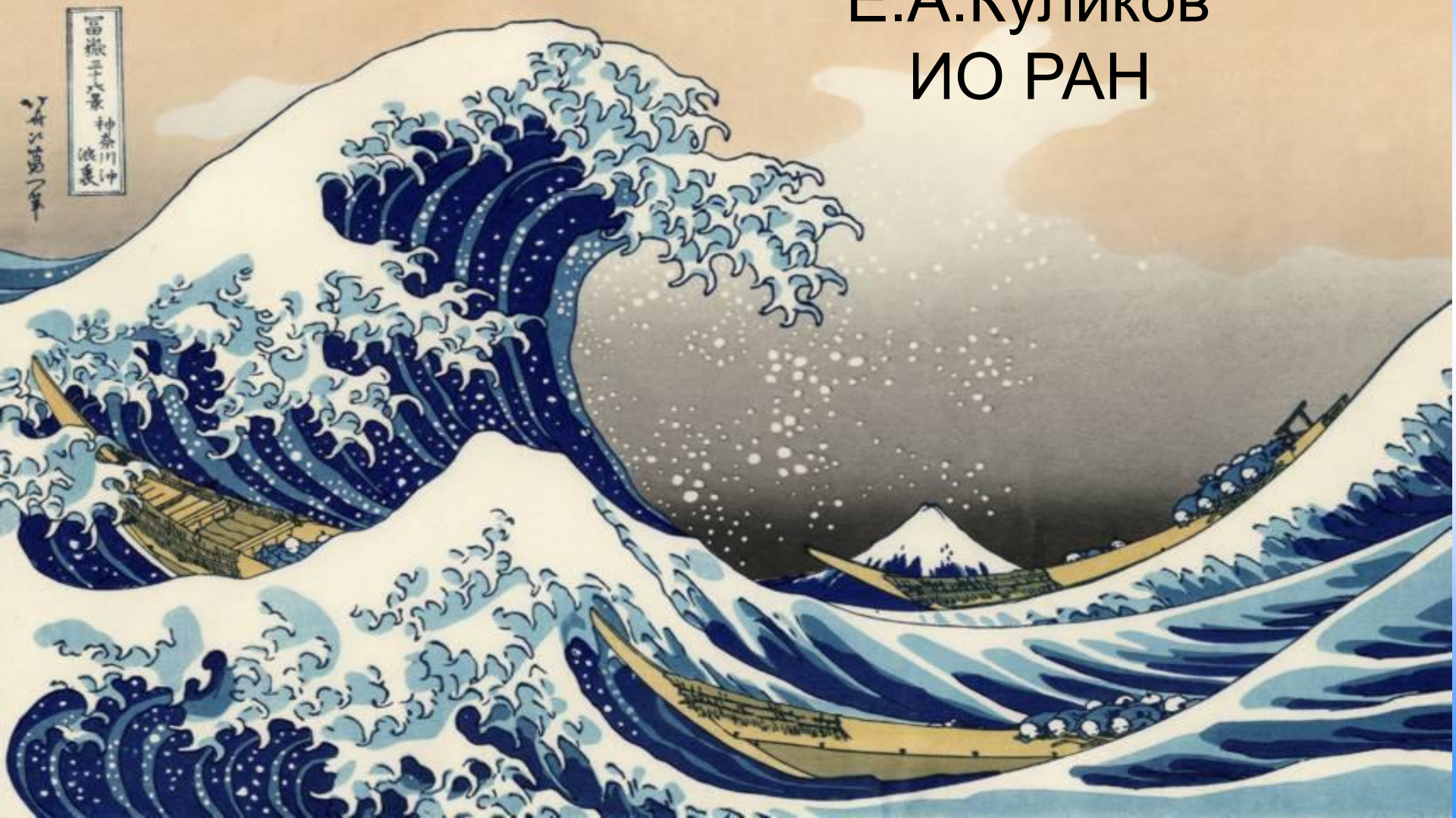




ЦУНАМИ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Е.А.Куликов
ИО РАН



Содержание:

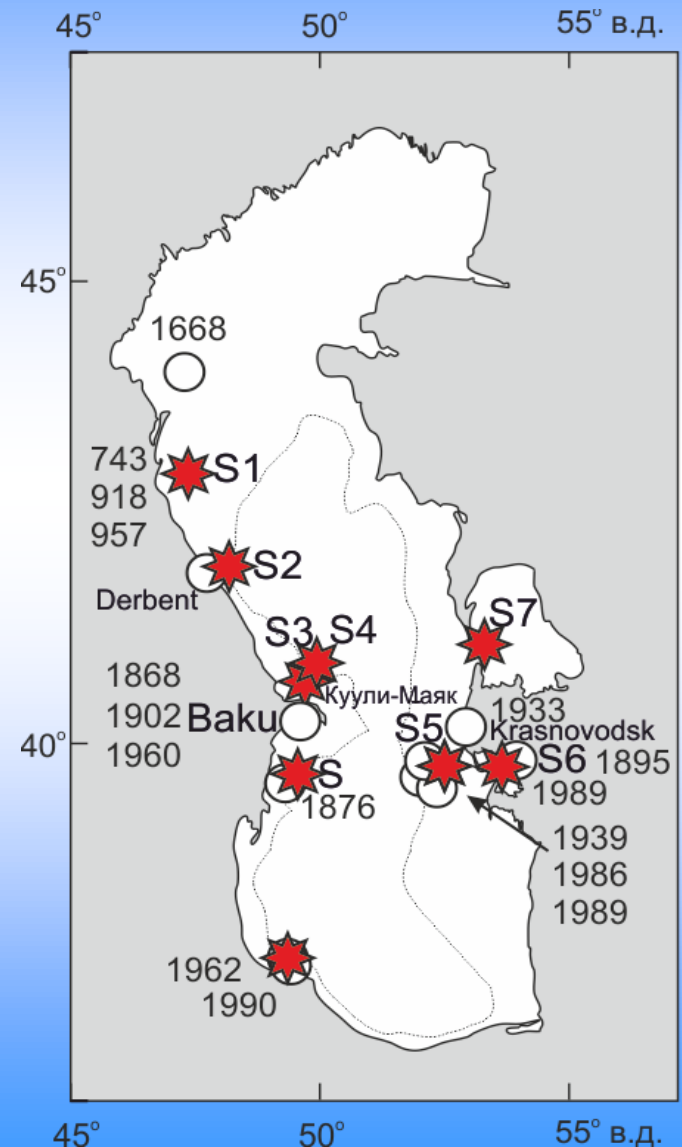
1. Что нам известно о цунами в Каспийском море?
2. Сейсмичность и сейсмический потенциал региона
3. Вероятностный и детерминистский подход к оценке цунамиопасности
4. Численное моделирование цунами
5. Оценки наката цунами на берег

Исторические данные о сейсмичности и проявлении цунами

Незалитые кружки – области, где наблюдались исторические цунами и аномальные изменения уровня.

Красные звезды (S1 - S7) – зоны относительно высокой сейсмичности в акватории Каспия [*Panakhi & Kasparov, 1988*].

Цифрами указаны годы исторических событий.



Красноводское землетрясение 8 июля 1895 г.

Сильнейшее сейсмическое событие в Каспийском регионе ($M_w = 7.9$) с эпицентром около города Красноводск.

