

Физическая география Мирового океана

Лекция 5. Волновые процессы в океане.

доц. Ф. Н. Гиппиус

Кафедра океанологии МГУ имени М. В. Ломоносова

gippiusfn@my.msu.ru

Определение

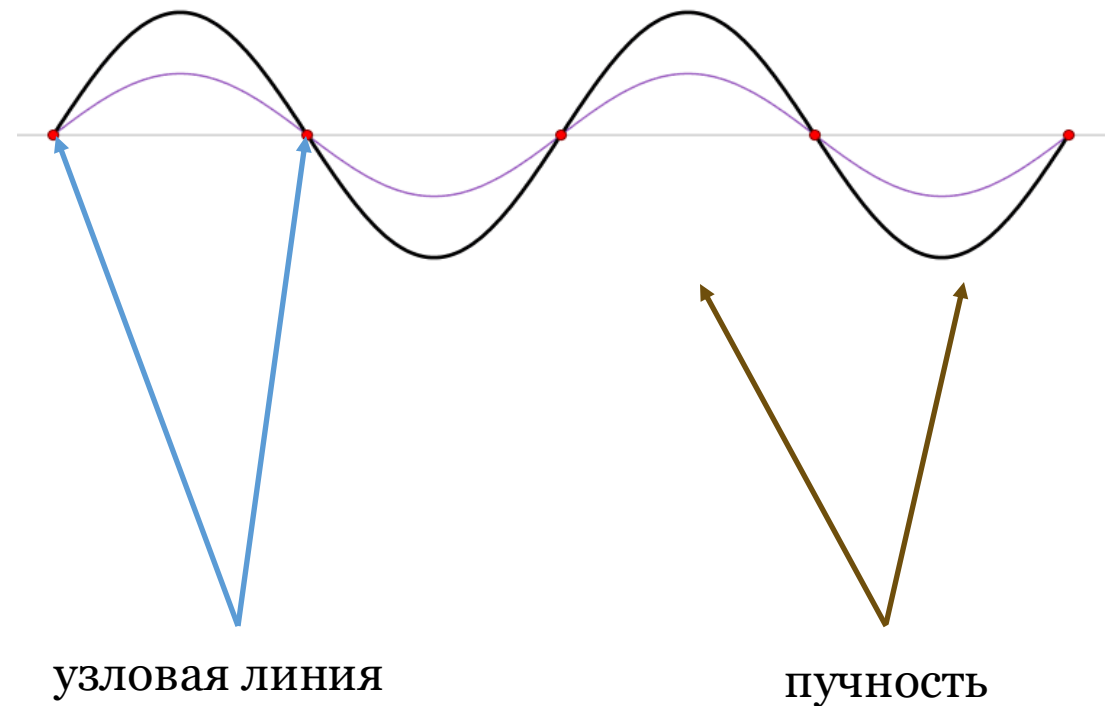
- Волна в водной среде представляет собой непрерывную совокупность упорядоченных колебательных движений частиц относительно среднего положения, охватывающих некоторую область пространства, которая в общем случае зависит от времени.

Классификация волн

Прогрессивные волны

Движущиеся возмущения равновесного состояния среды. В случае ветровых волн на поверхности моря такие возмущения представляют собой периодические отклонения уровня от положения равновесия, происходящие в разных точках пространства с различными фазами. В результате возникают движущиеся друг за другом волновые гребни и впадины.

Стоячие волны



Классификация волн

Поверхностные волны

Обусловленные ими колебания частиц воды достигают наибольшей амплитуды на поверхности моря и с глубиной быстро затухают



Классификация волн

Внутренние волны

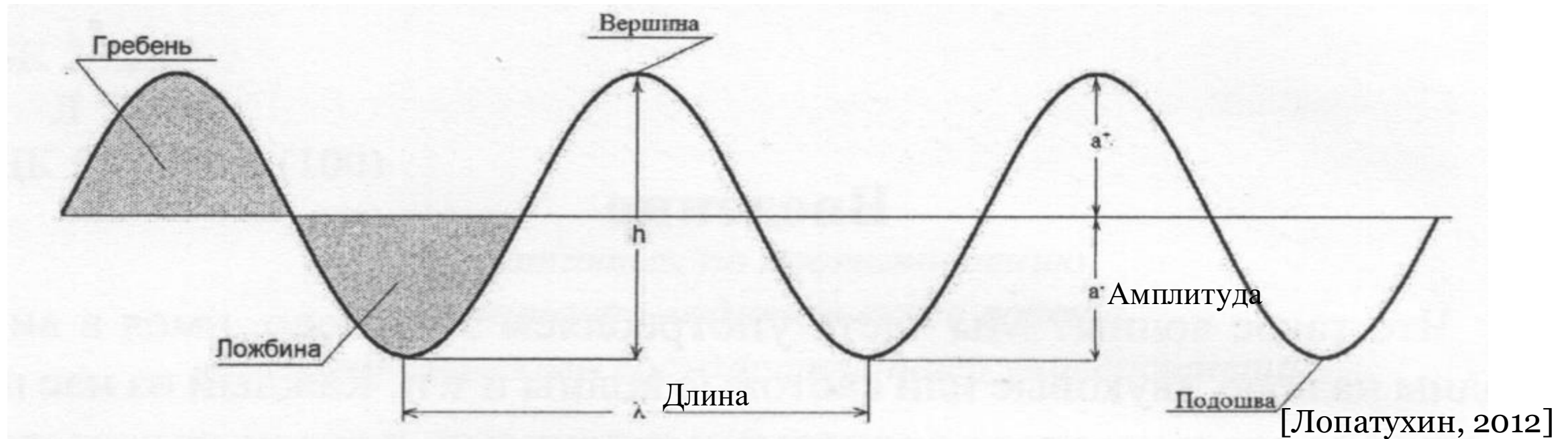
Существуют в стратифицированном океане. Амплитуда в толще воды (гораздо) больше, чем на поверхности



Классификация волн

Фактор, обуславливающий возвращающую силу	Тип волн в океане
упругость	акустические
поверхностное натяжение	капиллярные
гравитация	гравитационные
вращение Земли	гироскопические
изменение равновесной потенциальной завихренности, связанное с изменениями глубины и географической широты	волны Россби ^[LSEP] (планетарные и топографические)

Основные элементы плоской гармонической волны



T – период волны

$f = 1/T$ – частота

$k = 2\pi/\lambda$ – волновое число;

$\delta = h/\lambda$ – крутизна

$c = \sigma/k = \lambda/T$ – фазовая скорость

Ветровые волны

Частоты (Гц) и периоды (с) колебаний поверхности моря

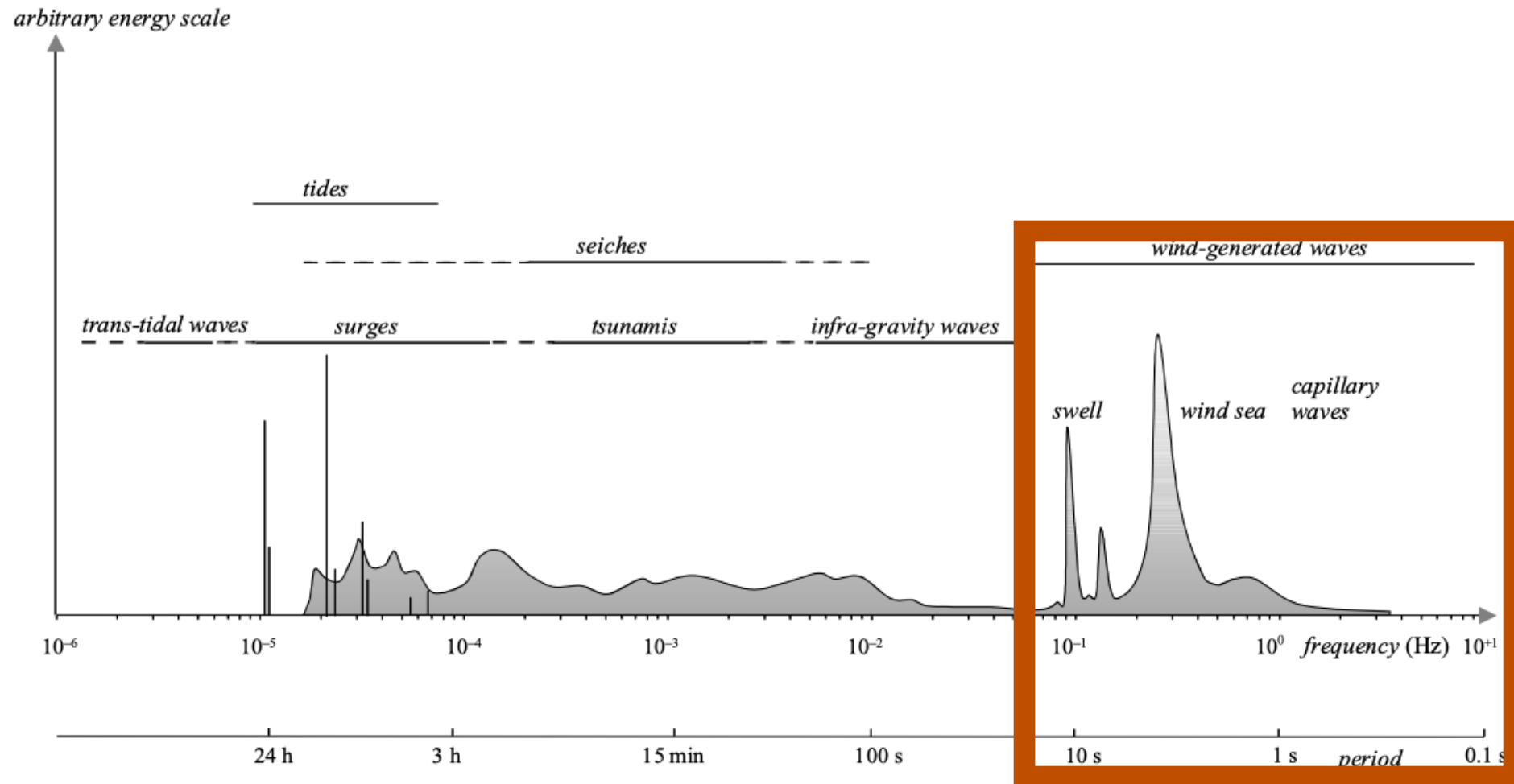


Figure 1.1 Frequencies and periods of the vertical motions of the ocean surface (after Munk, 1950).

