$$f(H) = \frac{1}{H \sigma \sqrt{2\pi} \ln 10} \exp\left(-\frac{(\log H - \langle \log H \rangle)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Log-normal Distribution

$$f(H) = \frac{1}{H \sigma \sqrt{2\pi} \ln 10} \exp\left(-\frac{(\log H - \langle \log H \rangle)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Van Dorn, W.G.: Tsunamis. Advances in Hydrosience (Ed. V.T.Chow).
Acad. Press, London, 2, 1-48, 1965.

Kajiura, K.: Some statistics related to observed tsunami heights along
the coast of **Japan**, Tsunamis - Their Science and Engineering,
Terra Pub., Tokyo, 131 – 145, 1983.

Go, Ch.N.: Statistical distribution of the tsunami heights along the coast,
Tsunami and accompanied phenomena, Institute of Marine Geology and
Geophysics, Sakhalin, 7, 73-79, 1997.

Cumulative Distribution (Integral from pdf)

$$F(H) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln 10 \sigma} \int_H^{\infty} \exp\left(-\frac{(\log h - a)^2}{2\sigma^2}\right) \frac{dh}{h}$$

In dimensionless form

$$P(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln 10} \int_{\zeta}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2} (\log \theta)^2\right) \frac{d\theta}{\theta}$$

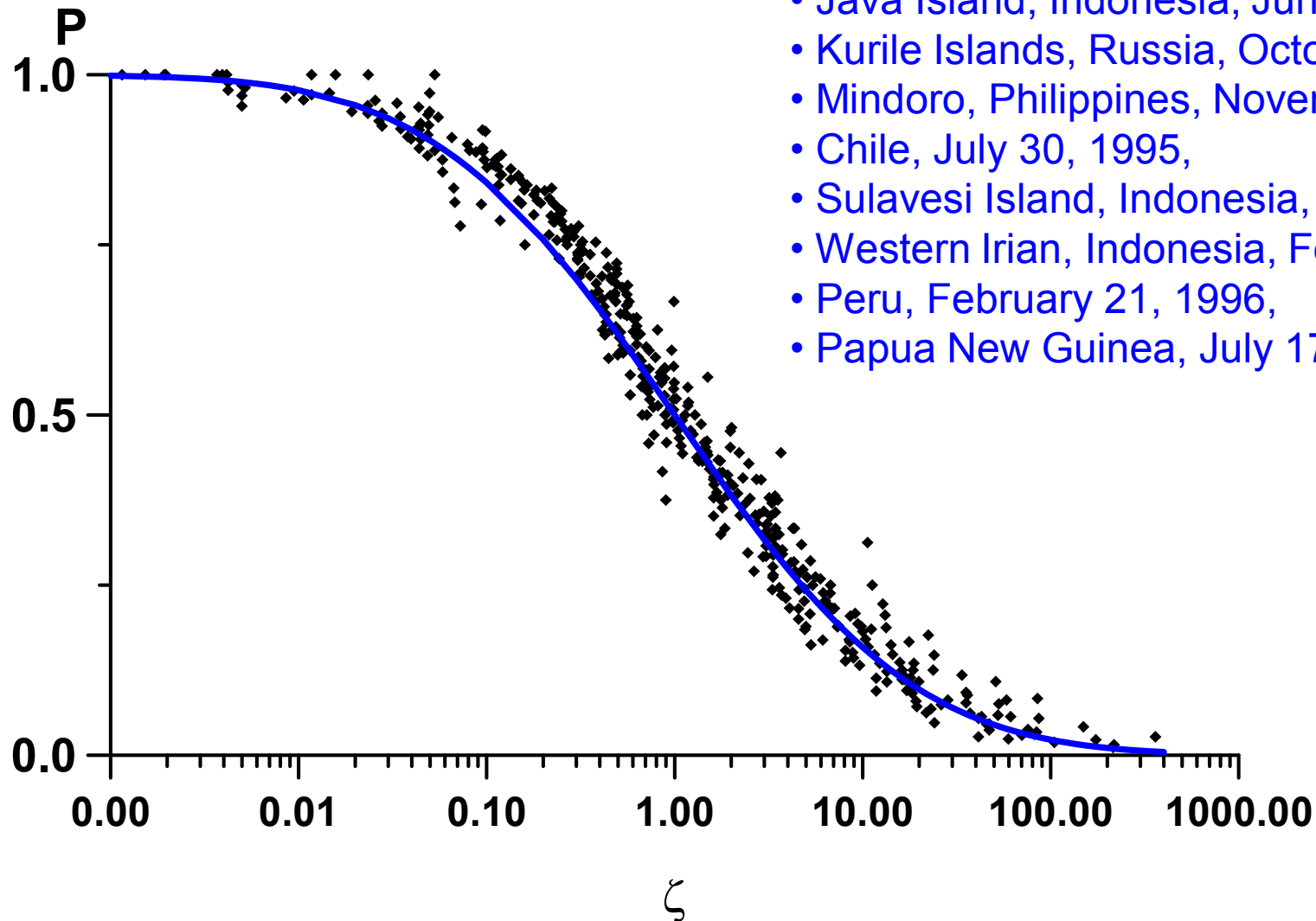
$$\zeta = \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^{1/\sigma} \quad \bar{H} = 10^a$$

Choi, B.H., E. Pelinovsky, I. Riabov, and Hong S.J.: Distribution functions of tsunami wave heights, *Natural Hazards*, 25, 1-21, 2002.