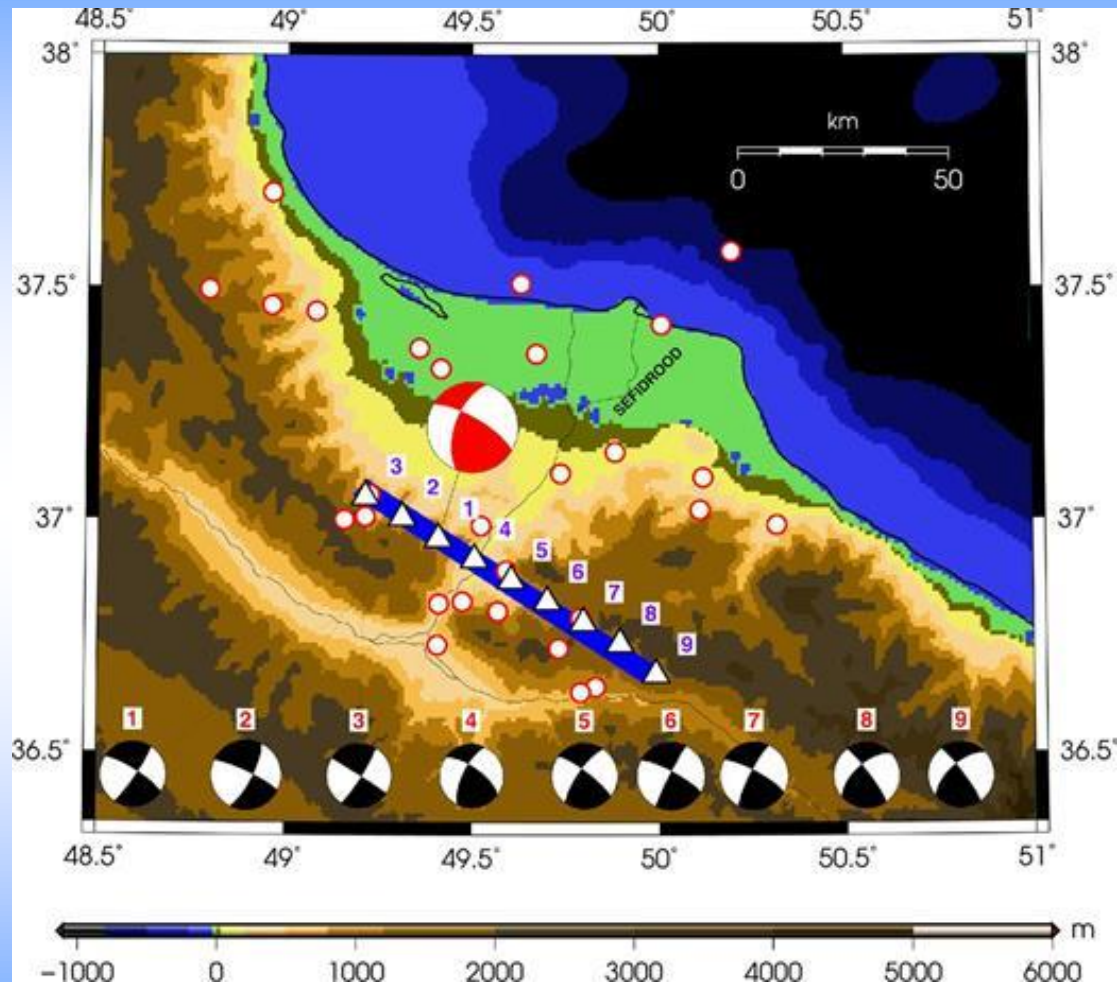
Ивановский (1895) В ночь, около 2 часов 30 минут с 26 на 27 июня (старый стиль) когда большая часть населения Узун-Ада уже спала, все моментально проснулись от сильнейшего толчка, который затем несколько раз повторился, и от страшного скрипа и качания деревянных зданий. Проснувшиеся хотели выскочить на улицу, но многие не могли этого сделать, потому что их отбрасывало от дверей, и пришлось вылезать на четвереньках. Те, которые выскочили на улицу, увидели, что вся часть острова Узун-Ада... весьма быстро покрывается водою. Образовалась такая трясина, по которой не было возможности пройти...»

[*Golinskii*, 1977; *Ivanovskii*, 1899].

Многие очевидцы красноводского землетрясения сообщали о затоплении берегов Каспийского моря. Так, северная и западная части полуострова Узун-Ада быстро покрылись водой, залившей постройки. С моря хлынули огромные волны, затопили здания и пристани. На улицах возникли двухметровой ширины трещины, из которых била вода. Многие постройки рухнули, волна снесла в море несколько домов. Воды полностью затопили большой портовый поселок Узун-Ада, где в 1886 году была построена головная станция Закаспийской железной дороги. Позднее ее перенесли в Красноводск.

Голинский (1977). Западная Тукмения // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука. С. 489-494.

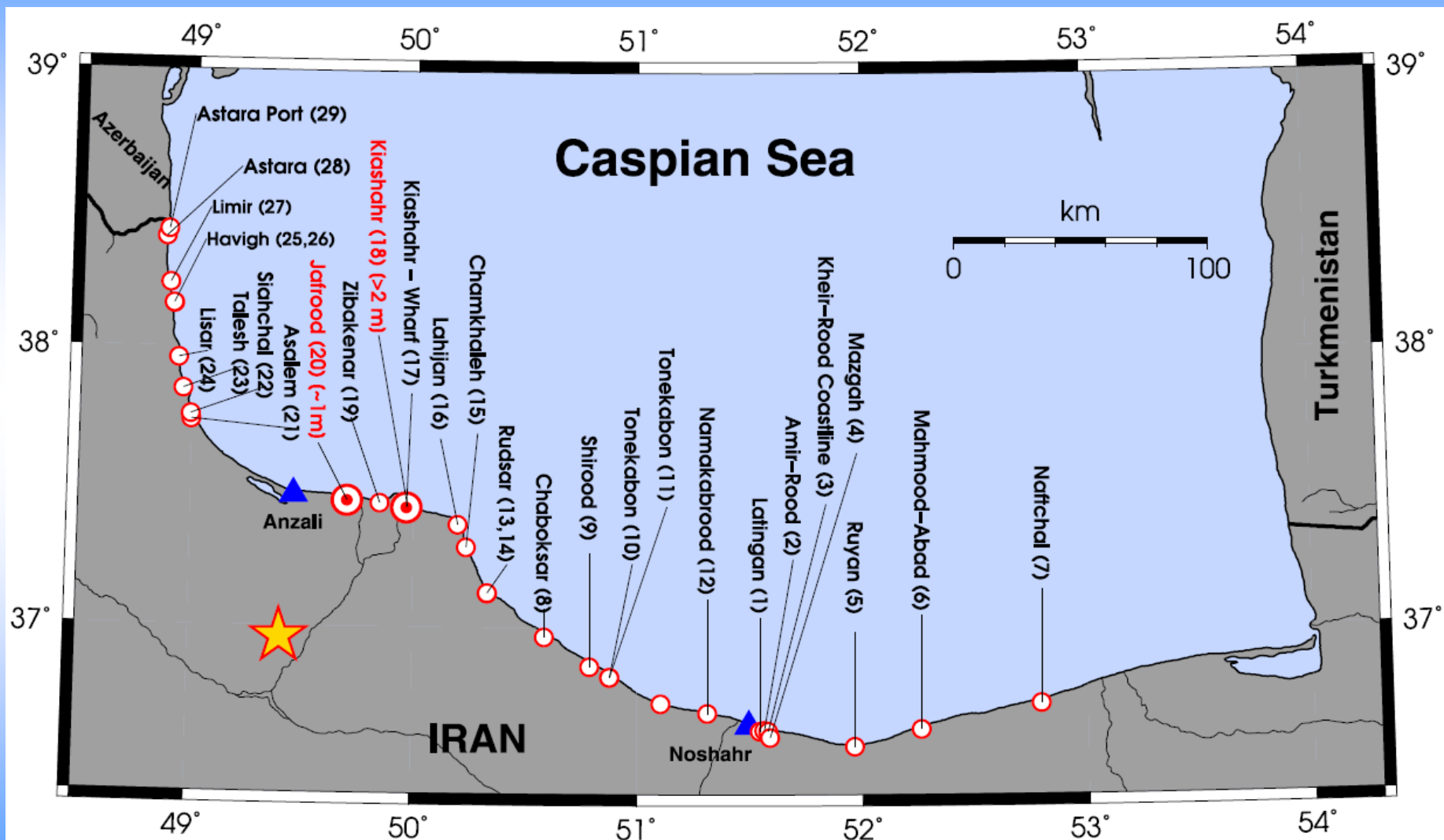
Рудбарское землетрясение и цунами 20 июня 1990 г. ($M_w = 7.4$)