Основные типы волн на поверхности воды

Тип волн	Физический механизм (причина)	Периоды
Капиллярные	Напряжение ветра и поверхностное натяжение	<1 сек.
Ветровые	Напряжение ветра и сила тяжести	<20 сек
Зыбь	Ветровые волны	<30 сек
Прибойные биения	Групповая структура волн	1—5 минут
Сейши	Колебания атмосферного давления и др. причины	2—40 минут и более
Тягун	Прибойные биения и групповая структура	2—40 минут
Цунами	Землетрясения, подводные оползни, извержения вулканов	10 мин. — 2 час.
Штормовые нагоны	Напряжение ветра, изменение атмосферного давления, перемещение циклонов	1—4 суток
Приливы	Притяжение Луны и Солнца, вращение Земли, законы всемирного тяготения	12—24 час.

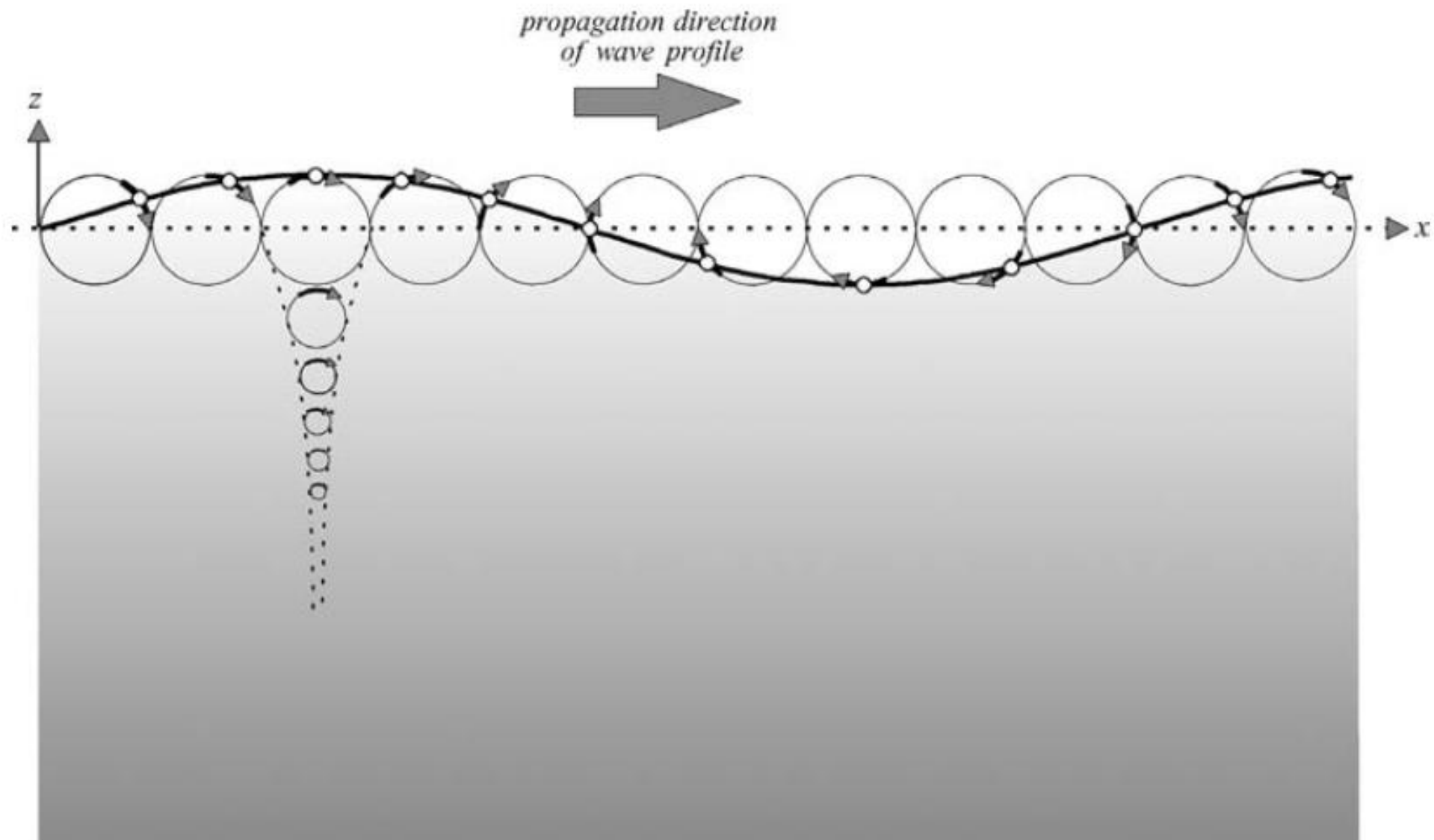
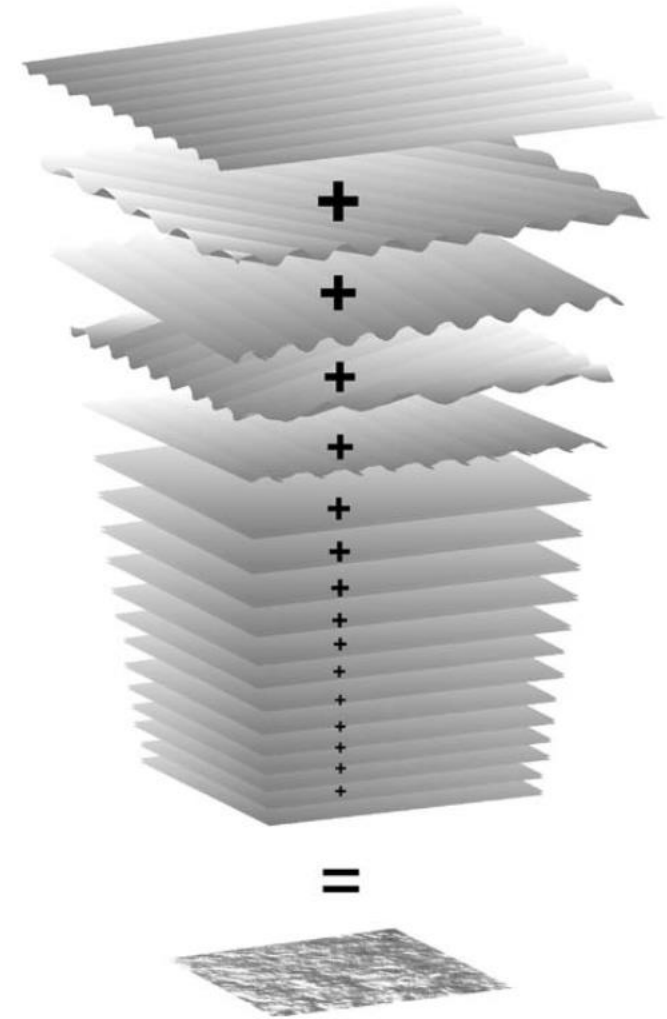
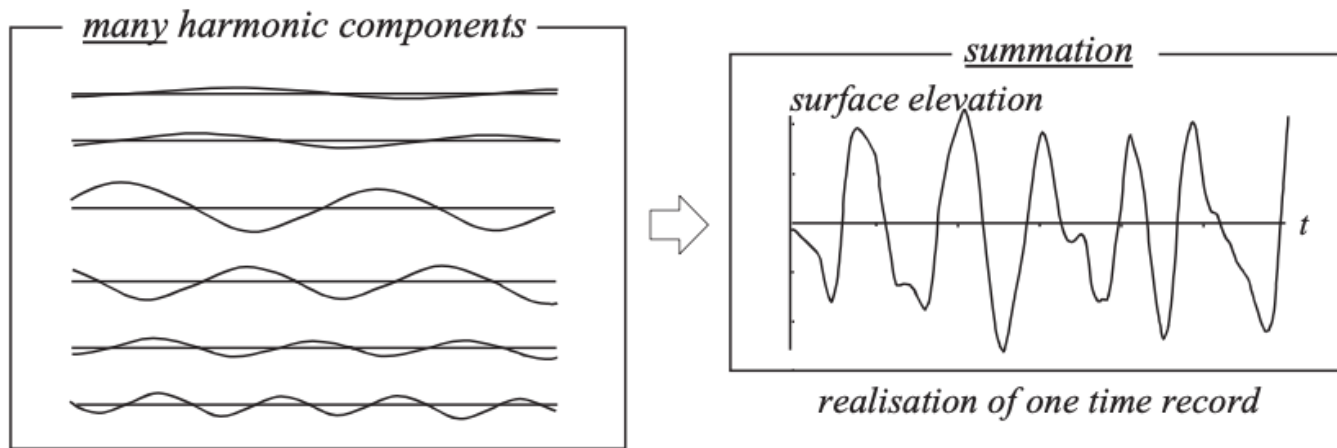
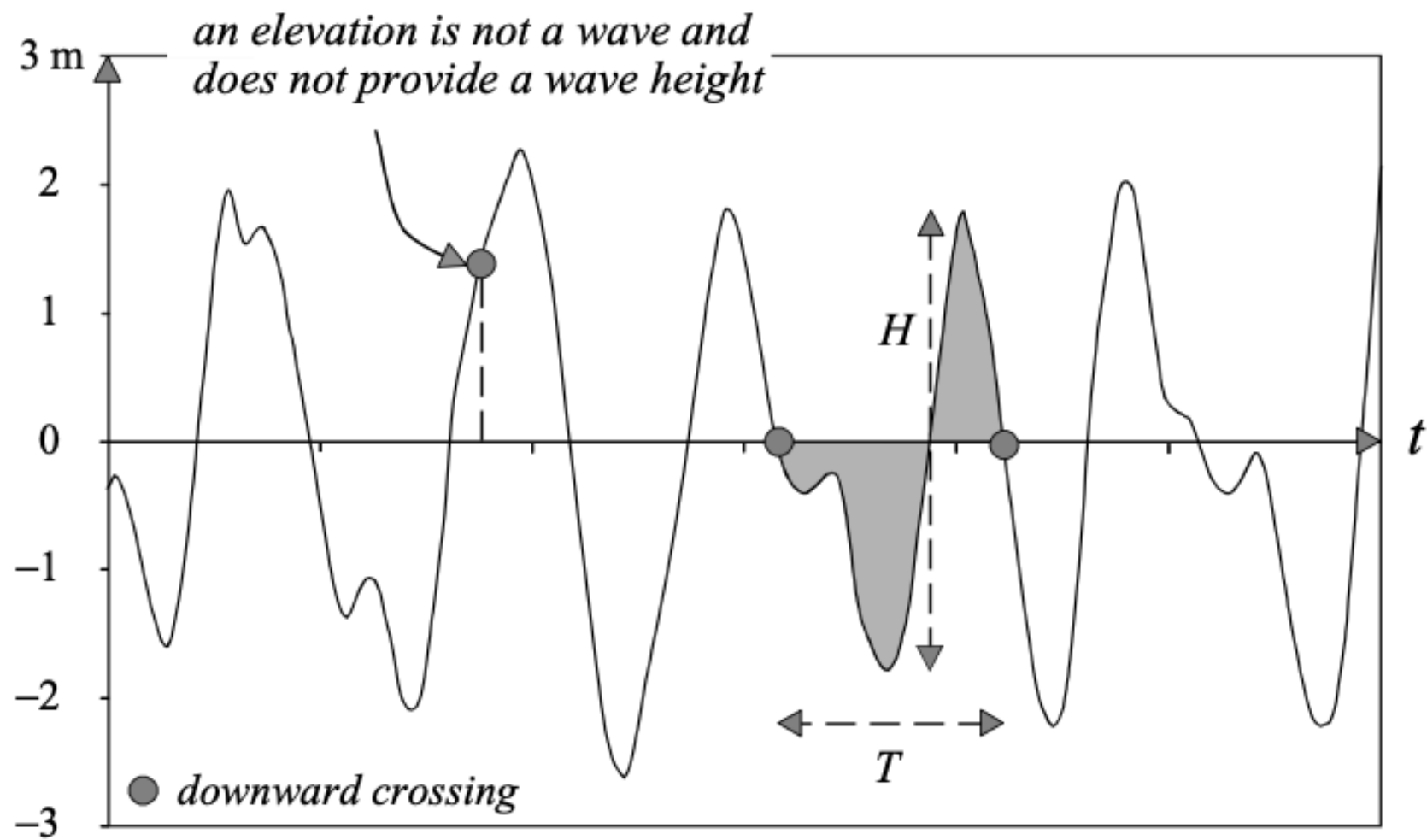