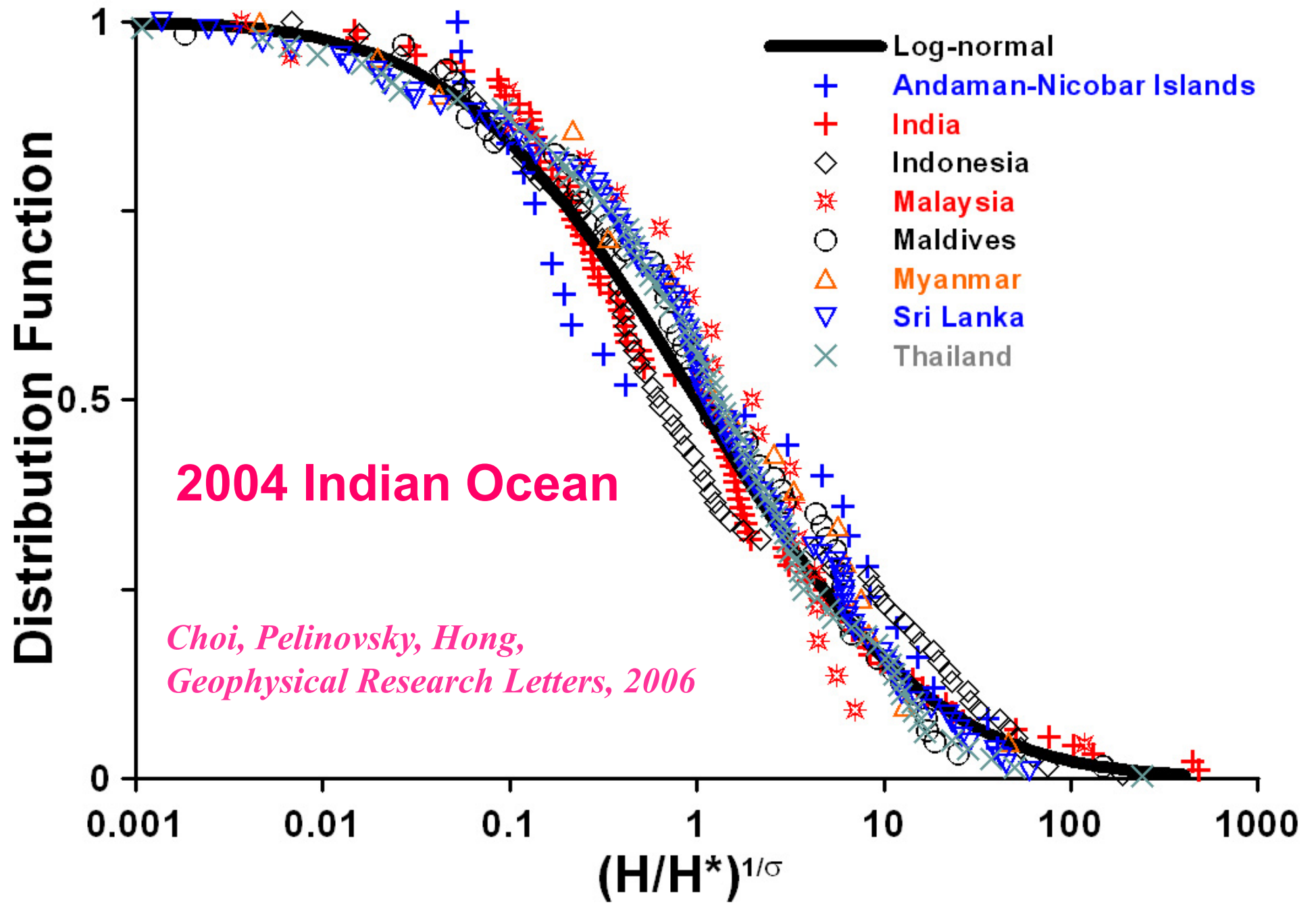
Distribution Functions

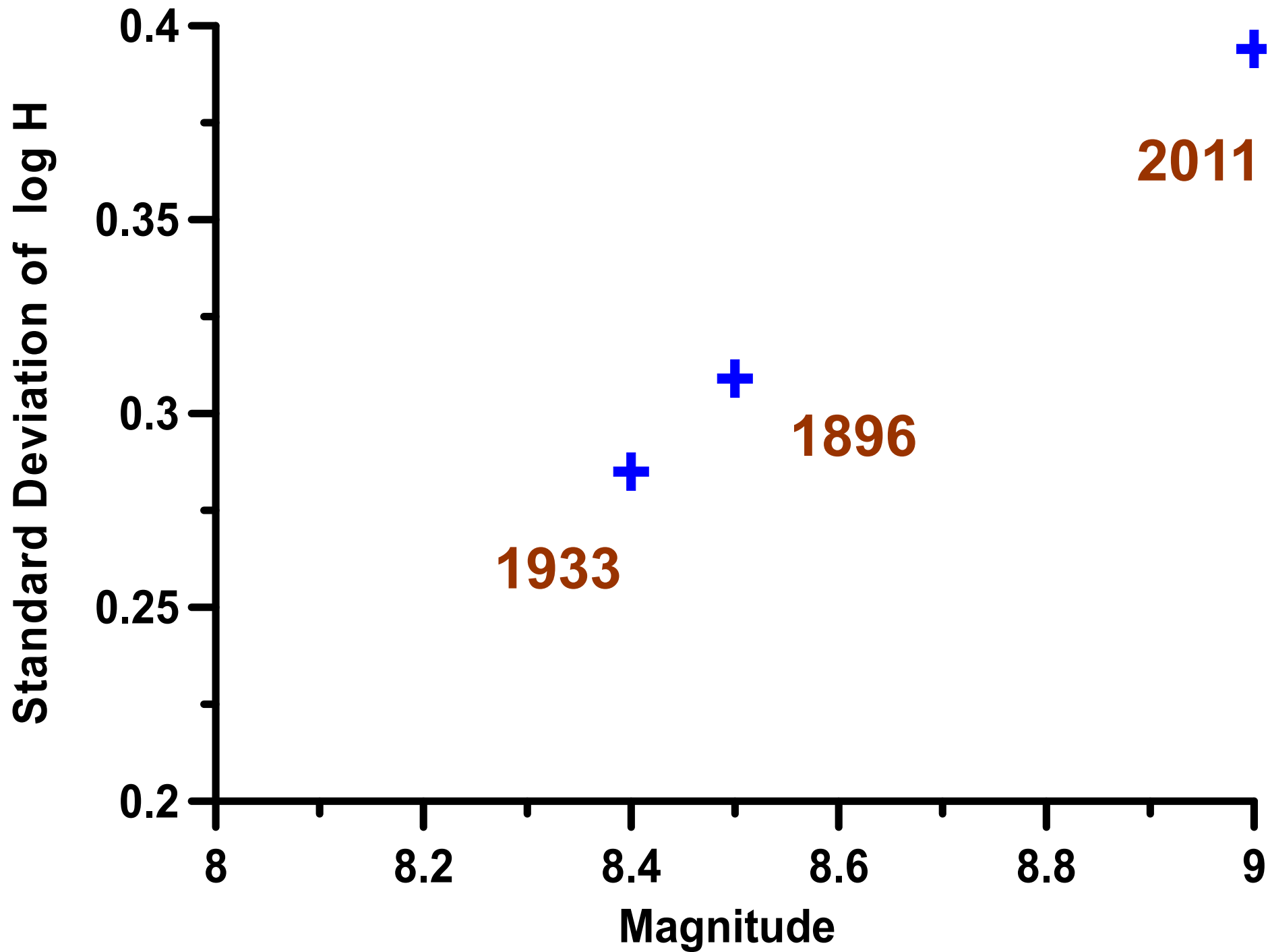
Tsunamis 1992-2000

Smoothed Characteristics



- Flores Island, Indonesia, December 12, 1992,
- East Korean Coast, July 12, 1993,
- Hokkaido Island, Japan, July 12, 1993,
- Java Island, Indonesia, June 2, 1994,
- Kurile Islands, Russia, October 4, 1994,
- Mindoro, Philippines, November 14, 1994,
- Chile, July 30, 1995,
- Sulawesi Island, Indonesia, January 1, 1996,
- Western Irian, Indonesia, February 17, 1996,
- Peru, February 21, 1996,
- Papua New Guinea, July 17, 1998.





A proposed methodology for deriving tsunami fragility functions for buildings using optimum intensity measures


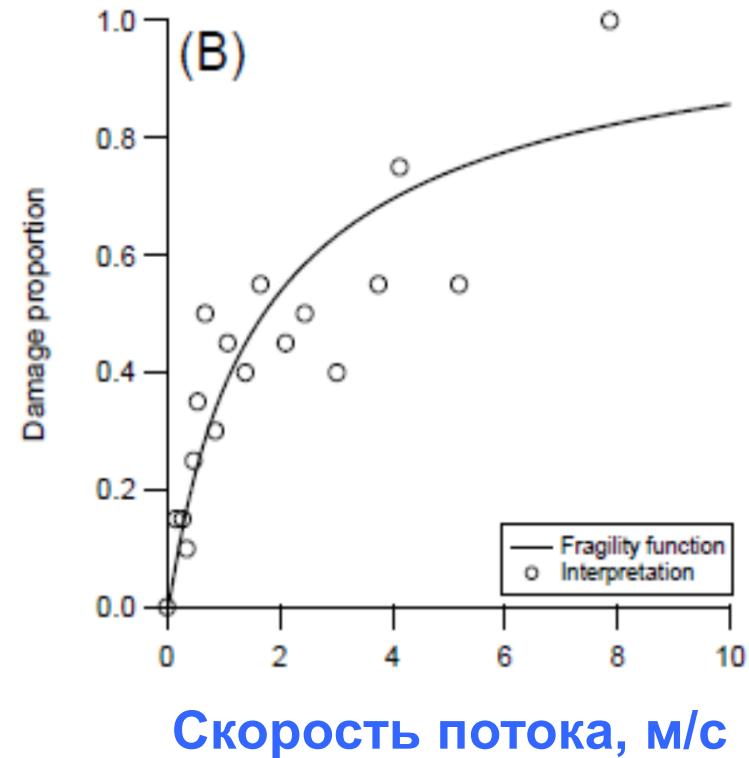
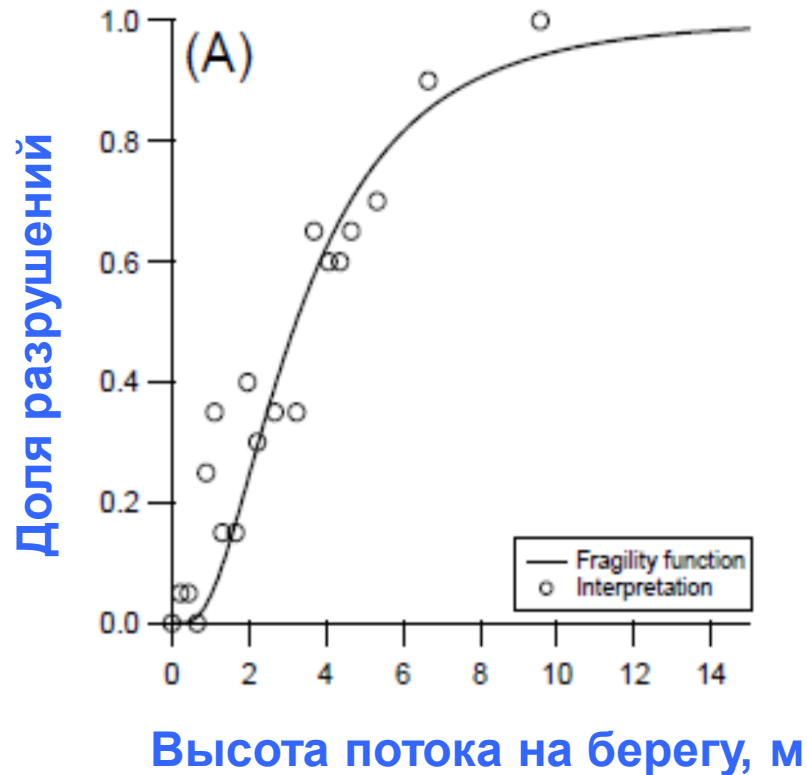
Joshua Macabuag¹  · Tiziana Rossetto¹ · Ioanna Ioannou¹ · Anawat Suppasri² · Daisuke Sugawara³ · Bruno Adriano² · Fumihiko Imamura² · Ian Eames¹ · Shunichi Koshimura²