From [Amir Salaree & Emile A. Okal, 2015]

Отмечены точки, где наблюдались волны цунами

Height_{max} ~ 2 m

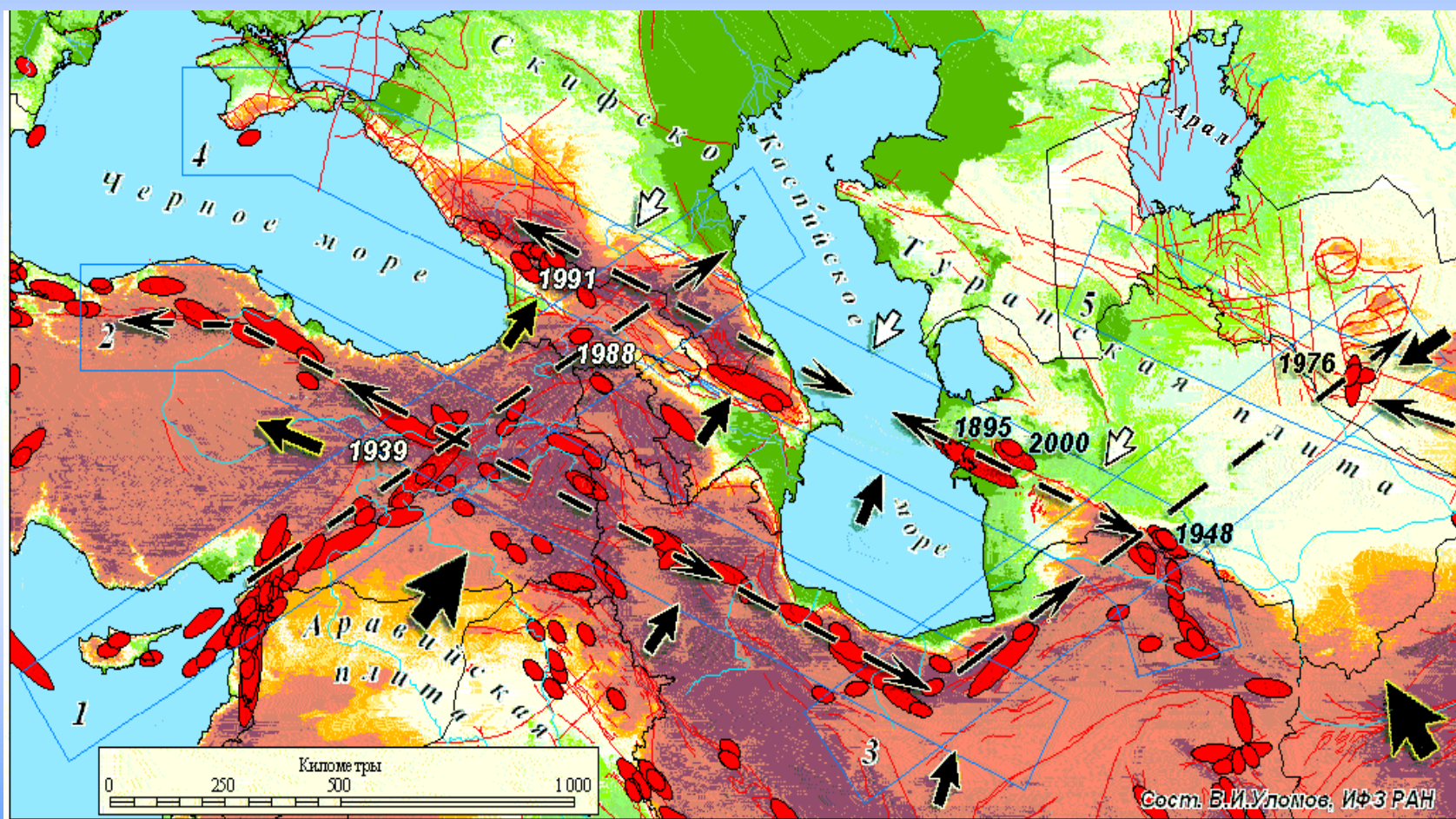


From [Amir Salaree & Emile A. Okal, 2015]

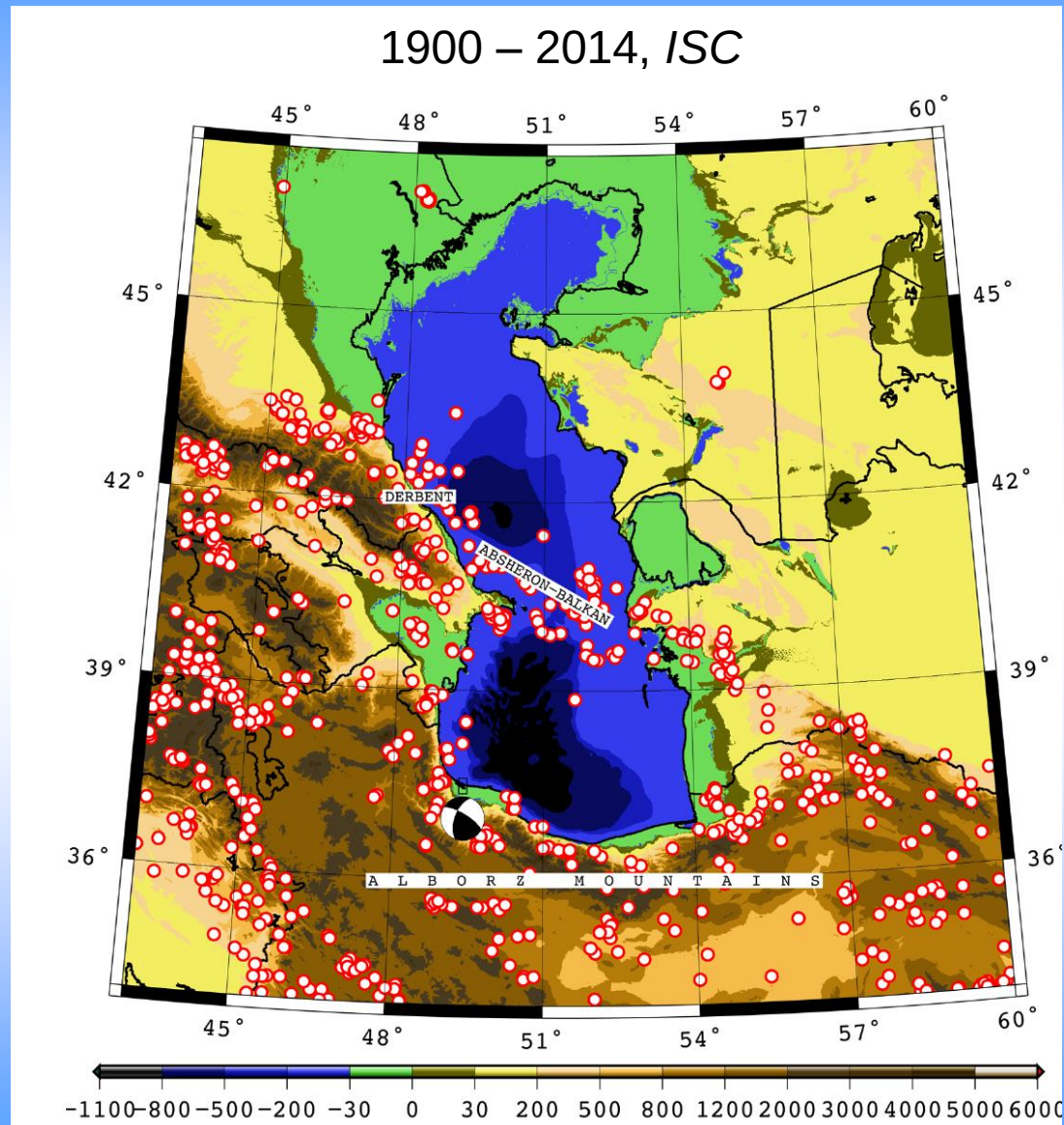
Оценки высоты цунами с повторяемостью 200, 1000 и 5000 лет для некоторых пунктов Северного Каспия [Kulikov et al., 2014]