Figure 5.4 The orbital motion of the water particles under a harmonic wave that moves from left to right in deep water.

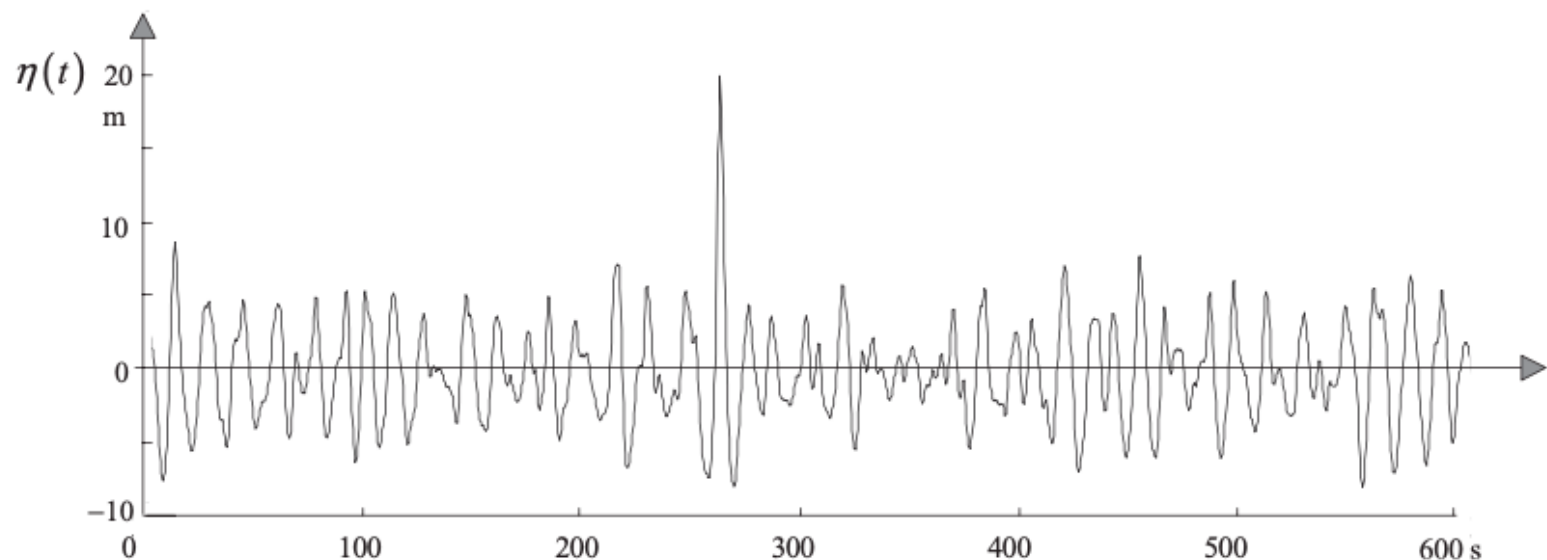
Действительное состояние поверхности моря - сумма отдельных волн с заданными, но случайными высотой, длиной, периодом и направлением





Значимая высота волны (H_s , SWH, $H_{1/3}$) – средняя высота из 1/3 наиболее ВЫСОКИХ ВОЛН

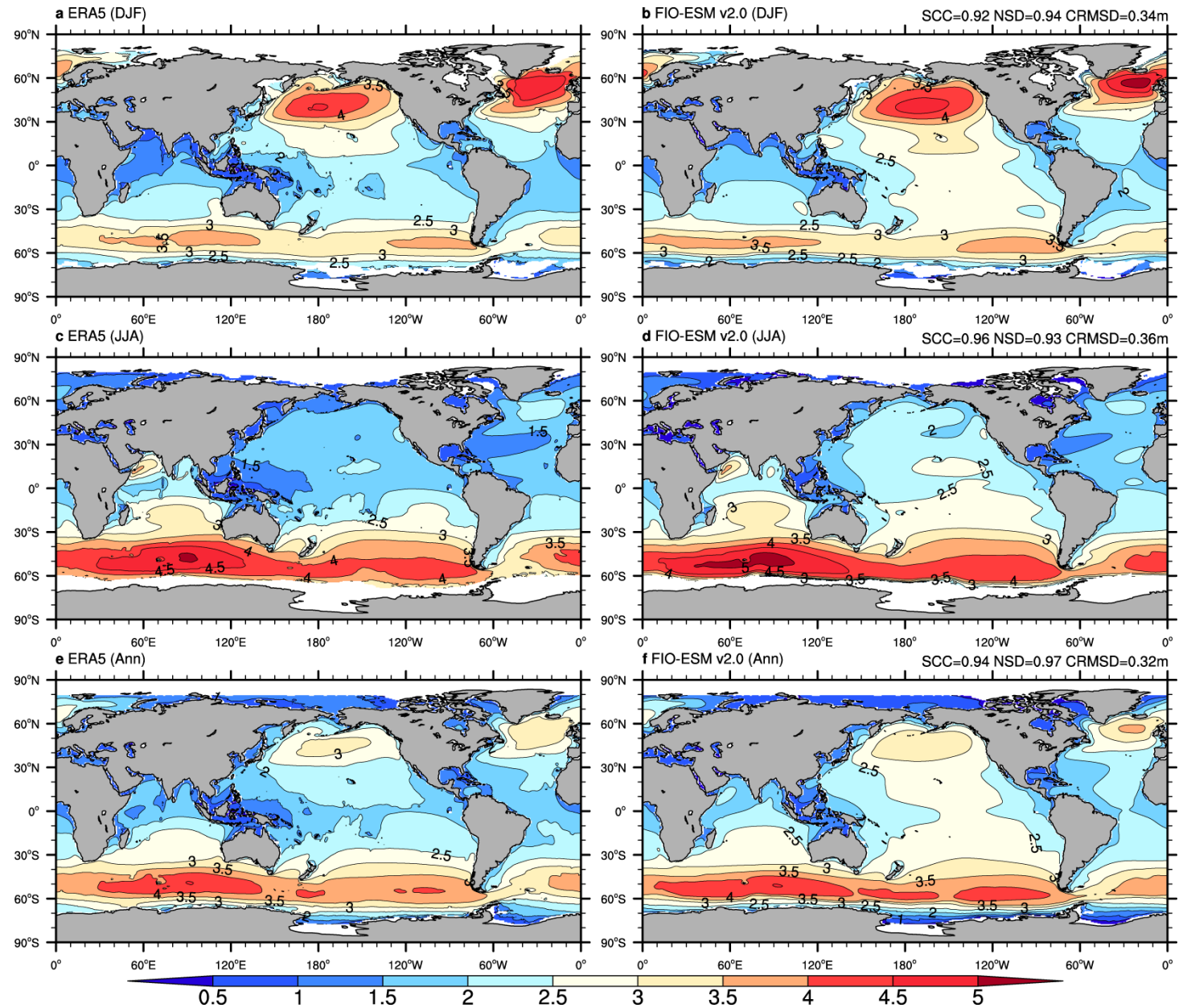
$$\text{significant wave height} = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$