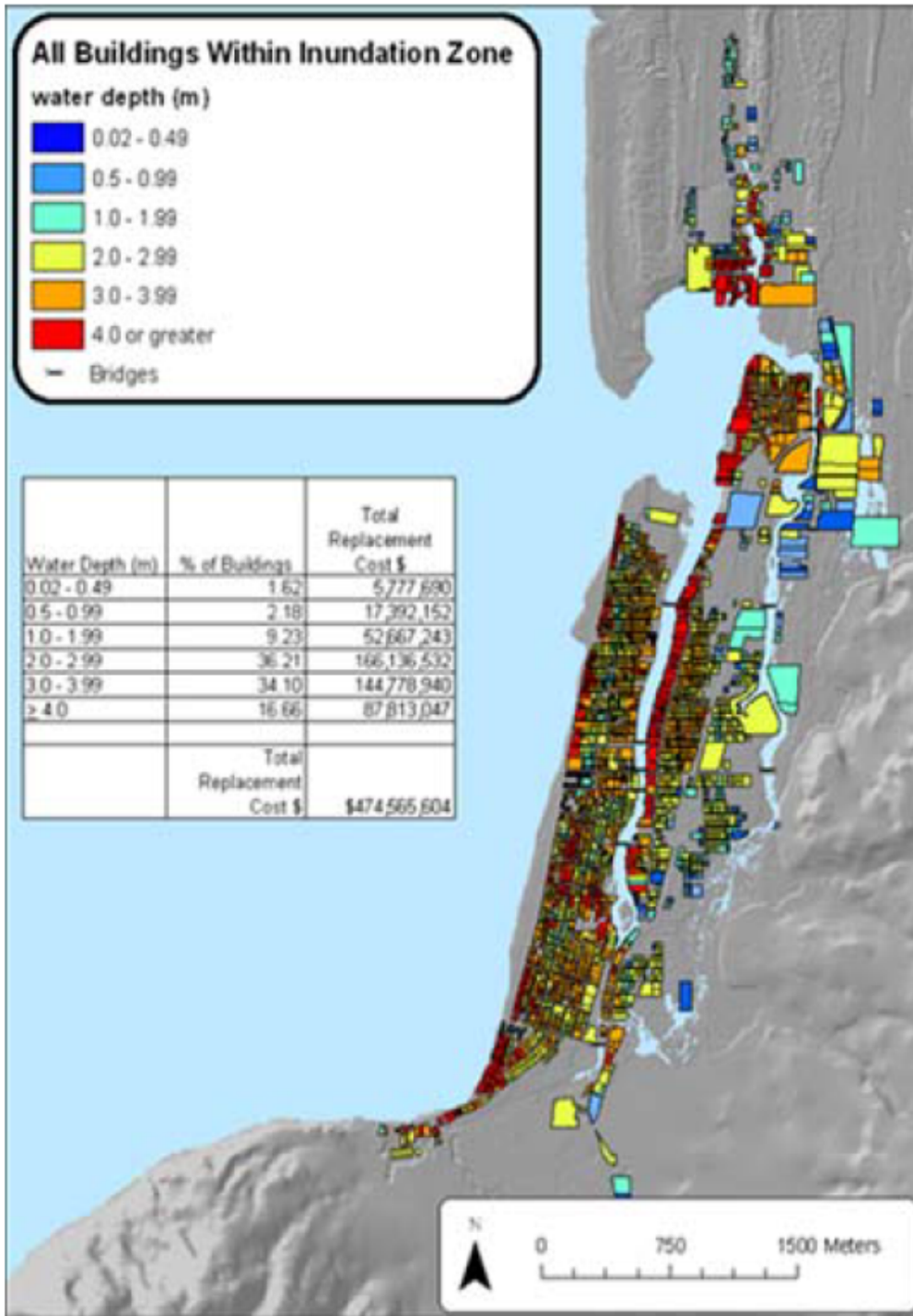
Table 4 Damage state definitions used by the Japanese Ministry of Land Infrastructure Tourism and Transport following the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami

Damage state		Description	Use
DS0	No damage	Water does not enter into the building footprint	Immediate occupancy
DS1	Minor damage	Water enters below the ground floor	Possible to use immediately after minor floor and wall cleanup
DS2	Moderate damage	Water inundates to less than 1 m above the ground floor	Possible to use after moderate repairs
DS3	Major damage	Water inundates to more than 1 m above the floor (but below the ceiling)	Possible to use after major repairs
DS4	Complete damage	The building is inundated above the ground floor level	Major work is required for reuse of the building
DS5*			
DS5	Collapsed	Structural elements are significantly damaged	Not repairable
DS6	Washed away	The building is completely washed away except for the foundation	Not repairable

Fragility «хрупкость» Function



Зависит от типа зданий, и такие функции построены для многих мест Японии, Индонезии



Ground-Truthed Commercial Buildings

Water Depth



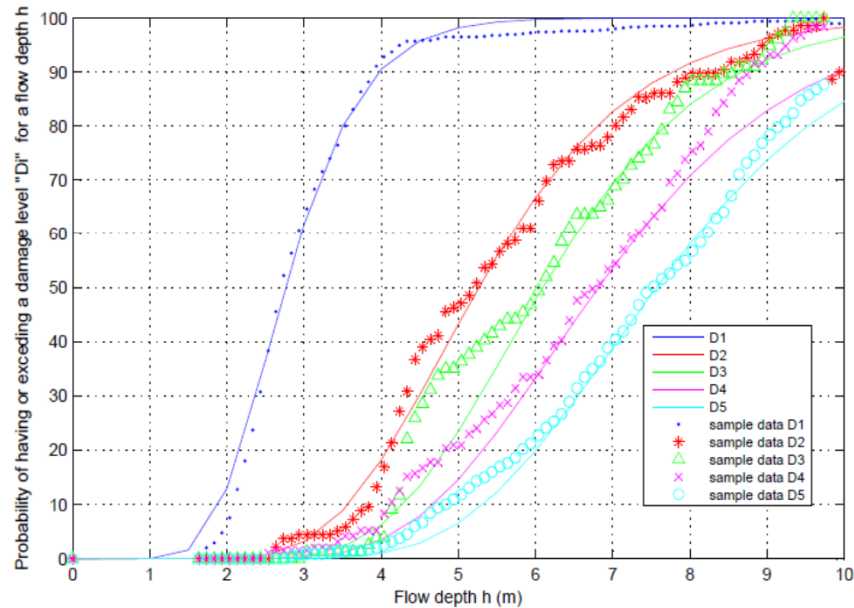
Уязвимость











**Районирование
населенного пункта
Seaside, Oregon**

New tsunami damage functions developed in the framework of SCHEMA project: application to European-Mediterranean coasts

N. Valencia¹, A. Gardi^{1,*}, A. Gauraz², F. Leone², and R. Guillande¹



	Field recognition criteria	Field view	Aerial view	Recognition criteria by EO
A	Beach or sea front light constructions: Wooden, timber, clay materials, or zinc slabs.			Flat roof, steel sheets Small to very small surfaces. Extended surfaces in case of beach activities (restaurants, bars)
B	Brick not reinforced Cement mortar wall, Fieldstone, Masonry. One storey.			Simple geometry (square, rectangle). Flat or slope roofs, tile roofs. Little extension or surface. Located in the old town.
C	Individual buildings, villas: Brick with reinforced column & masonry filling. One or two storeys.			More complex geometry. Several levels of roof and several annex. Pitched roof. Medium to big dimensions.
D	Non-engineered reinforced concrete buildings. Collective use. Two to four floors			Tiles roofs. Located in old town. Elongated geometry.

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 2669–2695, 2015
www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/15/2669/2015/
doi:10.5194/nhess-15-2669-2015

© Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.




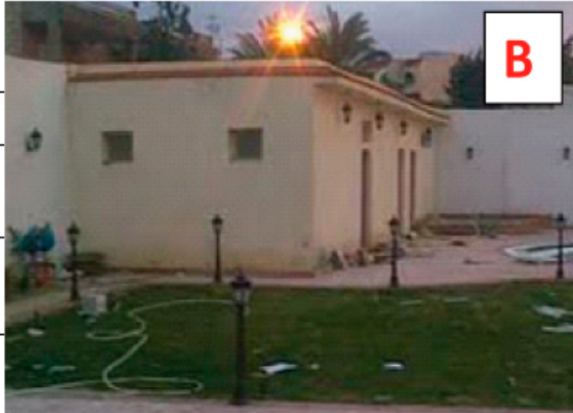

Natural Hazards
and Earth System
Sciences



Scenario-based assessment of buildings' damage and population exposure due to earthquake-induced tsunamis for the town of Alexandria, Egypt

G. Pagnoni, A. Armigliato, and S. Tinti

Table 3. Building classes according to the project SCHEMA (Valencia et al., 2011). Any reference to building exposure is removed.