Пункт	Широта	Долгота	Высота цунами 200 лет, m	Высота цунами 1000 лет, m	Tsunami height 5000 лет, m
Туркменбаши	40,02	52,97	0,96	3,65	5,00
Актау	43,65	51,15	0,74	2,82	3,85
Форт Шевченко	44,52	50,27	0,48	1,83	2,50
Махачкала	42,98	47,48	1,00	3,80	5,20
Каспийск	42,88	47,63	0,96	3,65	5,00
Избераш	42,57	47,87	1,10	4,18	5,72
Дербент	42,07	48,30	1,32	5,02	6,87
Сумгаит	40,59	49,64	1,26	4,79	6,56
Баку	40,37	49,84	0,95	3,61	4,94

Сейсмичность и сейсמודинамика Каспийского региона [Ulotov, 2005]

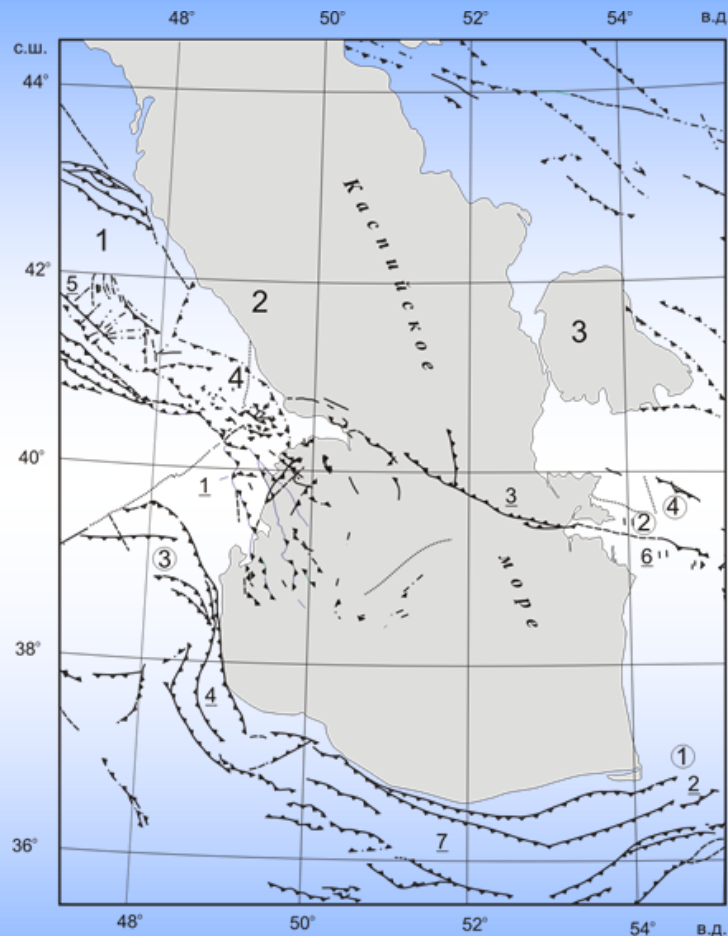


Сейсмичность северного Иранского плато и Каспийского региона



From [Amir Salaree & Emile A. Okal, 2015]