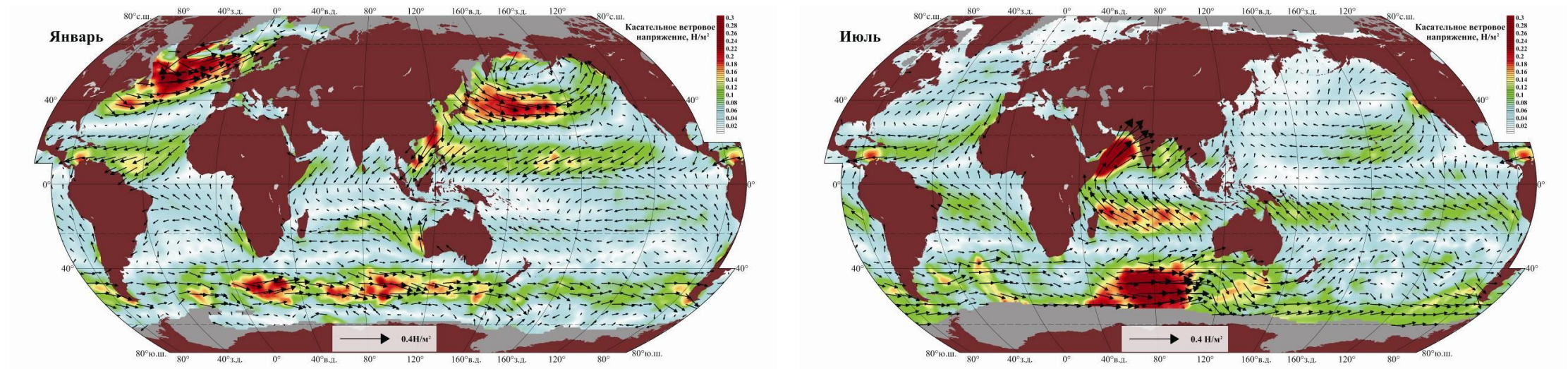
A freak wave measured (by laser altimeter) at the Draupner platform in the central North Sea on 1 January 1995. The crest height and the wave height of this wave were about 18.5 m and 26 m, respectively, whereas the significant wave height was ‘only’ about 12 m (courtesy of Statoil Norge AS; see for instance Haver and Andersen, 2000).

Среднее многолетнее значение высот волн (м)

Song, Z., Bao, Y., Zhang, D. *et al.* Centuries of monthly and 3-hourly global ocean wave data for past, present, and future climate research. *Sci Data* **7**, 226 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41597-020-0566-8>

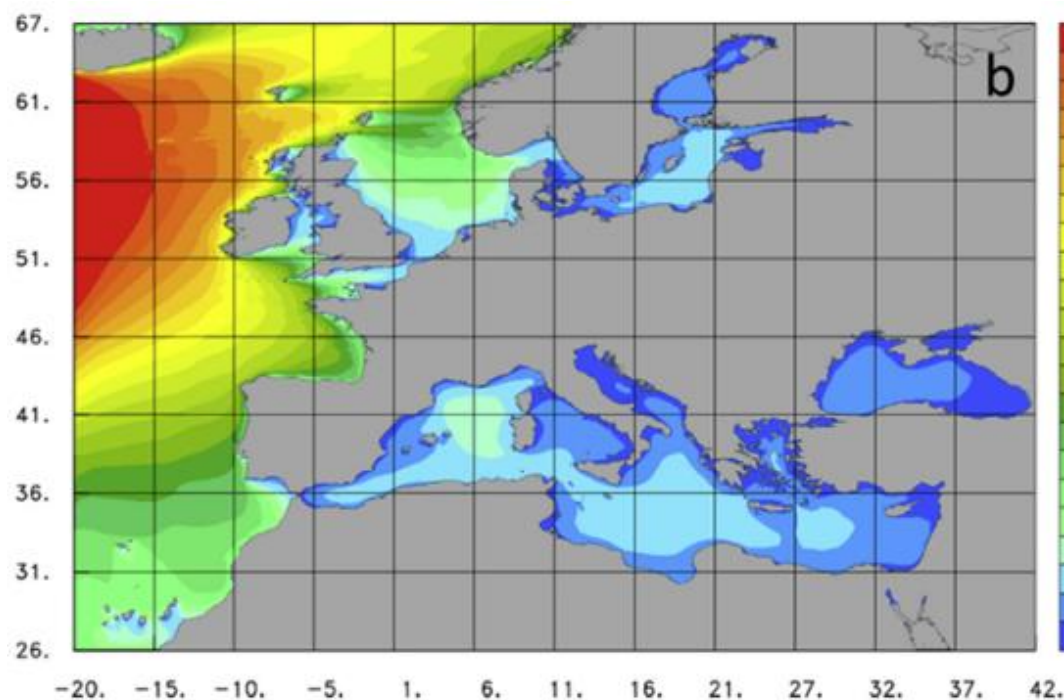


Среднеклиматическое напряжение ветра (Н/м^2)

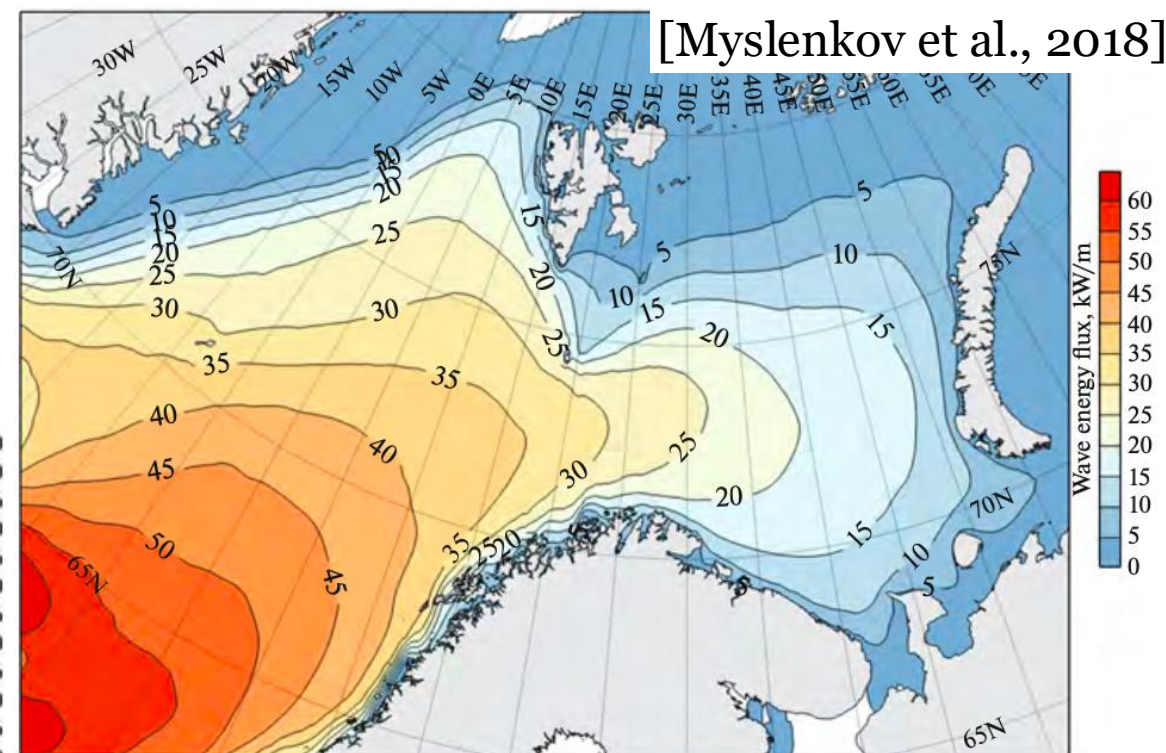


Потенциал волновой энергии

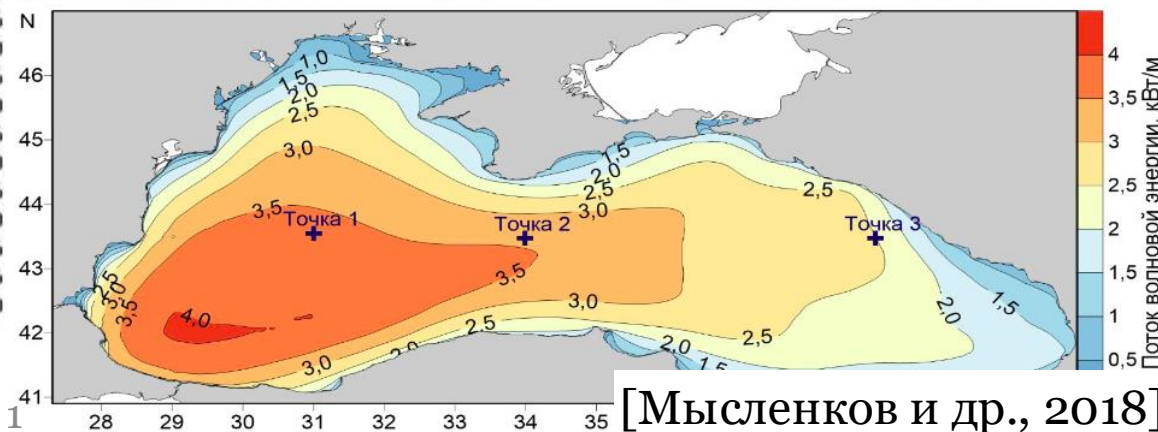
Среднегодовые потоки волновой энергии (кВт/м)
в европейских морях



[Kalogeri et al., 2017]