Class	Building attributes		
I. Light constructions	A1	very light isolated constructions; wooden, timber, clay materials	 A
	A2	very light constructions without any design (like in a shanty town); a very rudimentary set of huts, built using wood, clay, timber and slabs of zinc	
	A3	very concentrated light constructions (like in old towns); wooden, timber and clay materials	
II. Masonry constructions and non-reinforced concrete	B	non-reinforced brick; cement, mortar walls, fieldstone, masonry	 B
	C	individual buildings, villas; brick with reinforced column and masonry filling	
	D	large villas or collective buildings, residential or commercial buildings; non-reinforced concrete	
III. Reinforced concrete constructions	E1	residential or collective structures or offices, car parks, schools; reinforced concrete, steel frames	 E
	E2	residential or collective structures or offices, car parks, schools, towers; reinforced concrete, steel frames	

> 3 levels

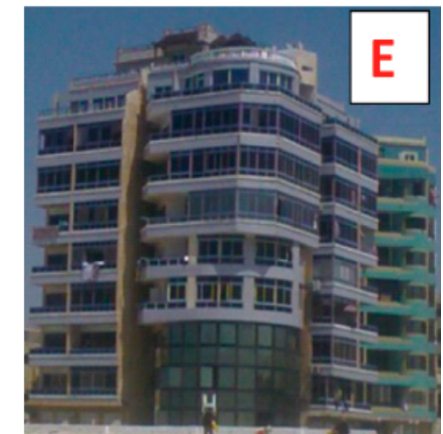
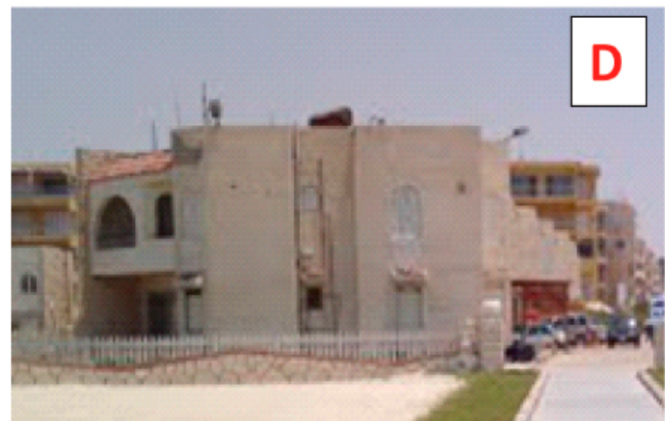


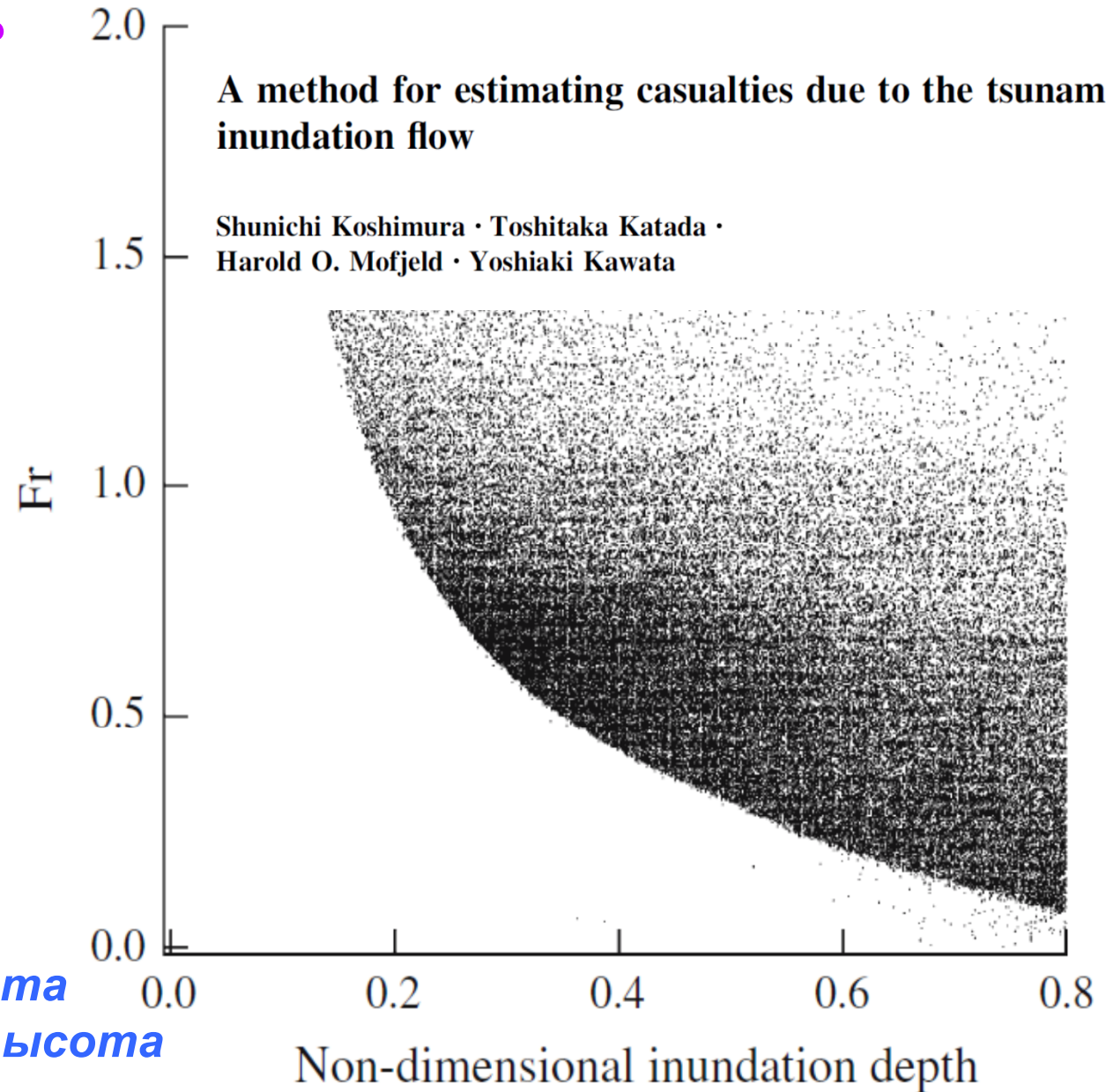
Table 6. Damage to buildings and exposed persons under the hypothesis of mean-sea-level conditions.

Flow depth (m)	Number of cells	Area (km ²)	Number of buildings	Number of buildings						Persons
				D0	D1	D2	D3	D4	D5	
0.0–0.5	744	4.76	4809	0	4809	0	0	0	0	59 702
0.5–1.0	685	4.38	3881	0	3866	15	0	0	0	48 181
1.0–1.5	395	2.53	2018	0	1808	189	21	0	0	25 052
1.5–2.0	280	1.79	1118	0	972	123	23	0	0	13 879
2.0–2.5	185	1.18	396	0	209	85	74	28	0	4916
2.5–3.0	107	0.68	141	0	68	40	22	11	0	1750
3.0–4.0	37	0.24	35	0	0	27	3	0	5	434
Total	2433	15.57	12 398	0	11 732	479	143	39	5	153 916

Хорошо бы на таком же языке интерпретировать шкалу интенсивности цунами, типа новой шкалы Попадопулоса-Иммуры