Расположение тектонических областей, структур и разломов в Каспийском регионе

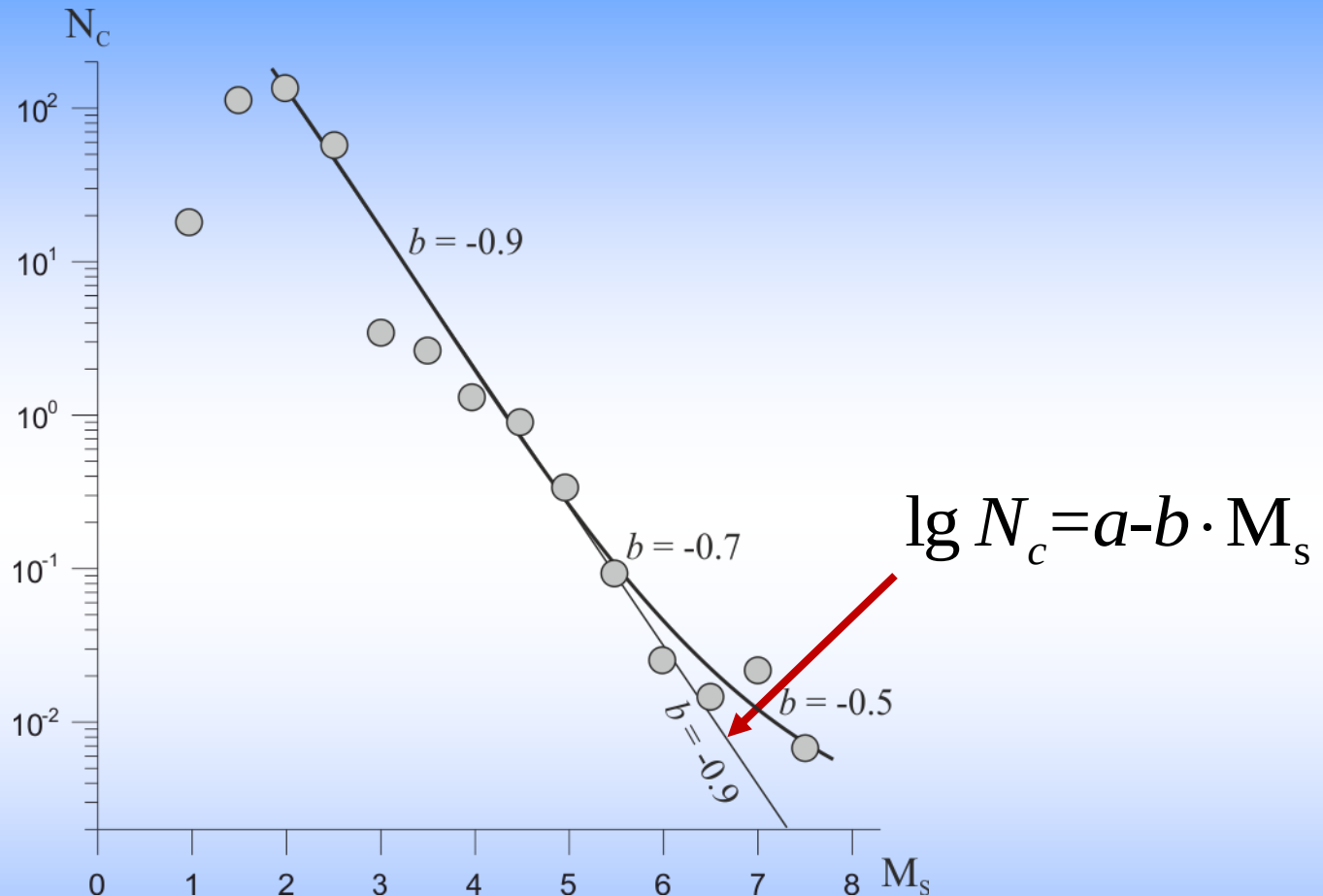


Тектонические области: 1 - Дагестанский клин; 2 - Дербентский прогиб; 3 - залив Кара-Богаз-Гол; 4 - юго-восточный Кавказ.

Тектонические структуры: ① - Горганский прогиб; ② - Келькорский прогиб; ③ - Талышская дуга; ④ - Большой Балхан.

Разломы: 1 - Ардебильский; 2 - Аладагский; 3 - Апшеронский; 4 - Ардебильский; 5 - главный Кавказский надвиг; 6 - Шак-Челенская зона разломов; 7 - зона разломов Эльбурса.

Повторяемость землетрясений график (G-R) Для Каспийского региона



N_c is the annual number of earthquakes with magnitudes $\geq M_s$, and b is the slope of the G-R plot [Ulomov, 1990].

Сейсмический потенциал Каспийского региона

Магнитуда M_S	Период повторяемости T , годы	
	Для всего региона	Для акватории Каспия
6.0 ± 0.2	2.6	24 (~15)
6.5 ± 0.2	7.8	68 (~30)
7.0 ± 0.2	24 (~15)	195
7.5 ± 0.2	72 (~55)	560
8.0 ± 0.2	216 (~330)	1620
8.5 ± 0.2	655	-

[Ulomov, 2001]: $\lg N_c = 4.135 - 0.918 M_S$.

Вероятностный и детерминистский подход к оценке цунамиопасности

“Наихудший” сценарий (факторы)

1. Взброс/сброс (Dip-slip)
2. Крутой угол падения (dip angle close to 90°)
3. Мелкофокусное землетрясение
4. Большая глубина моря в очаге
5. Направленность излучения волн цунами

...

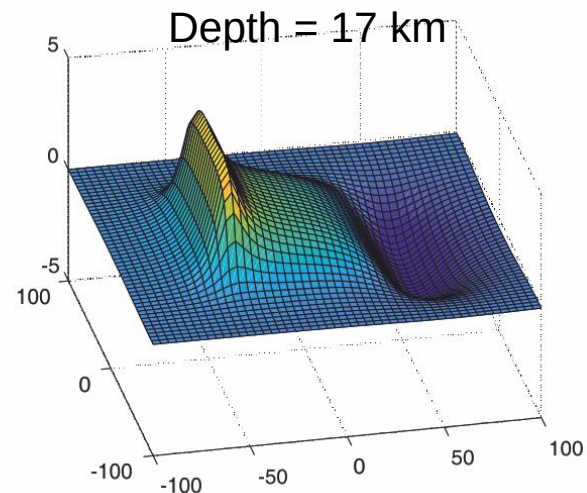
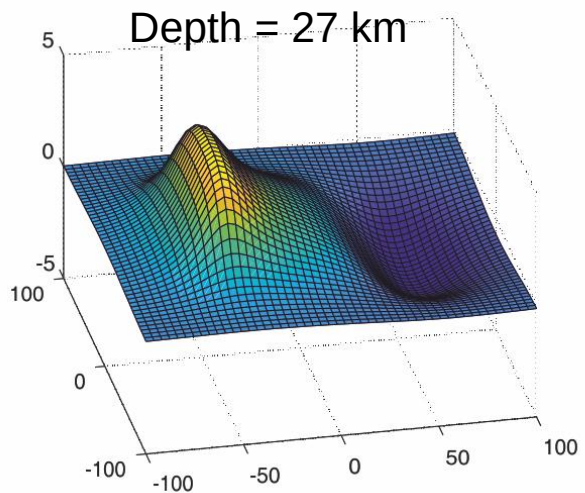
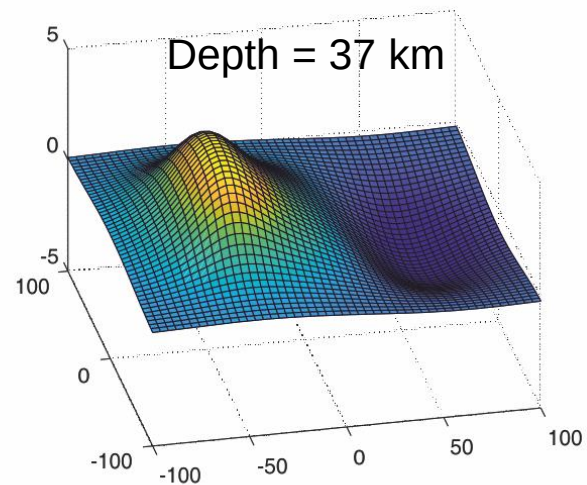
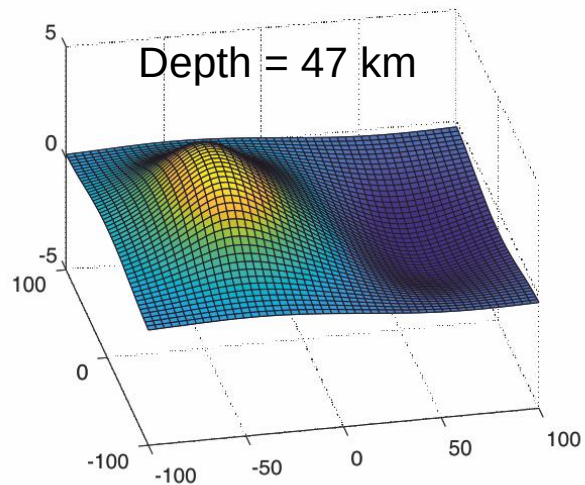
и др.