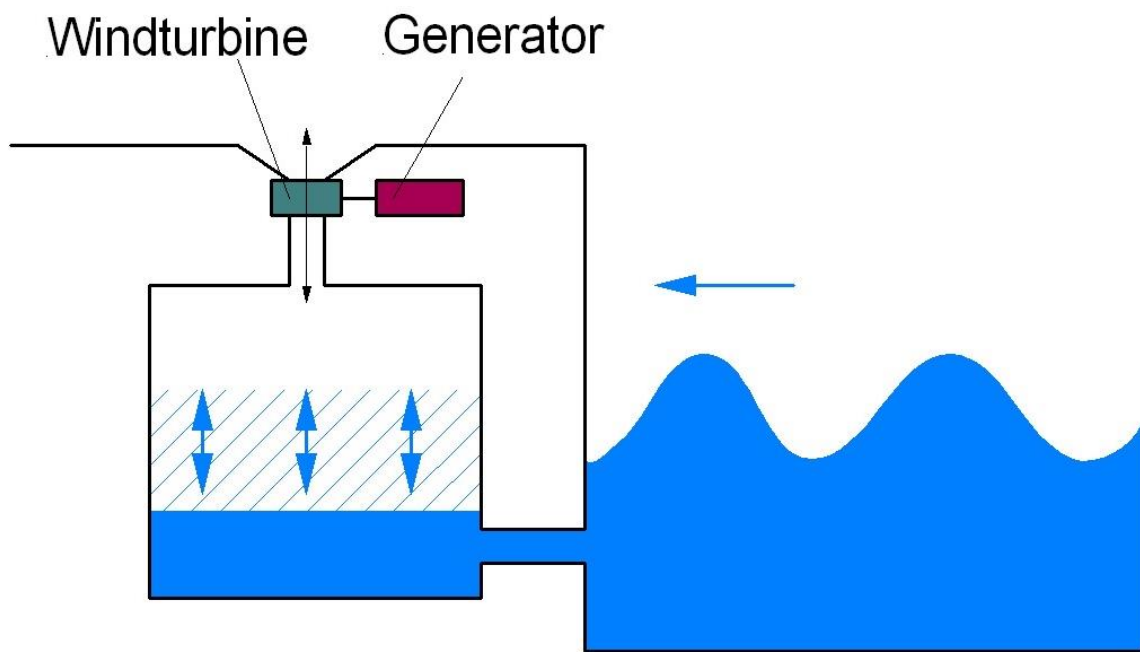


[Myslenkov et al., 2018]



[Мысленков и др., 2018]

Волновые электростанции

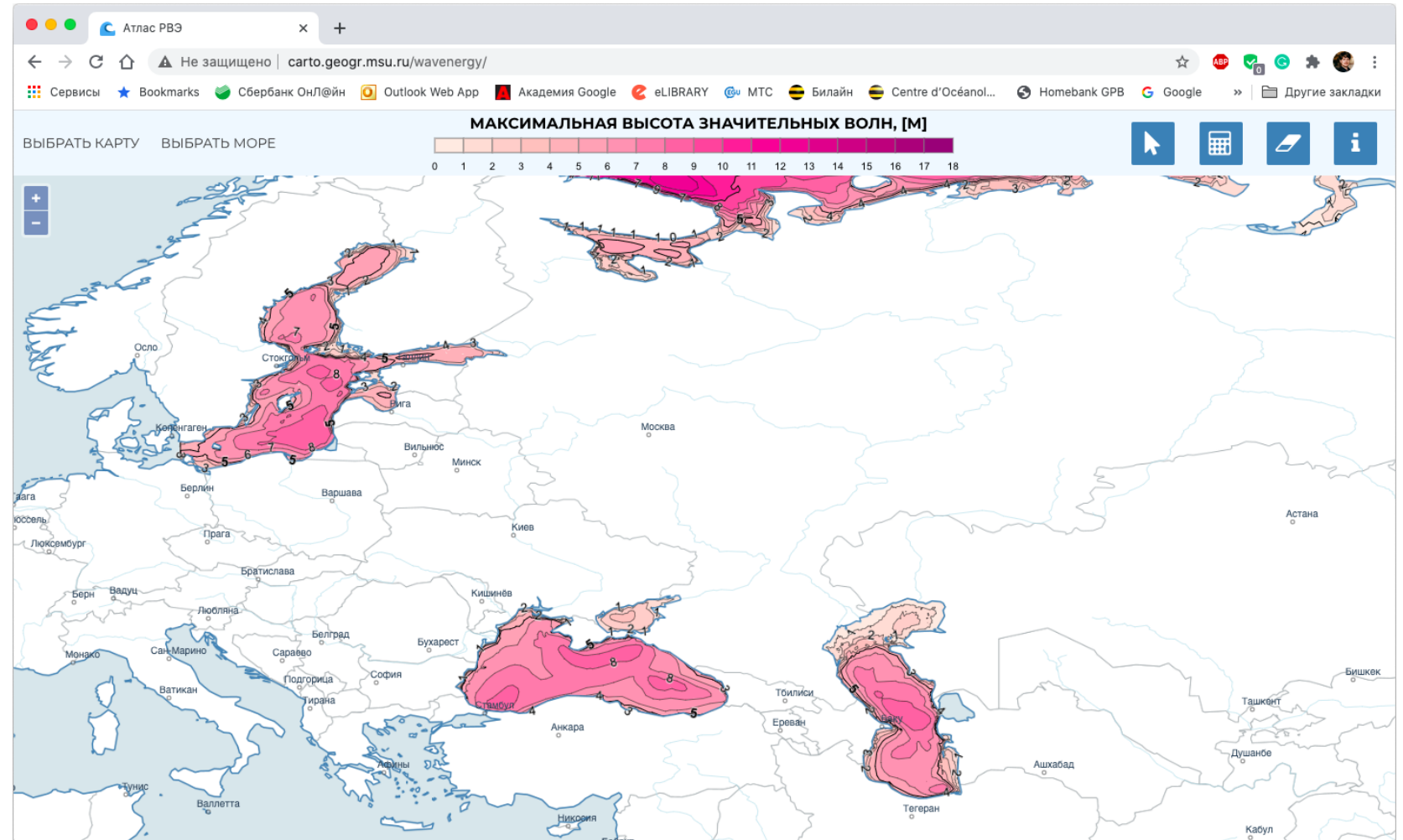


Веб-атлас волновой и ветровой энергии

<http://carto.geogr.msu.ru/wavenergy/>

Карты:

- максимальная высота значительных волн
- средняя высота волн
- максимальная энергия волн
- средняя энергия волн
- средний период волн
- средняя длина волн и др.



Сгонно-нагонные явления

Схема образования нагона при тайфуне

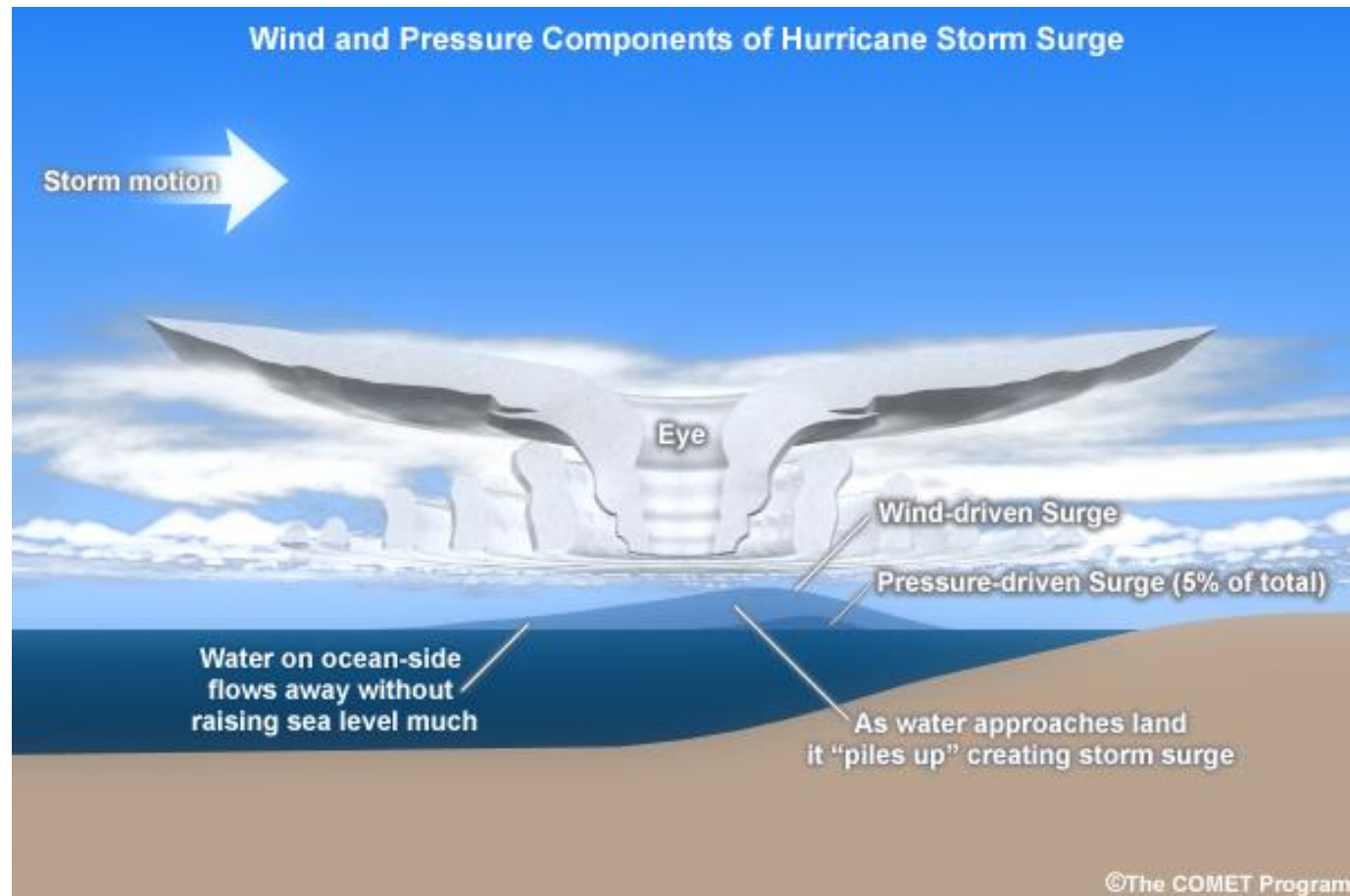
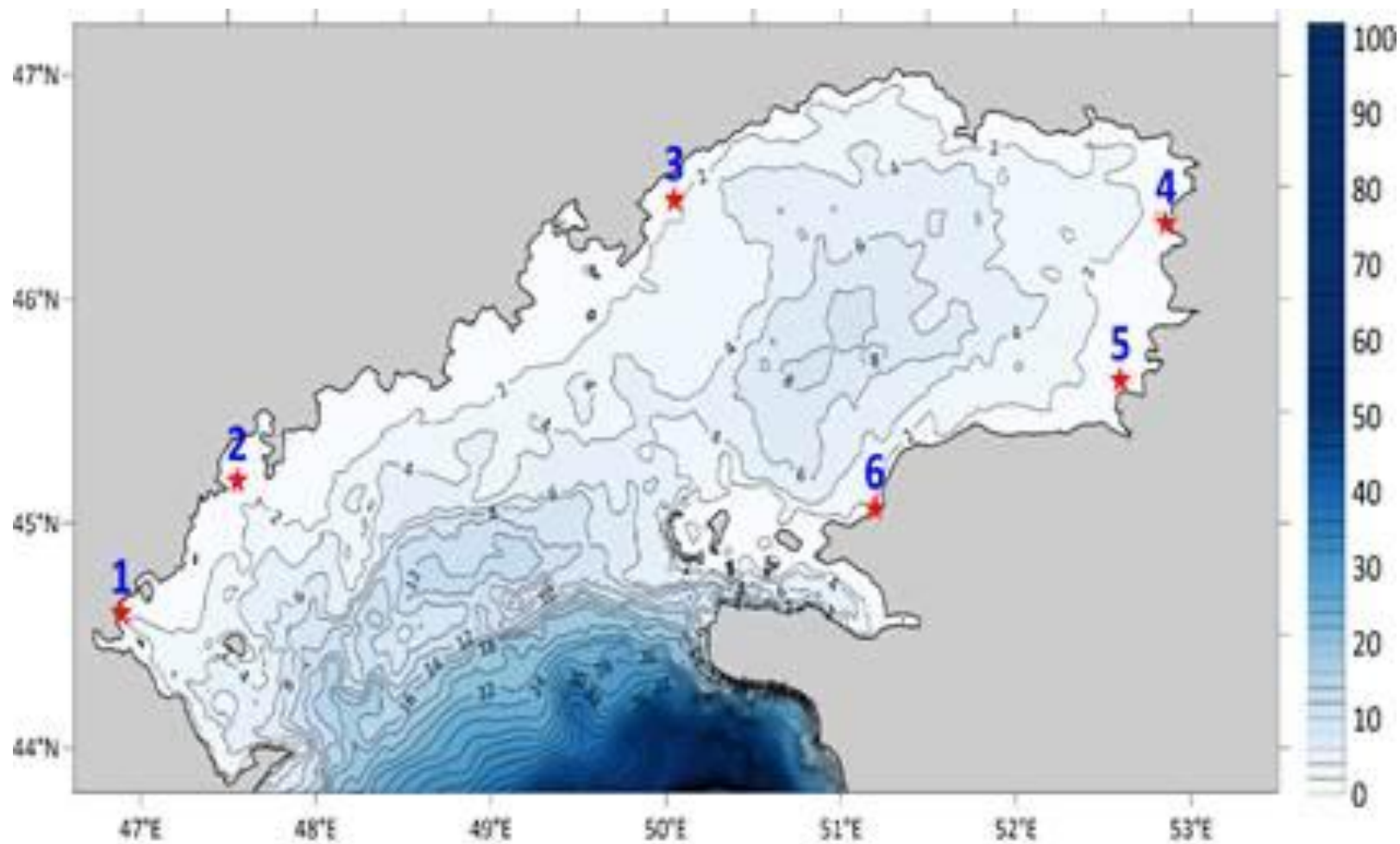