A method for estimating casualties due to the tsunami inundation flow

Shunichi Koshimura · Toshitaka Katada ·
Harold O. Mofjeld · Yoshiaki Kawata



Индекс потерь
от цунами

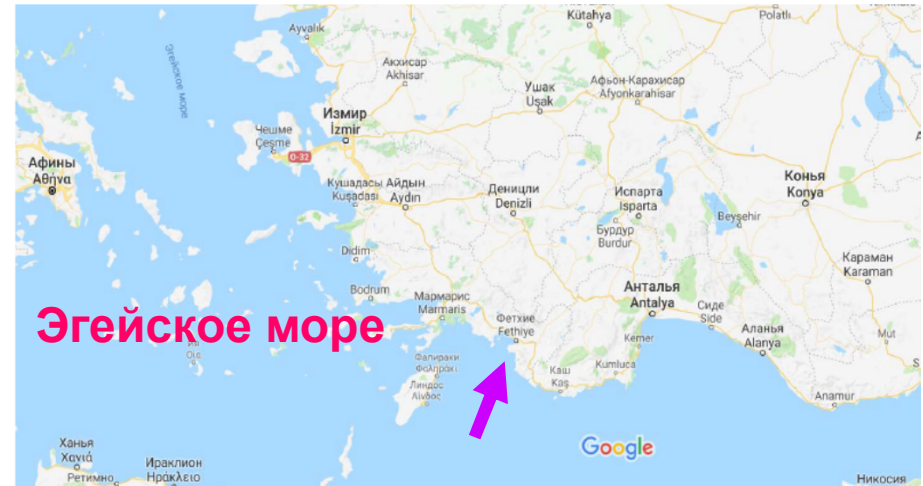
Seattle

Для каждого возраста
своя критическая высота

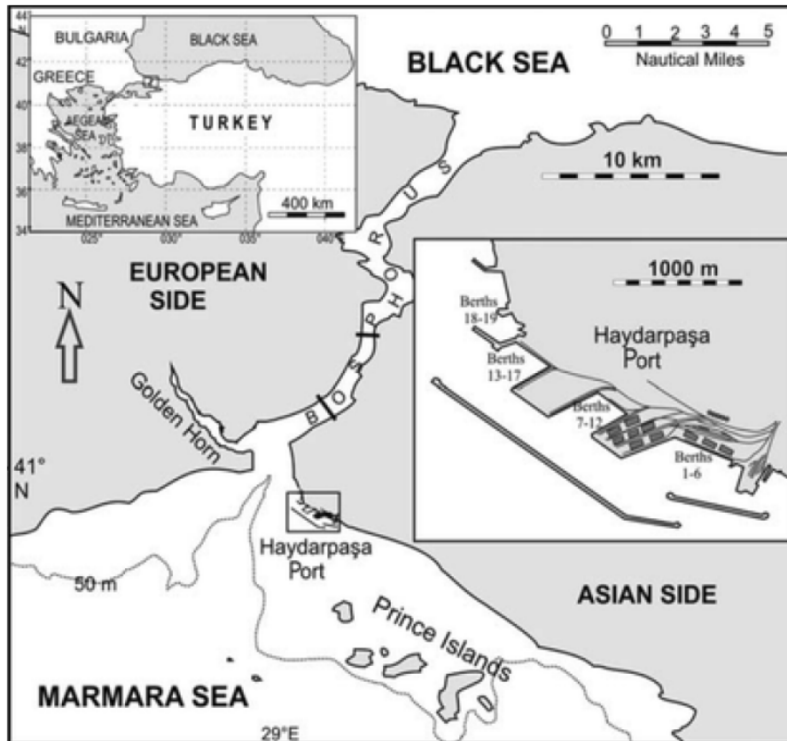
Карта затопления, Фетхие, Турция

Минимальный шаг 3 м

Какая точность нужна?



Порт Хайдарпаша, Турция (контейнерный порт)

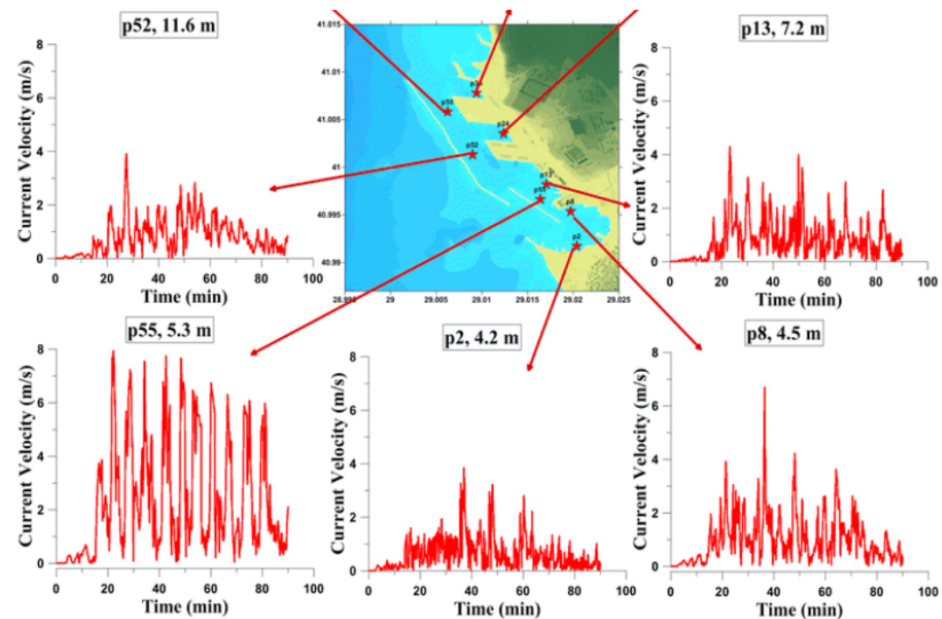


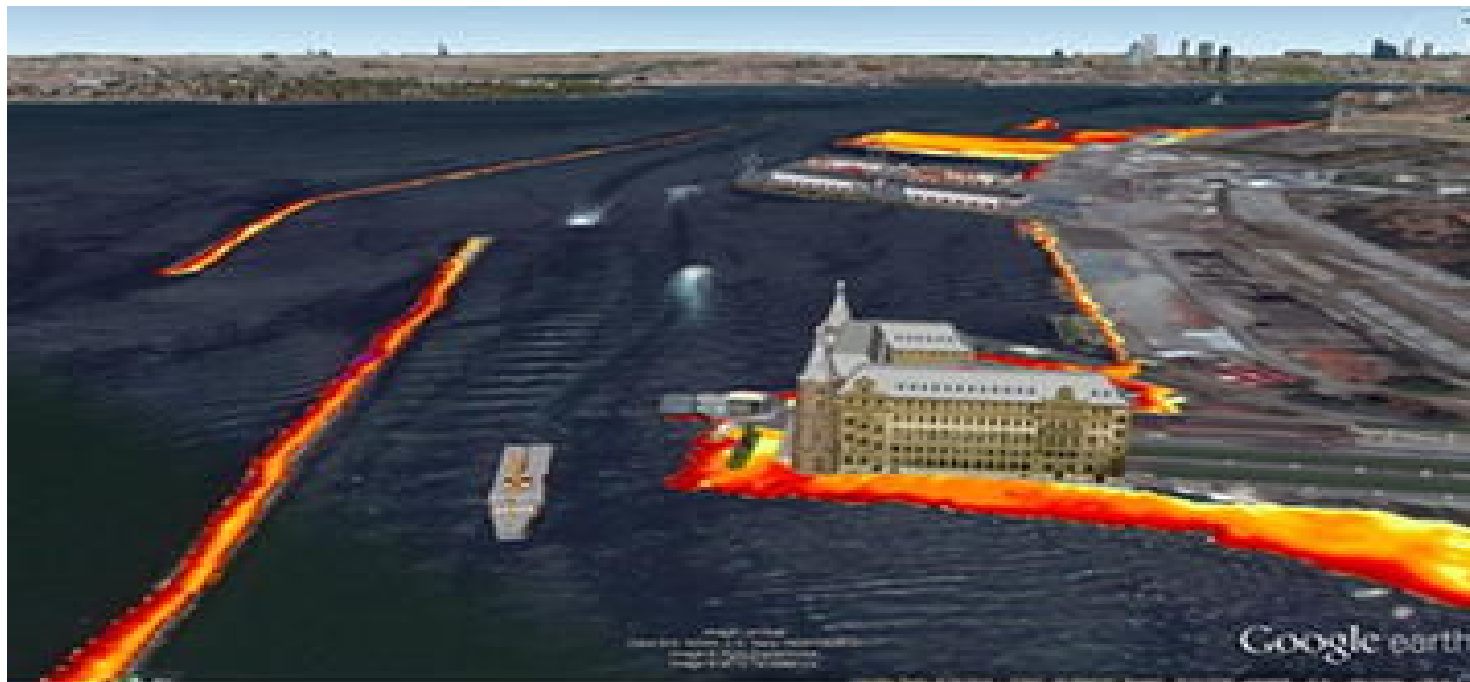
Расчеты вплоть до шага 1 м

Какая точность нужна?