We consider worst-case scenarios, where the size of the earthquake is not limited by the largest known event, but merely by the dimension of the basin over which a coherent fault may propagate. While such scenarios are arguably improbable, they may not be impossible, and as such must be examined [Okal et al., 2010]

Косейсмические деформации дна в очаге

Как деформация дна зависит от глубины залегания очага

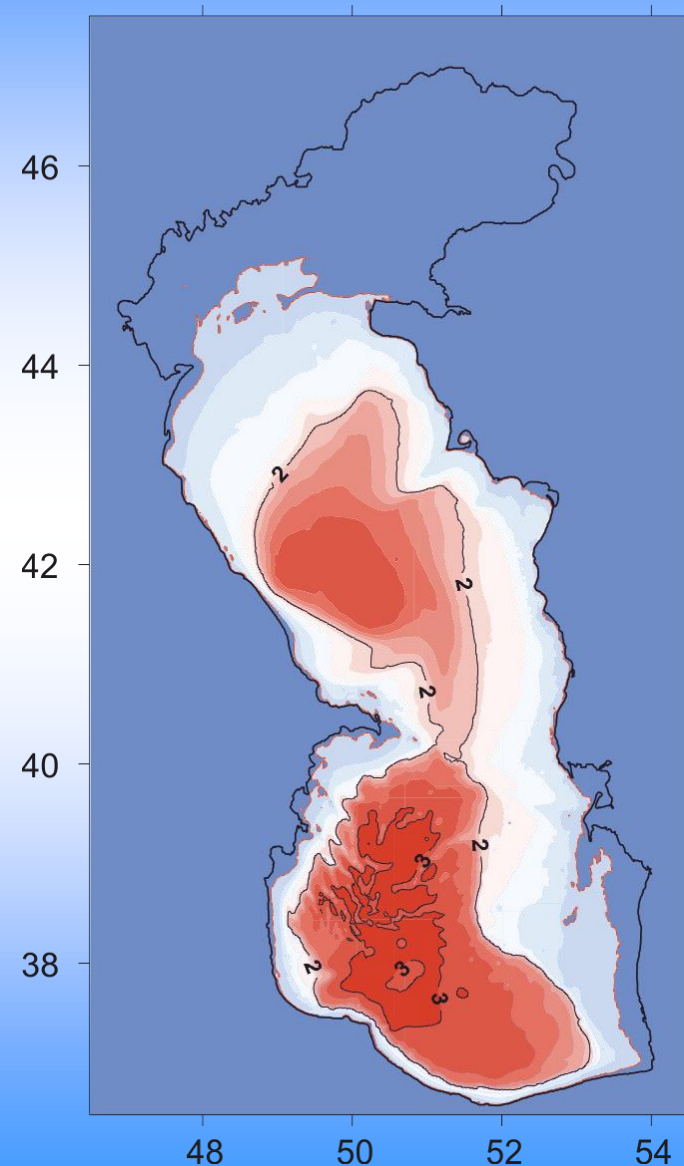
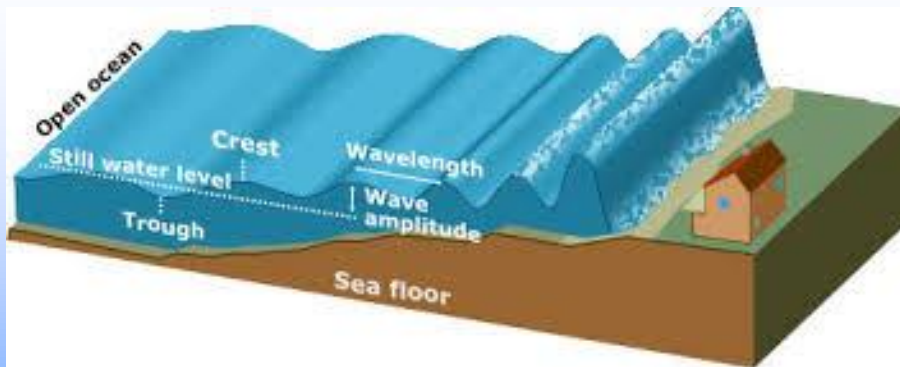
DIP=10; LENGTH=100; WIDTH=100; RAKE=90; SLIP=12.6;