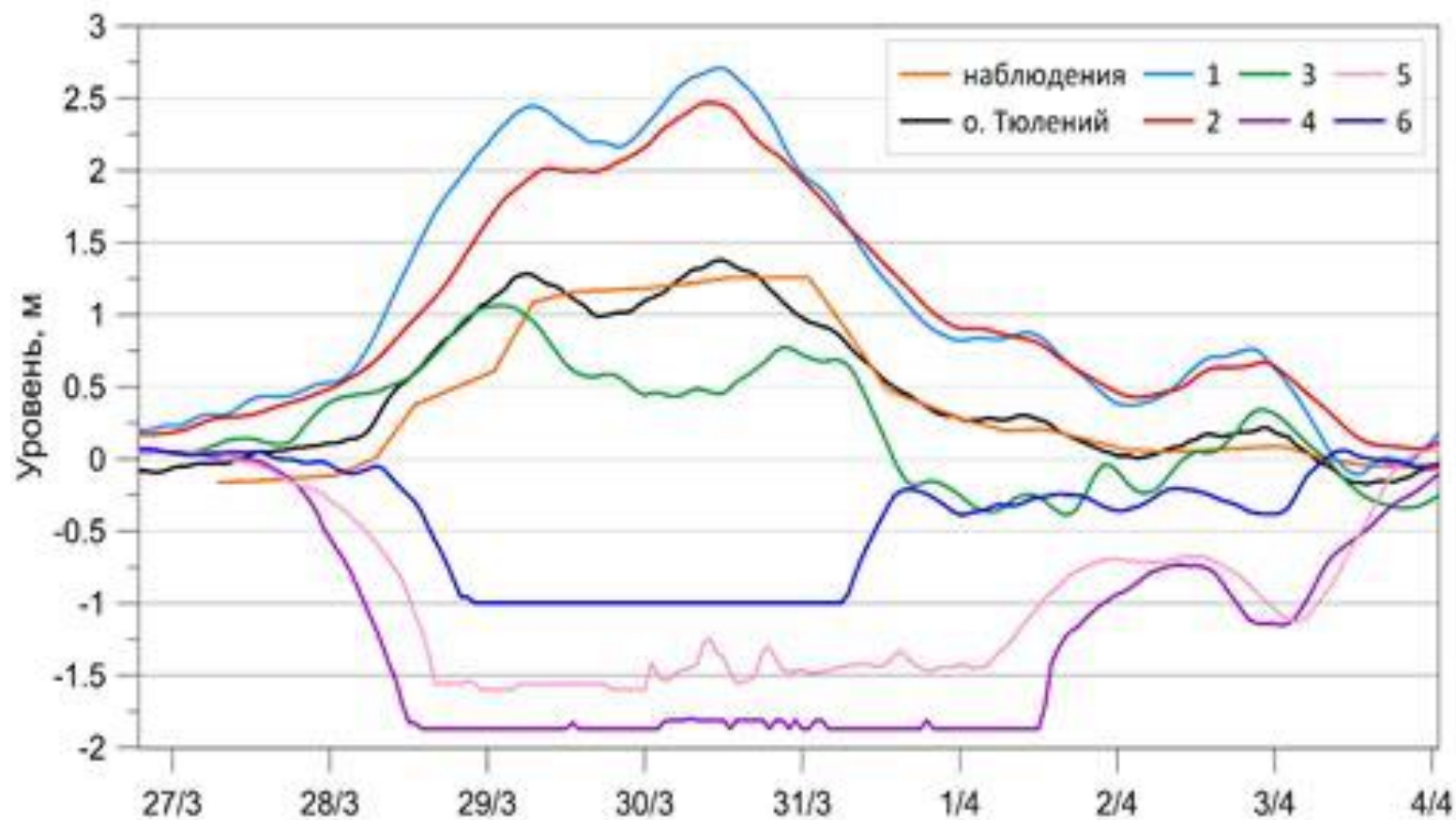


Рис. 7.7. Затопление в Новом Орлеане в результате урагана Катрина (Katrina-Flooding-NOAA-2005.jpg)



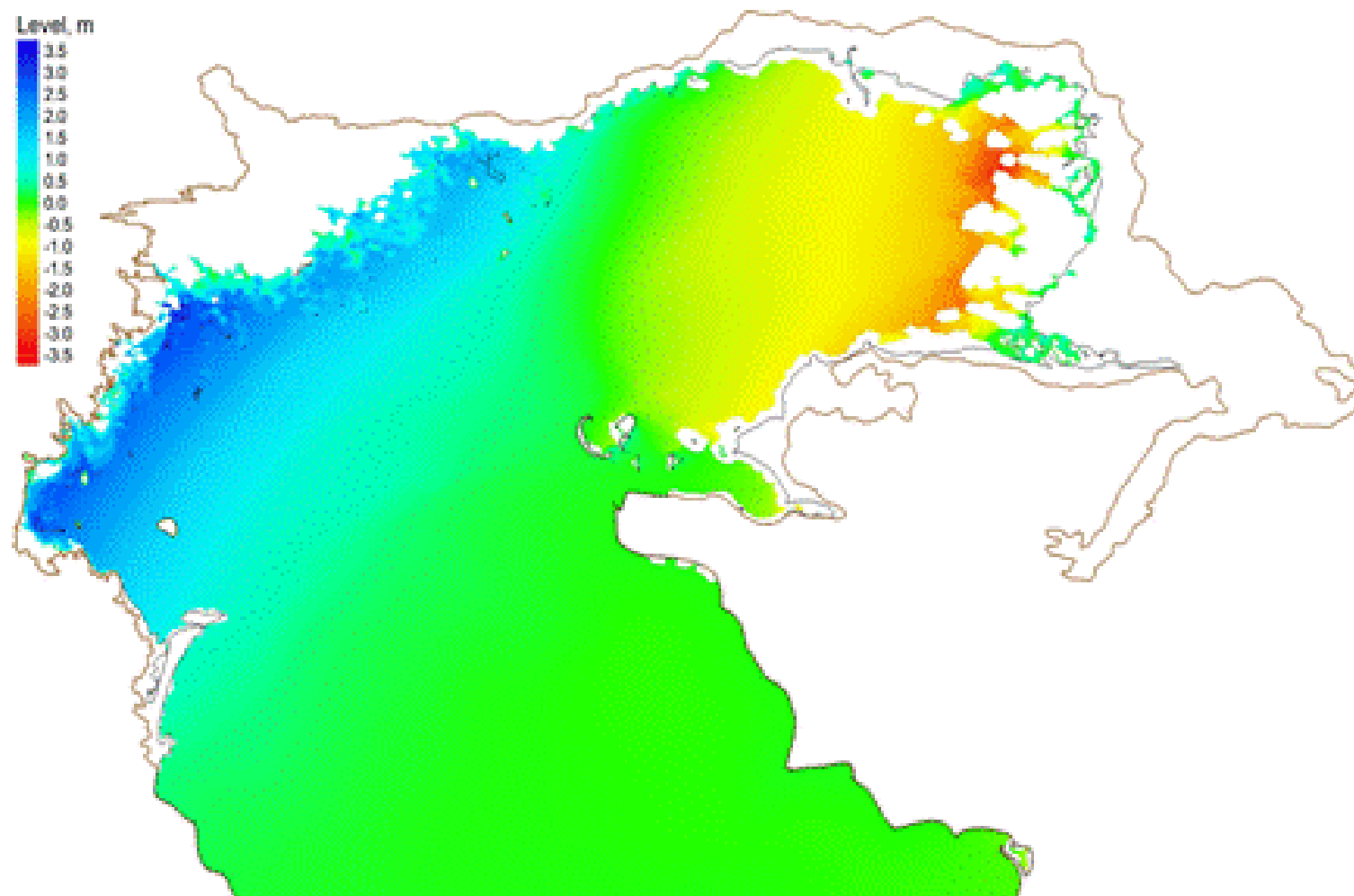
Карта батиметрии Северного Каспия с расположением шести выделенных точек.