Волна приходит через 5 мин и становится максимальной к 20 мин

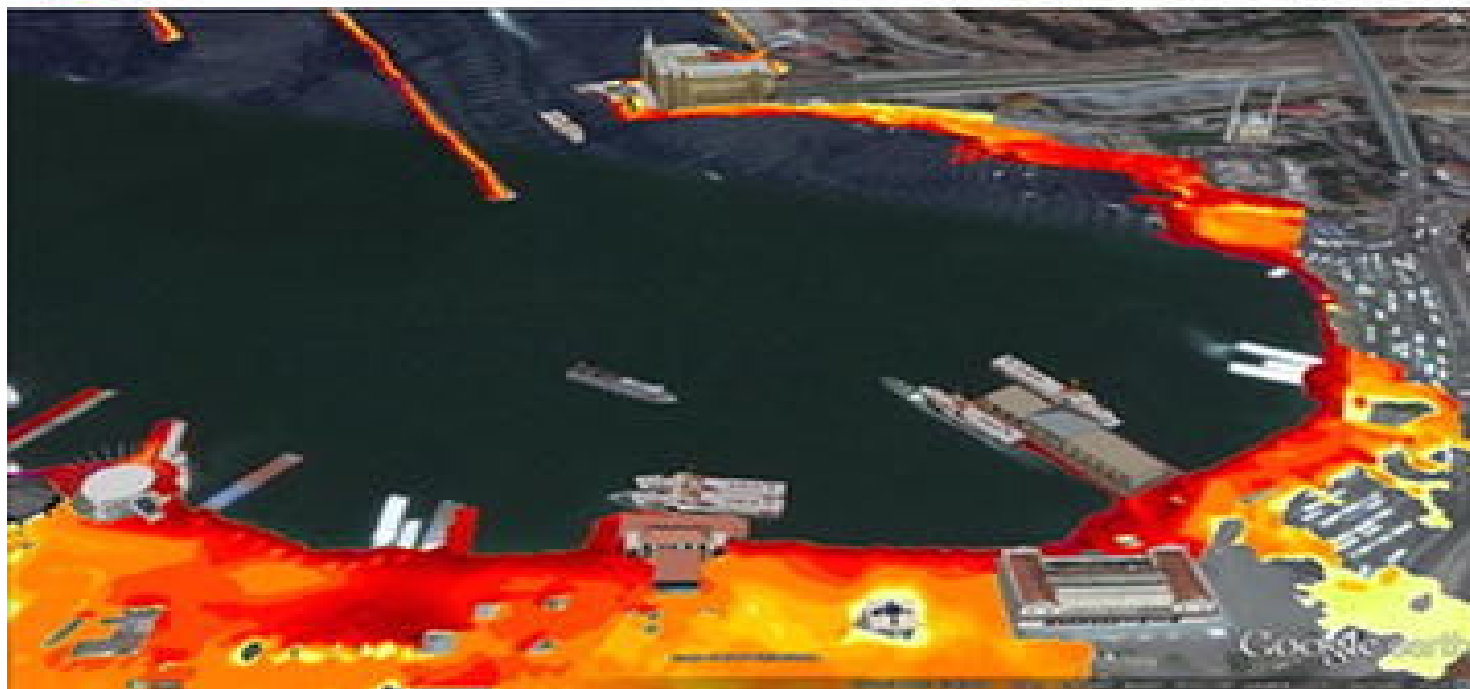
Вода стоит в порту более часа



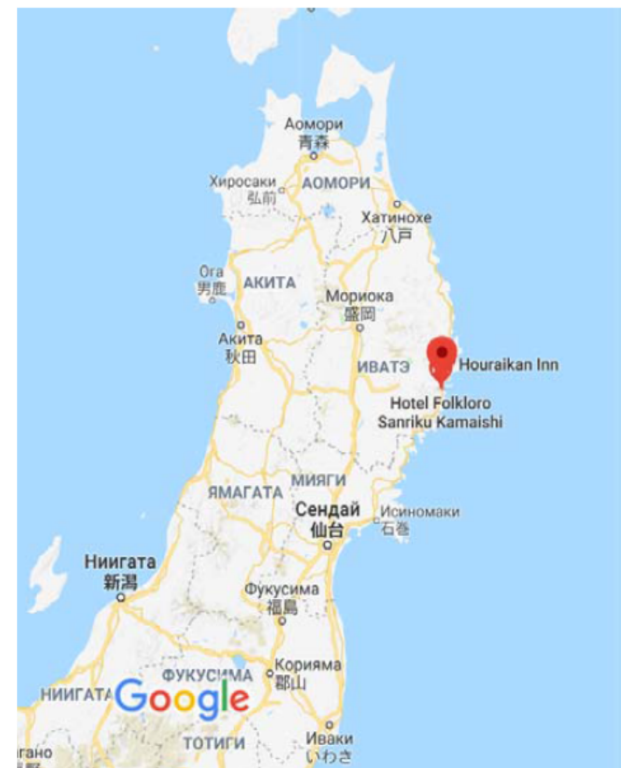
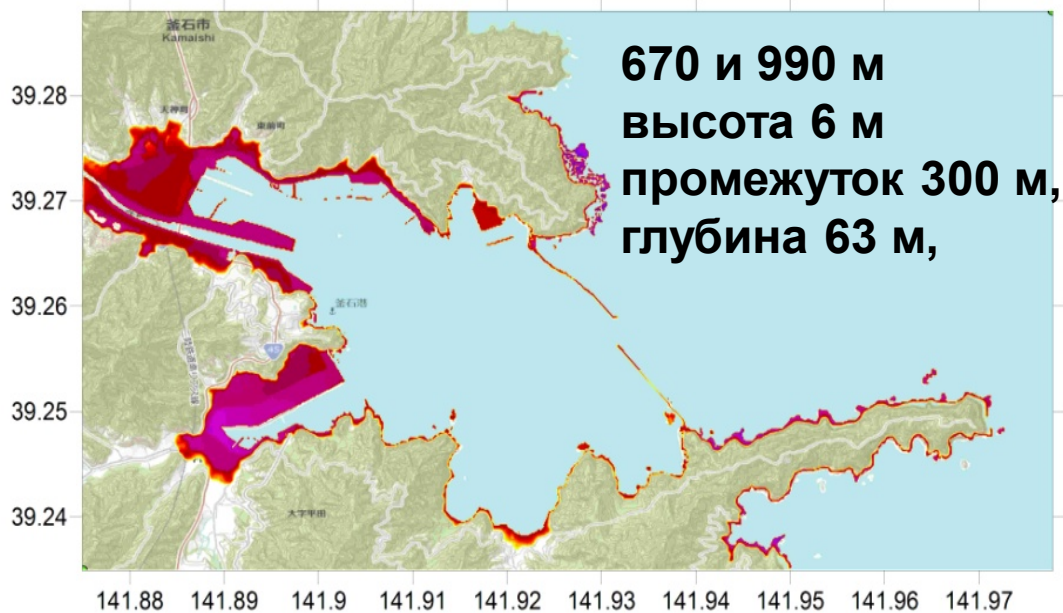


Высота 5 м,

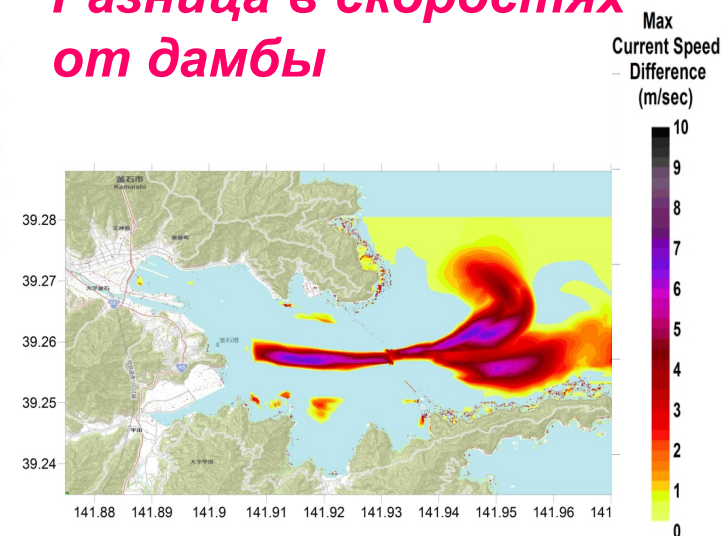
Дистанция
340 м



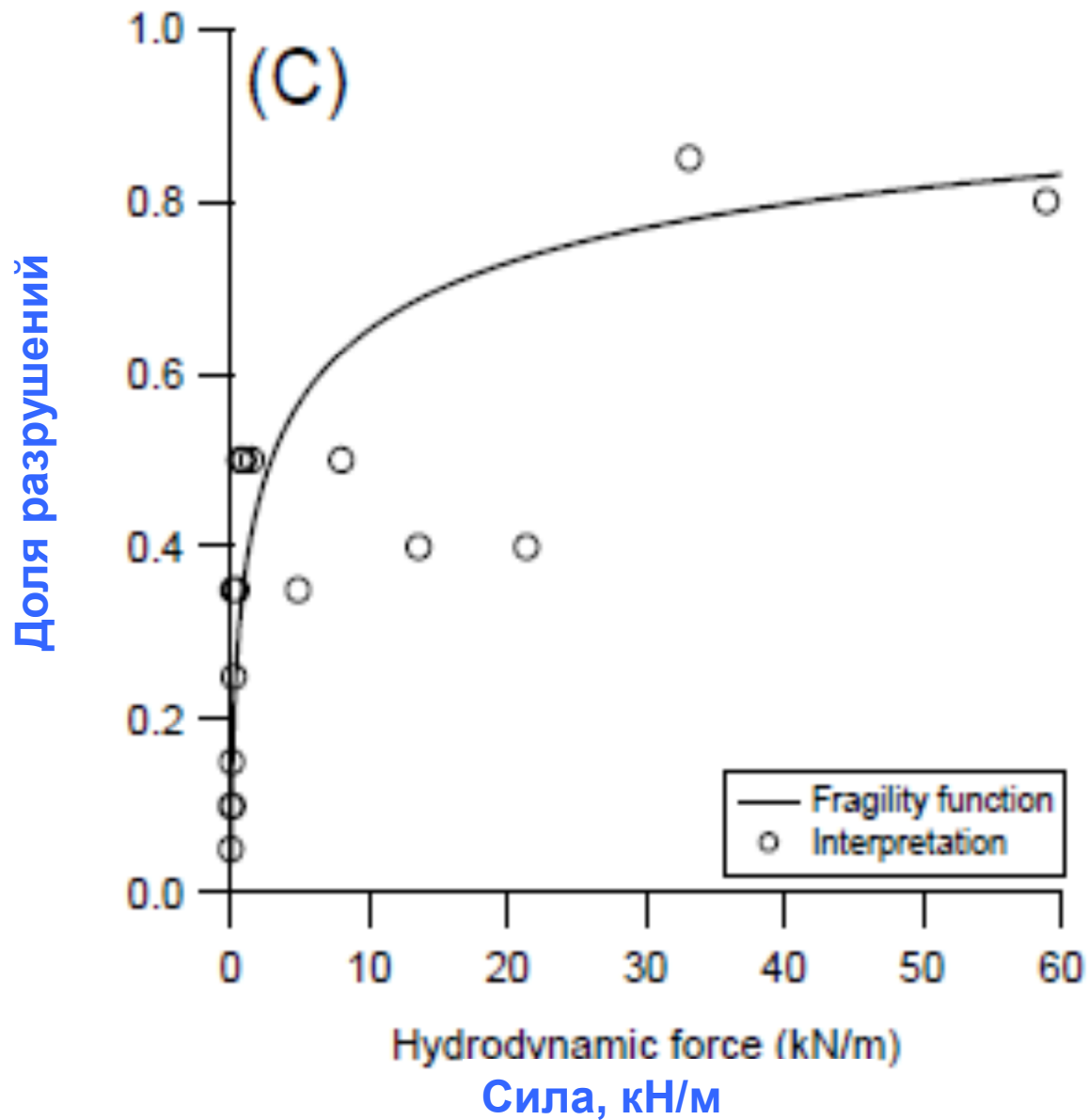
Дамба в Камаиши (Япония) Цунами 2011 г.