Эффективность возбуждения волн цунами

Green law

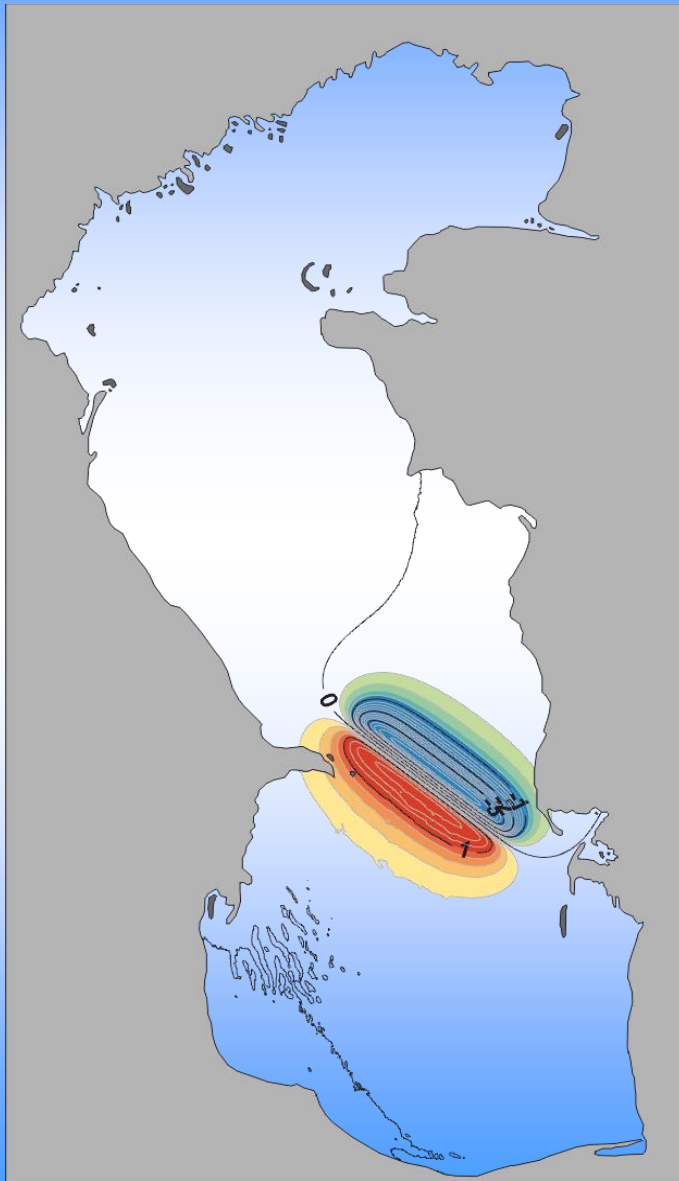
$$A \sim h^{-1/4}$$



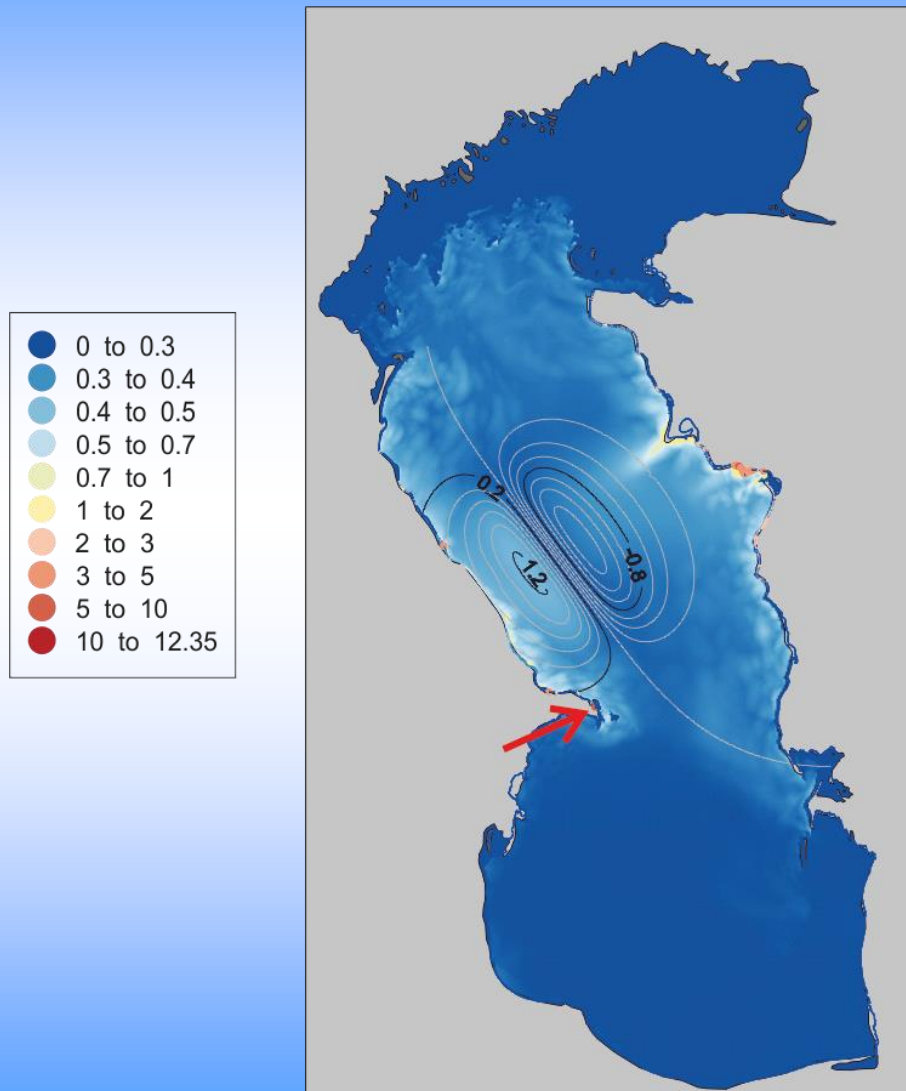
Численное моделирование цунами

В настоящее время широко применяется несколько численных моделей распространения волн цунами в океане, например, TUNAMI [Imamura], MOST [Titov], NAMI-DANCE [Yalciner, Zaytsev]. Используемая в данной работе модель является разновидностью TUNAMI – в ней реализована конечно-разностная аппроксимация уравнений мелкой воды в сферической системе координат аналогичная [Imamura, 1996].

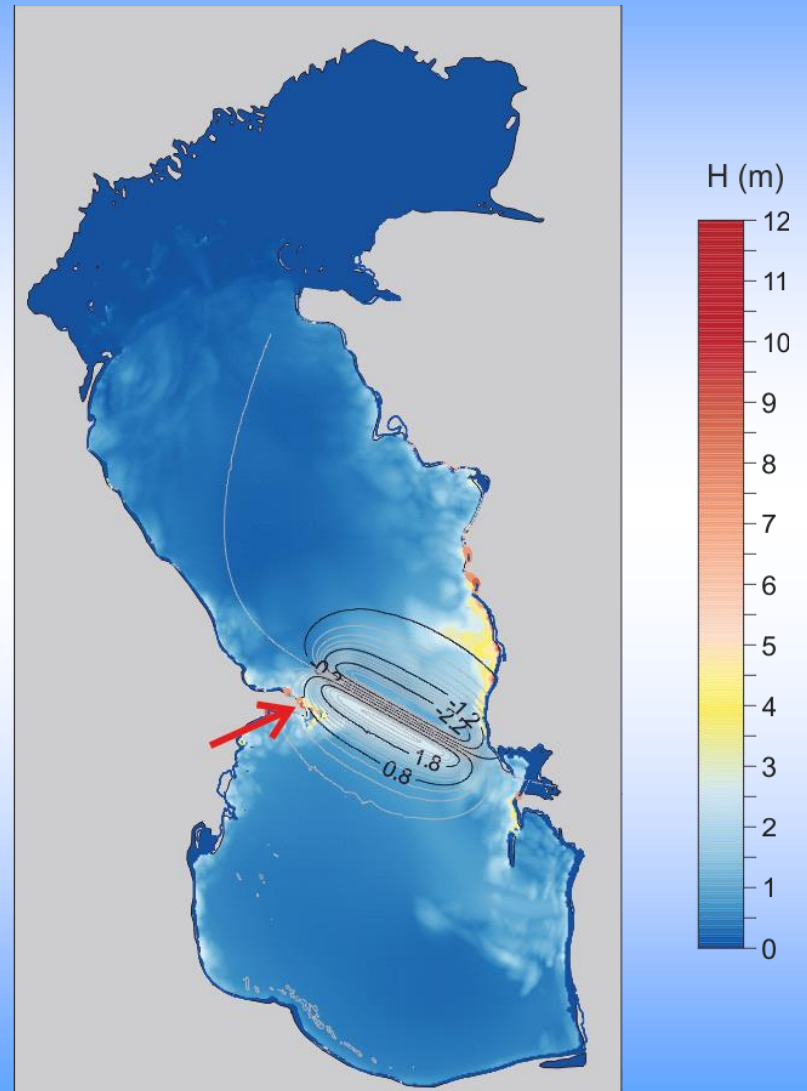
Пример численного моделирования



Case 1



Case 2

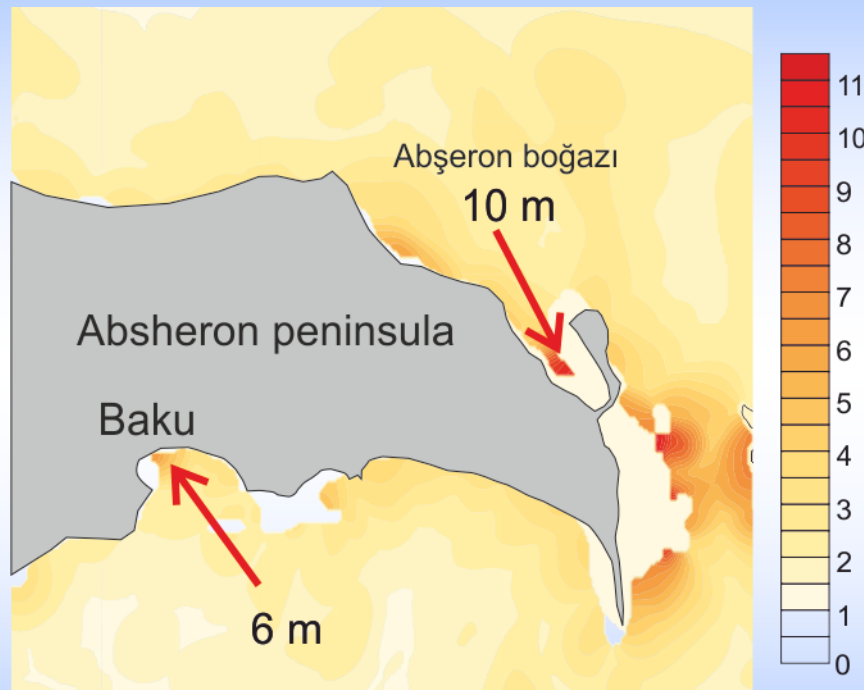


Распределение высот волн цунами в районе Апшеронского полуострова (Abşeron yarımadası)