Павлова А. В., Архипкин В. С., Мысленков С. А. Внутри- и межгодовая изменчивость стонно-нагонных колебаний уровня моря в Северном Каспии // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. — 2020. — № 3 (377). — С. 57.



Изменения уровня моря во время нагона 27 марта – 1 апреля 2015 г. и наблюдения уровня на о. Тюлен

Павлова А. В., Архипкин В. С., Мысленков С. А. Внутри- и межгодовая изменчивость сгонно-нагонных колебаний уровня моря в Северном Каспии // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. — 2020. — № 3 (377). — С. 57.



Пространственное распределение рассчитанного уровня моря в
Северном Каспии в 12 ч 30 марта 2015 года.

Павлова А. В., Архипкин В. С., Мысленков С. А. Внутри- и межгодовая изменчивость сгонно-нагонных колебаний уровня моря в Северном Каспии // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. — 2020. — № 3 (377). — С. 57.





Цунами

Очаги цунами (2000 до н. э. – 2014)

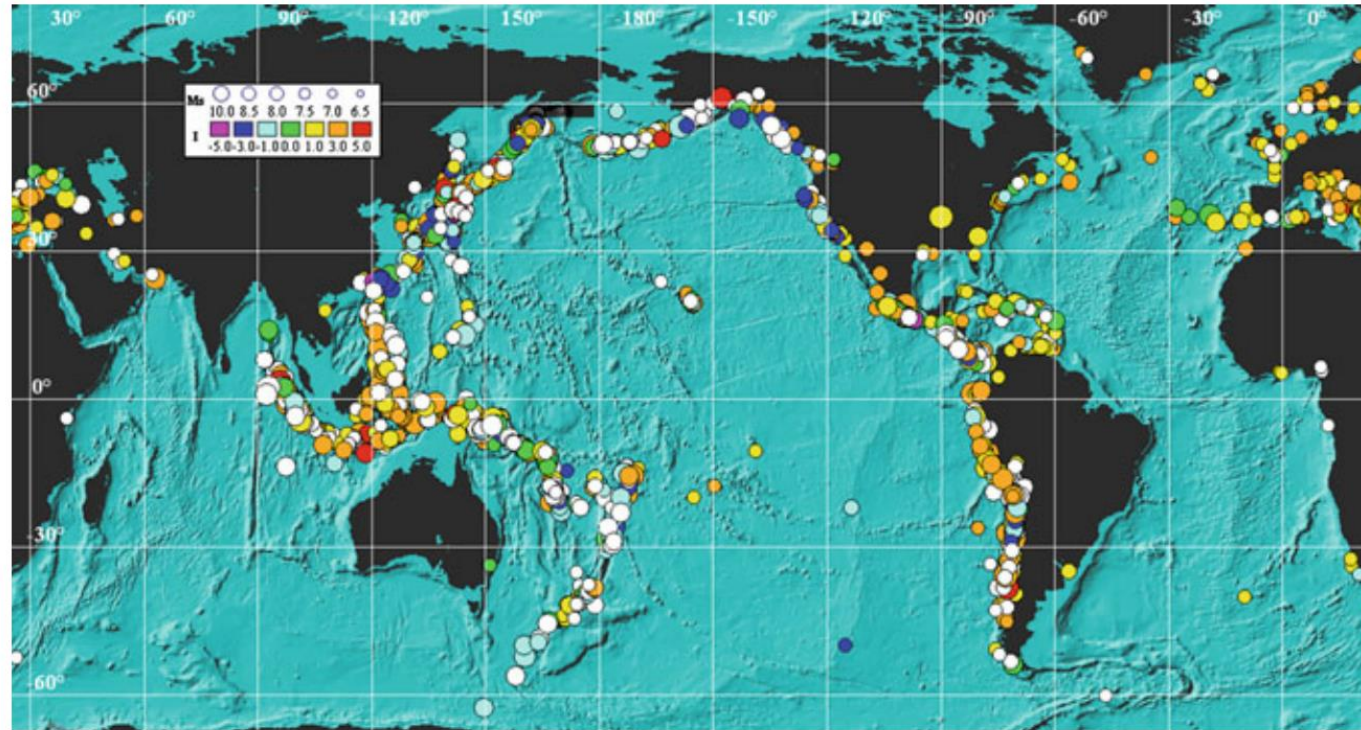


Fig. 1.4 Distribution of tsunami sources in the World Ocean within the period from 2000 B.C. up to 2014. The sizes of the circles correspond to earthquake magnitudes and their colors to the tsunami intensities

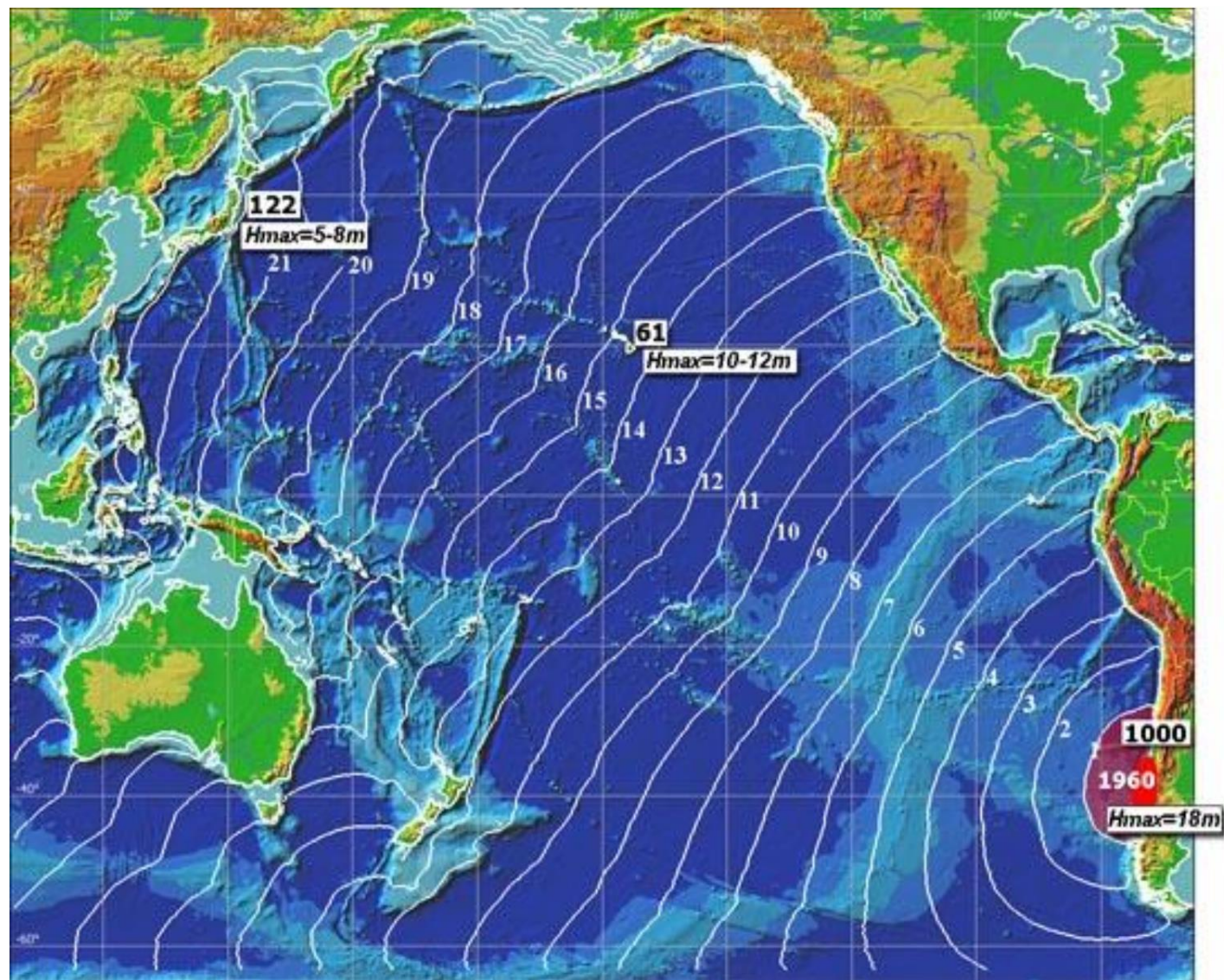


Рис. 7.11 Изохроны цунами, возникшего в результате чилийского землетрясения 22 мая 1960