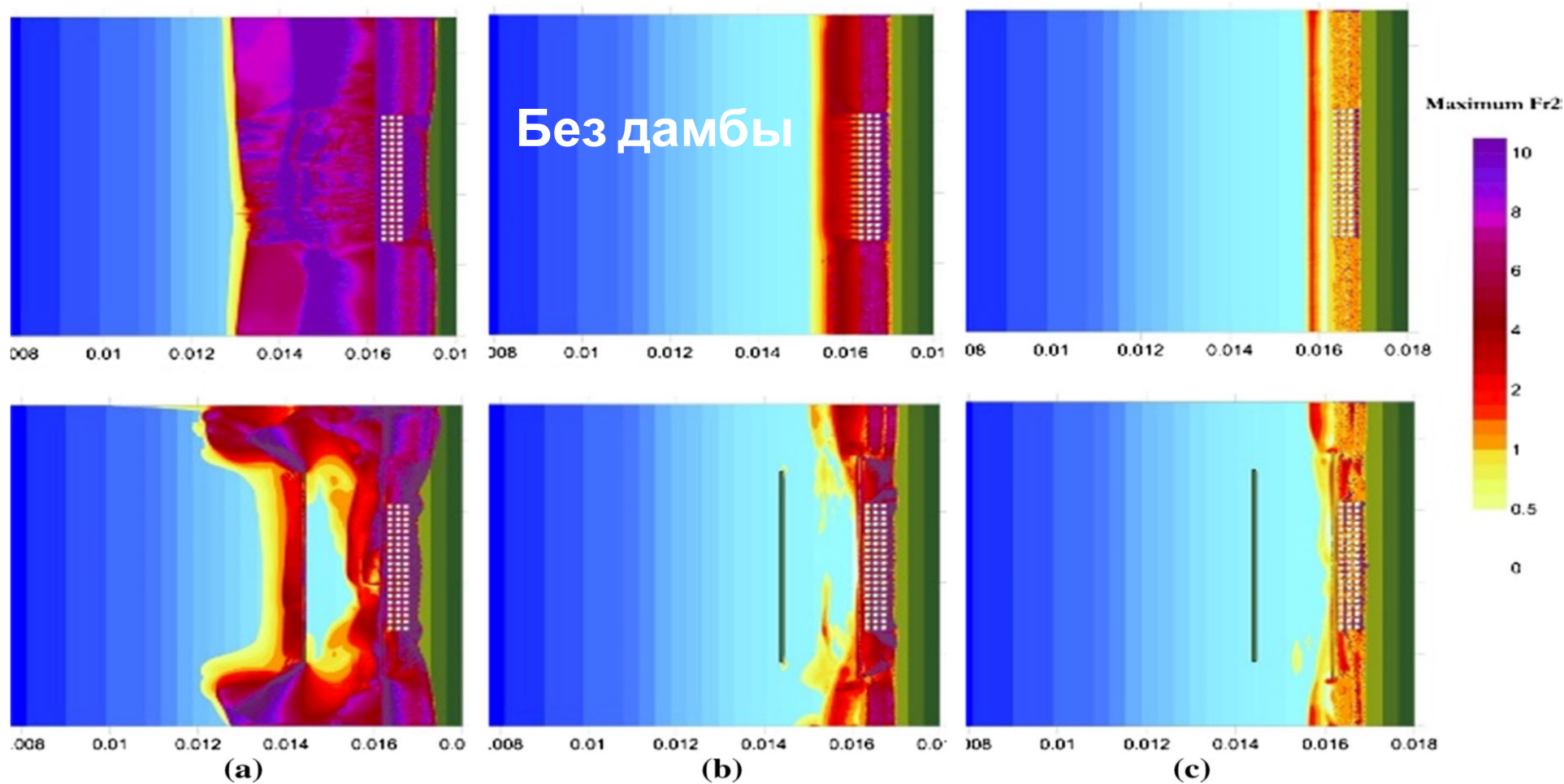
Разница в скоростях от дамбы



Fragility «хрупкость» Function



Влияние дамбы на поселок – роль числа Фруда



3 мин

24 мин

48 мин

Движение донных осадков – параметр Рауза (Rouse)

$$R = \frac{W_s}{\beta k u_*}$$

R < 7 – начало движения

Скорость осаждения частиц

$$W_s = \frac{8\nu}{d} \left[\sqrt{1 + \frac{(s-1)gd^3}{72\nu^2}} - 1 \right]$$

2.5 – 7 – влекомые наносы

R < 1.2 – взвешенные наносы

Скорость трения

$$u_* = U \sqrt{\frac{f}{8}}$$

**Выбор районов с большими
изменениями дна –
транспортные модели**

U – скорость течения

d – диаметр частиц

s – их плотность/плотность воды

ν – кинематическая вязкость

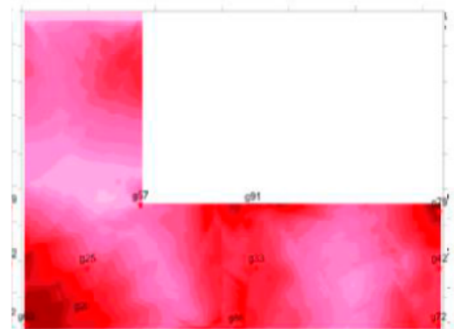
f – коэф. Трения Дарсу

Идеализированный бассейн, $L = 1$ км, $h = 20$ м

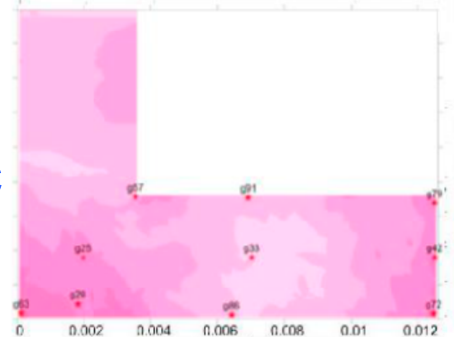
16 с



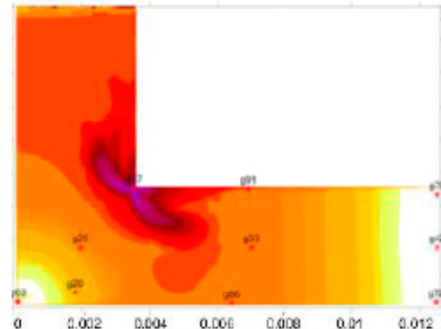
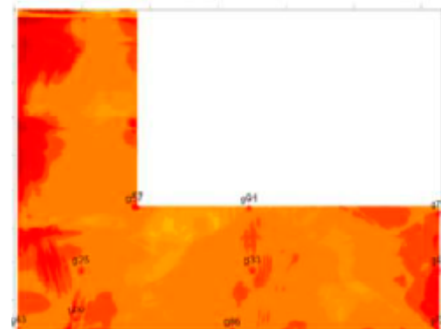
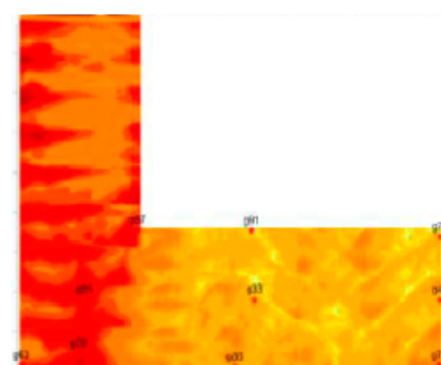
90 с