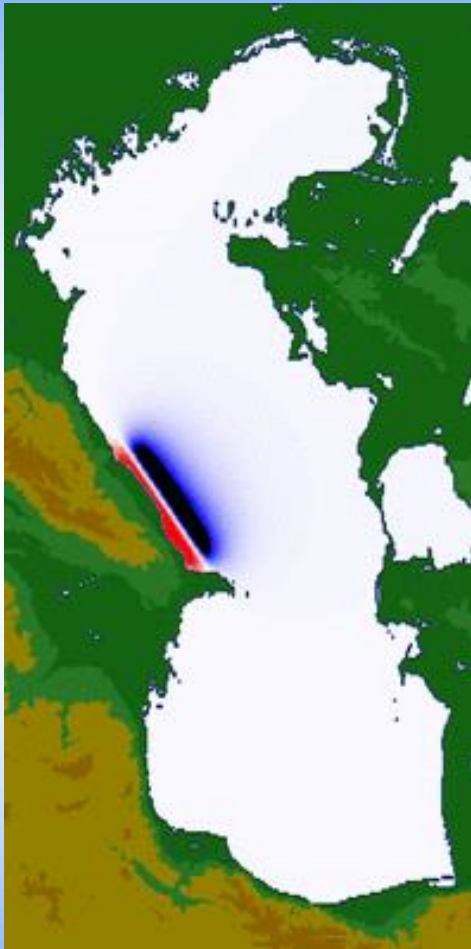
Case 1



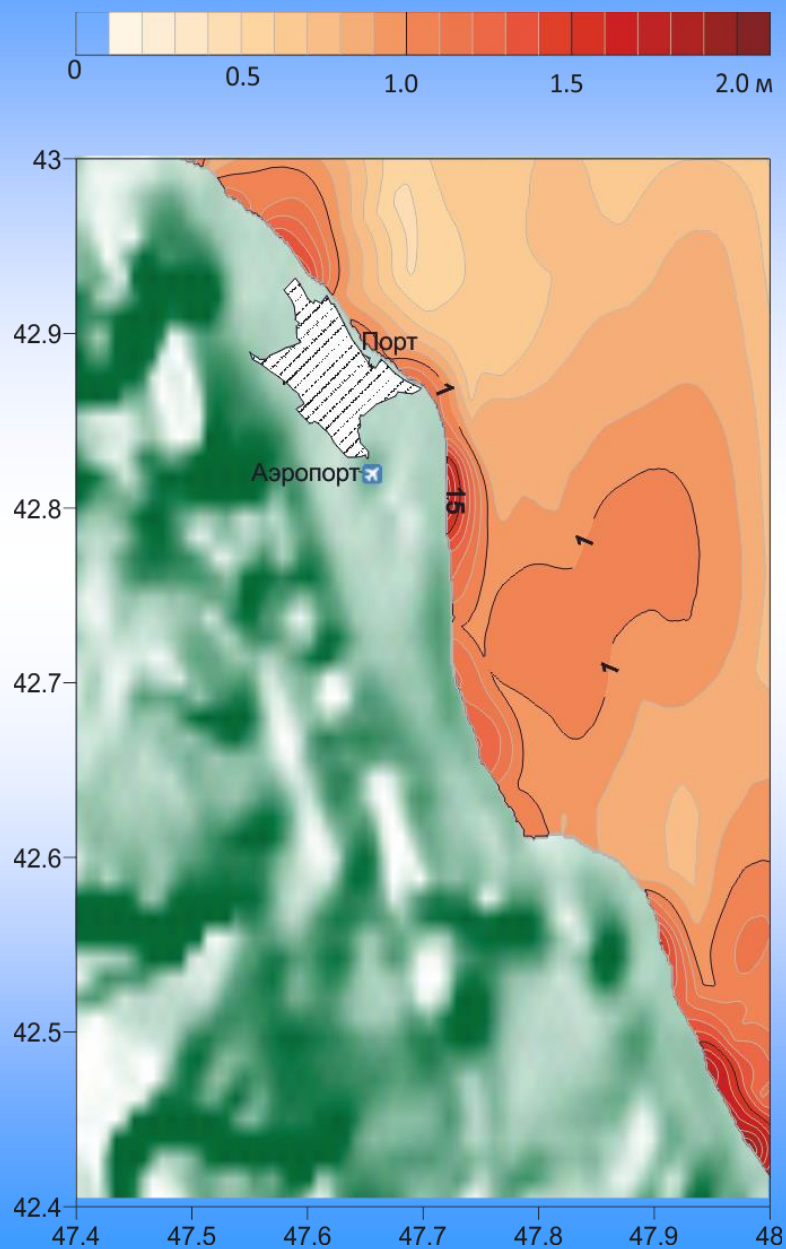
Case 2



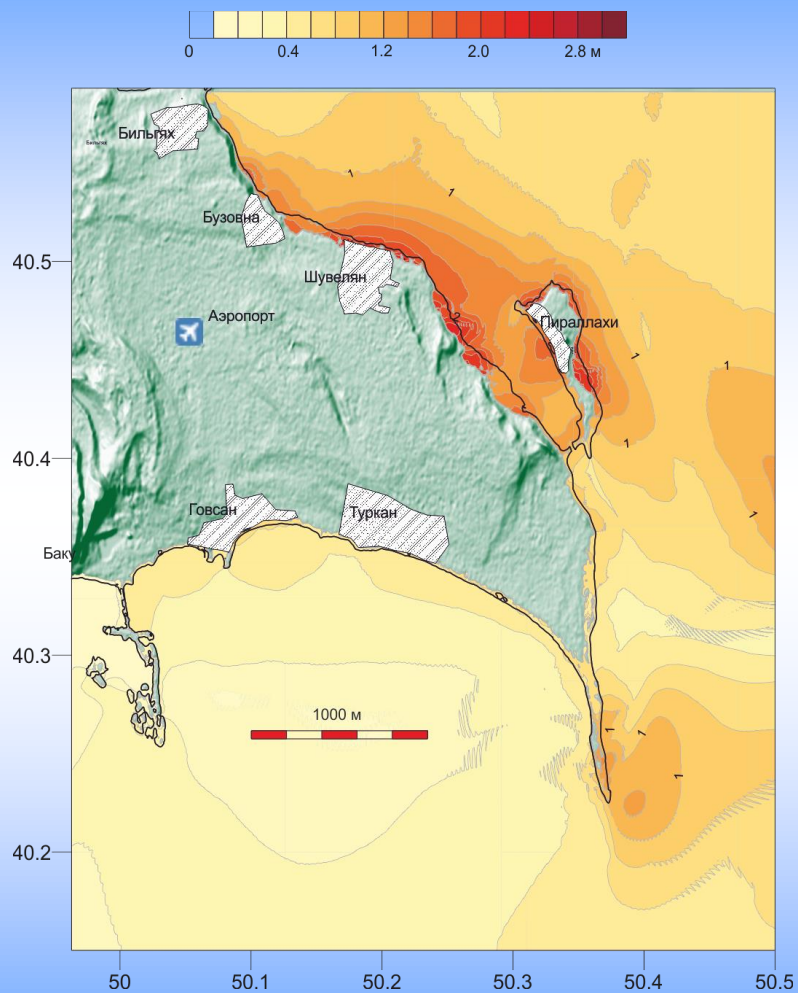
Анимация расчета по численной модели распространения цунами



Результаты расчета высоты волн цунами в районе Каспияска



Результаты расчета высоты волн цунами в районе Апшеронского п-ва





Thank you