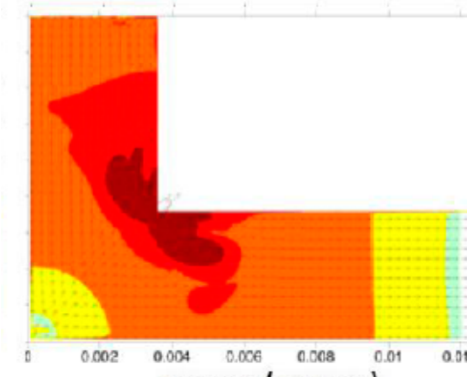
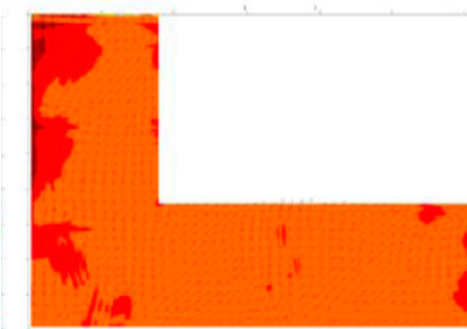
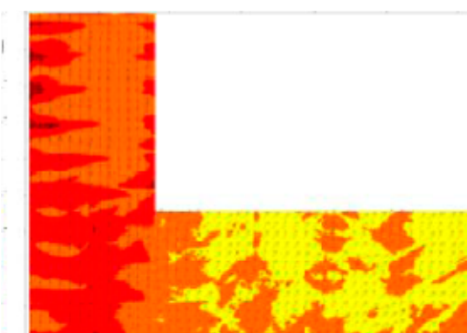
146 с



Высота

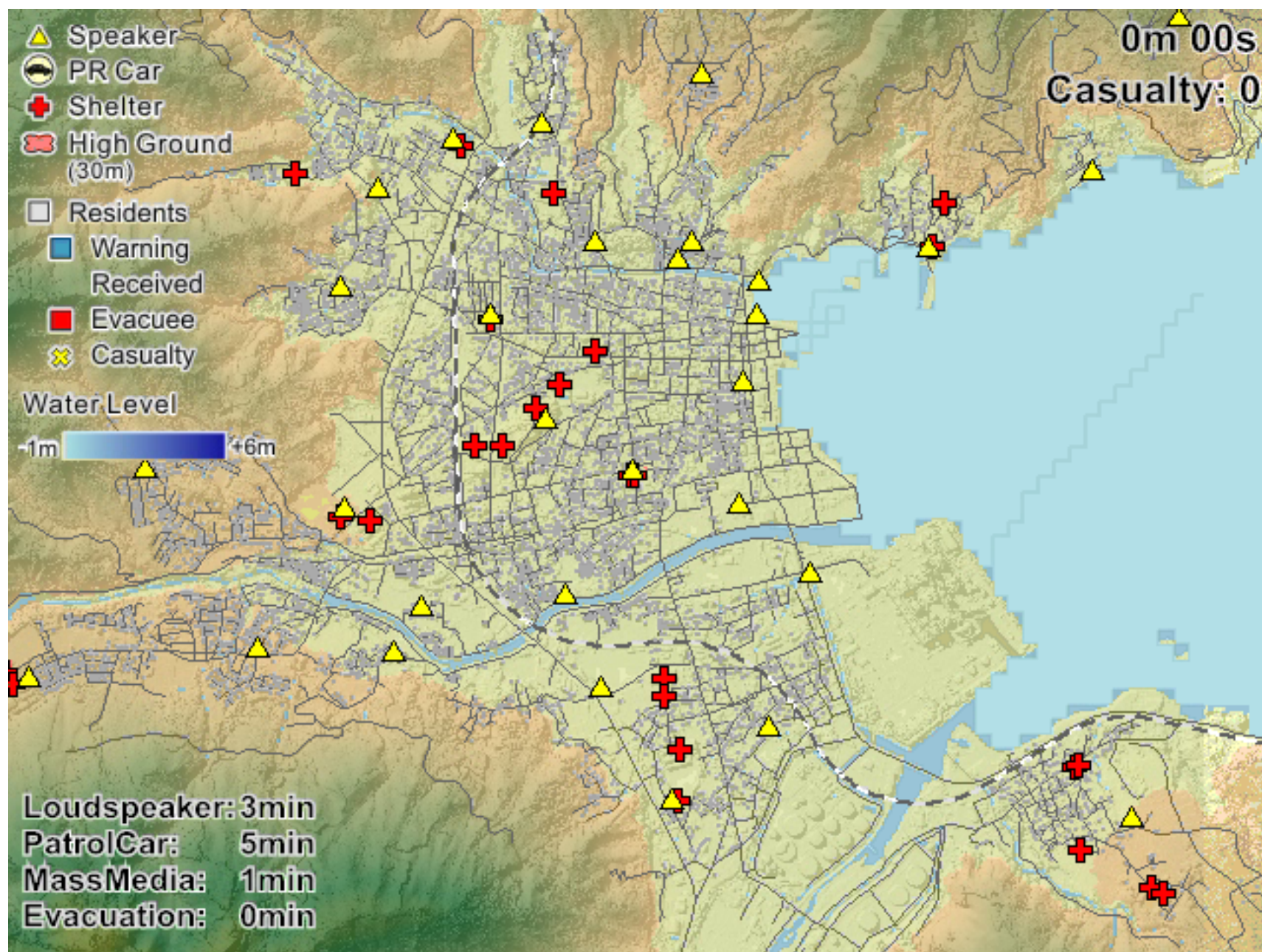


Скорость



число Рауза

Определение путей эвакуации (2011 г)



Воздействие цунами на берега и сооружения

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
<i>Клячко М. А.</i> О нормах проектирования зданий и сооружений в цунамиопасных районах	5
<i>Гусяков В. К.</i> Методы и проблемы оценки цунамиопасности морских побережий	26
<i>Кайстренко В. М.</i> Количественная оценка цунамиопасности и карты цунамирайонирования	39
<i>Иванова А. А., Куликов Е. А., Файн И. В.</i> О моделировании Симфуширских цунами 2006 и 2007 гг. в районе Средних Курил	56
<i>Гюлер Х., Чинар Г., Шархиванд Н., Создинлер Д., Доган Г., Немюглю О., Зайцев А., Ягчинер А.</i> Воздействие волн цунами на побережье и сооружения (на англ. яз.)	65
<i>Зайцев А. И., Куркин А. А., Пелиновский Е. Н., Ягчинер А., Киан Р.</i> Исследование влияния размеров L-формы залива на отложение донных осадков под воздействием волн	73
<i>Кантарджи И. Г., Ахулинин А. Н.</i> Физическое моделирование воздействия волн цунами на береговые сооружения	78
<i>Рулман Ю. Л., Фильков В. Ю.</i> Определение коэффициента динамичности при воздействии бора на огражденное сооружение гравитационного типа	91
Правила представления материалов в редакцию	97

Семенов К. К., Нуднер И. С., Лебедев В. В., Захаров Ю. Н., Зимин А. И., Стуколов С. В. Лабораторные и численные исследования профиля волн цунами, распространяющихся по ровном дну.

Дорфман А. А., Печенин С. А., Семенов К. К., Нуднер И. С., Максимов В. В. Воздействие волны цунами на морские гидротехнические сооружения и береговые объекты.

Нуднер И. С., Семенов К. К., Хакимзянов Г. С., Шокина Н. Ю. Исследование взаимодействия длинных морских волн с сооружениями, защищенными вертикальными экранами.

Беляев Н. Д., Лебедев В. В., Алексеева А. В., Нуднер И. С., Семенов К. К., Щемелинин Д. И. Исследования изменений структуры грунта при воздействии волн цунами на гидротехнические сооружения.

Максимов В. В., Нуднер И. С., Лебедев В. В., Семенов К. К., Кшевецкий С. П., Амосов А. А. Взаимодействие волн цунами с откосными сооружениями.

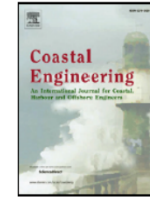
Рувинская Е. А., Куркина О. Е., Куркин А. А., Зайцев А. И. Моделирование воздействия внутренних волн на морские платформы для гидрологических условий шельфовой зоны о. Сахалин (на англ. яз.).



Contents lists available at ScienceDirect

Coastal Engineering

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



A deterministic approach for assessing tsunami-induced building damage through quantification of hydrodynamic forces

Yan Xiong^a, Qiuhua Liang^{a,b,*}, Hyoungsu Park^c, Daniel Cox^c, Gang Wang^a



J. Ocean Eng. Mar. Energy (2016) 2:365–380
DOI 10.1007/s40722-016-0054-6

RESEARCH ARTICLE

Numerical study on mitigating tsunami force on bridges by an SPH model

Zhangping Wei¹ · Robert A. Dalrymple¹



Contents lists available at ScienceDirect

Coastal Engineering

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



Three-dimensional modeling of tsunami forces on coastal communities

Xinsheng Qin, Michael R. Motley*, Nasser A. Marafi

Заключение

Существующие методы расчета цунами позволяют:

- сделать оценки силового воздействия цунами на одиночные преграды и вертикальные стенки,
- оценить эффективность дамб и стенок,
- Предсказать зоны сильного размыва дна

А затем уже переходить к более сложным 3D моделям для малых акваторий



И пусть наши дети спокойно смотрят на море!