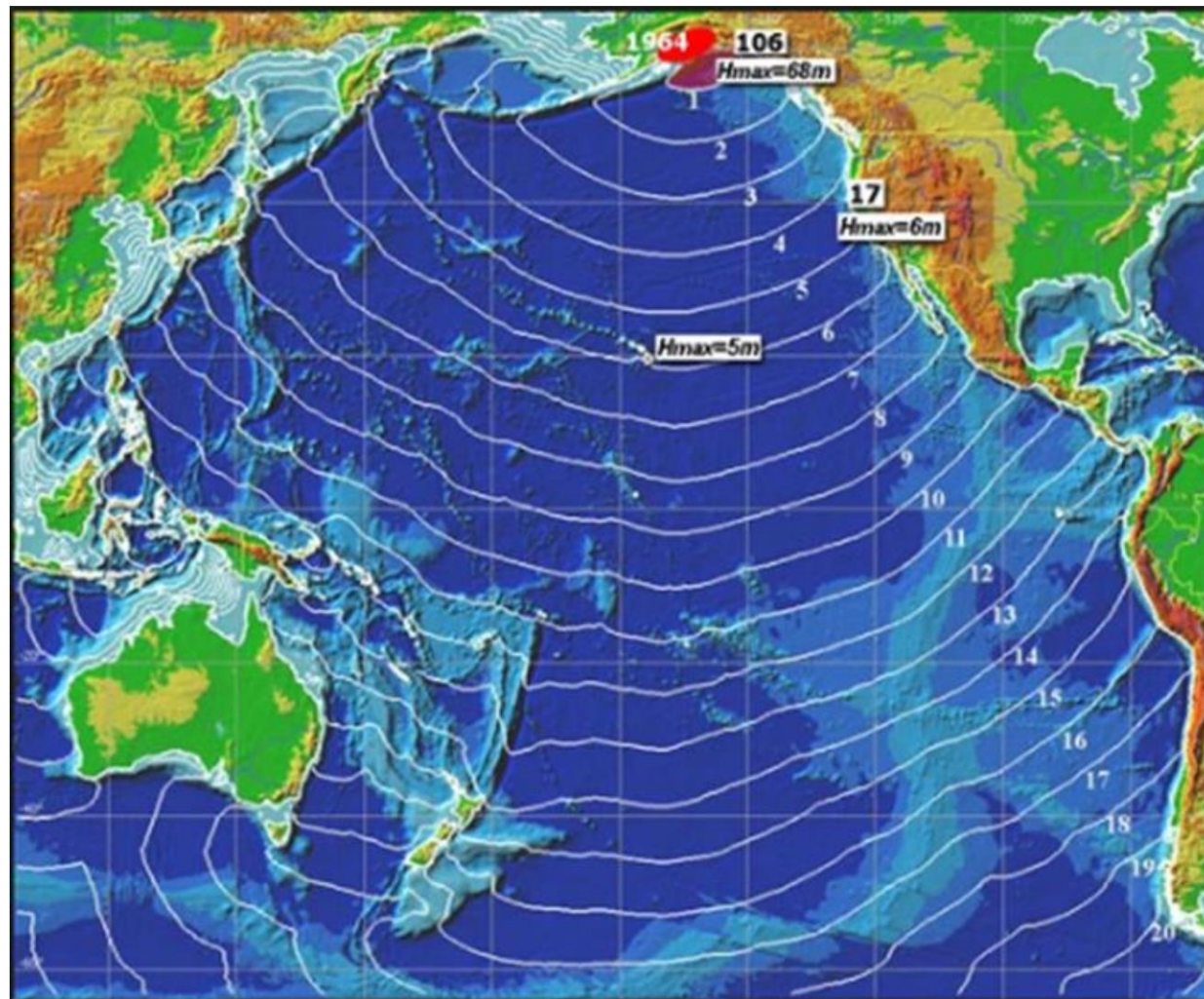
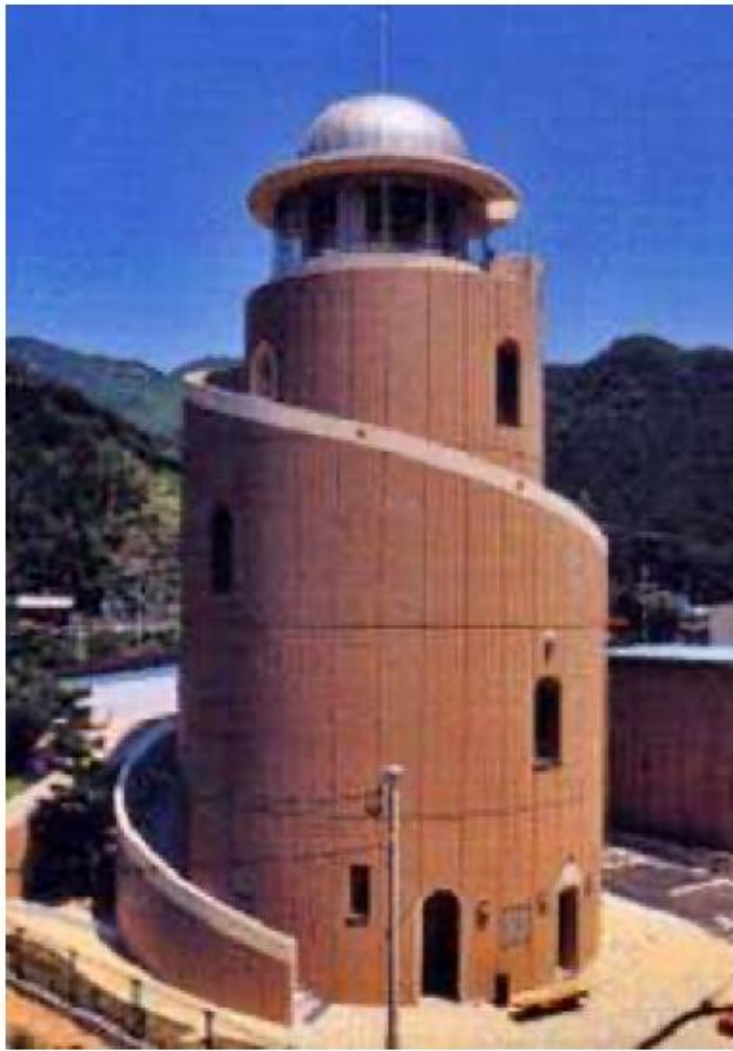


Рис.7.12. Изохроны цунами, вызванного землетрясением 28 марта 1964 г. в проливе Принц Вильям магнитудой 9,2 балла. Для каждой изохроны указано время добегания волны в часах от эпицентра землетрясения. $H_{\max}$ – максимальные высоты волн в отмеченных районах.



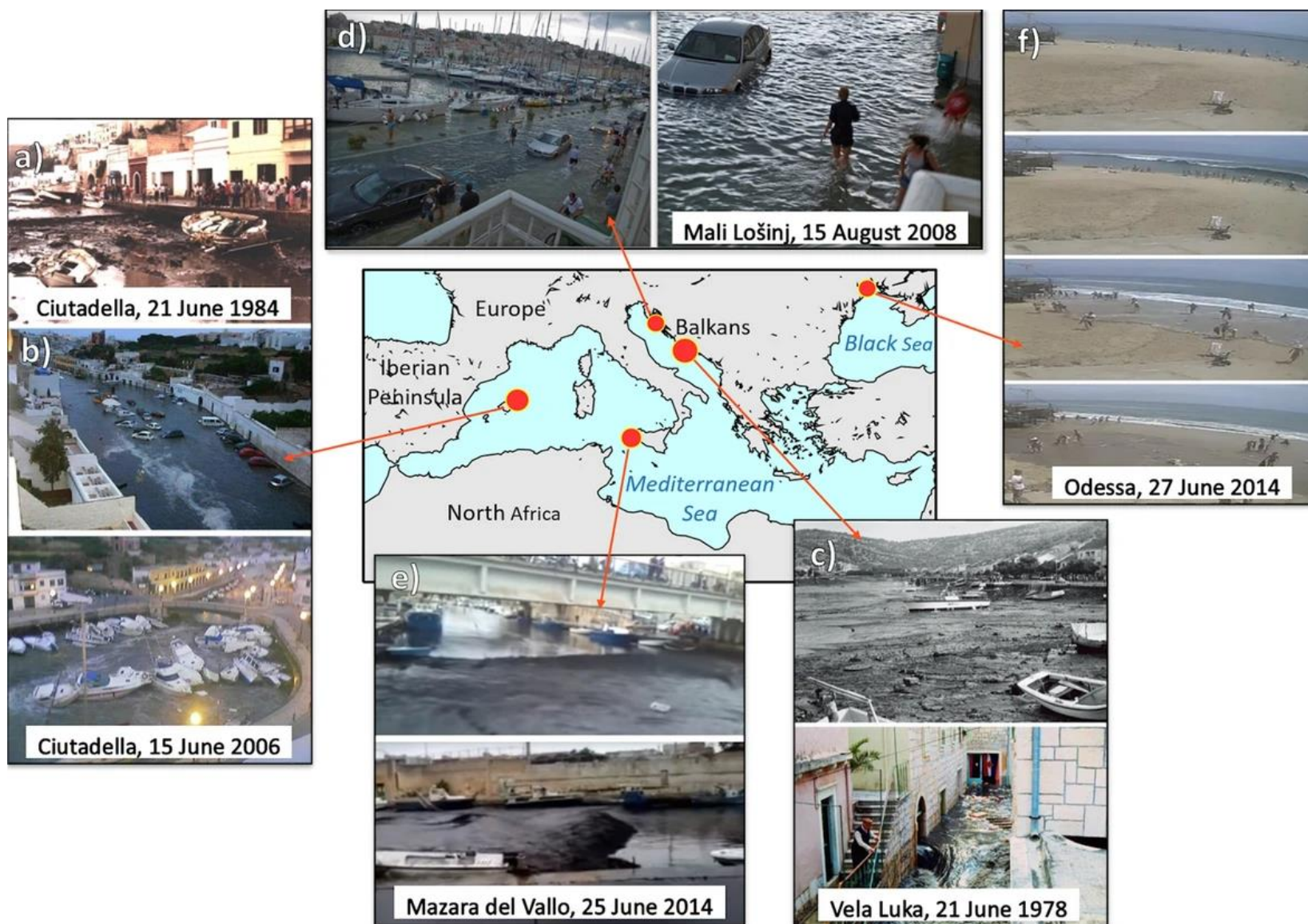
Метеоцунами



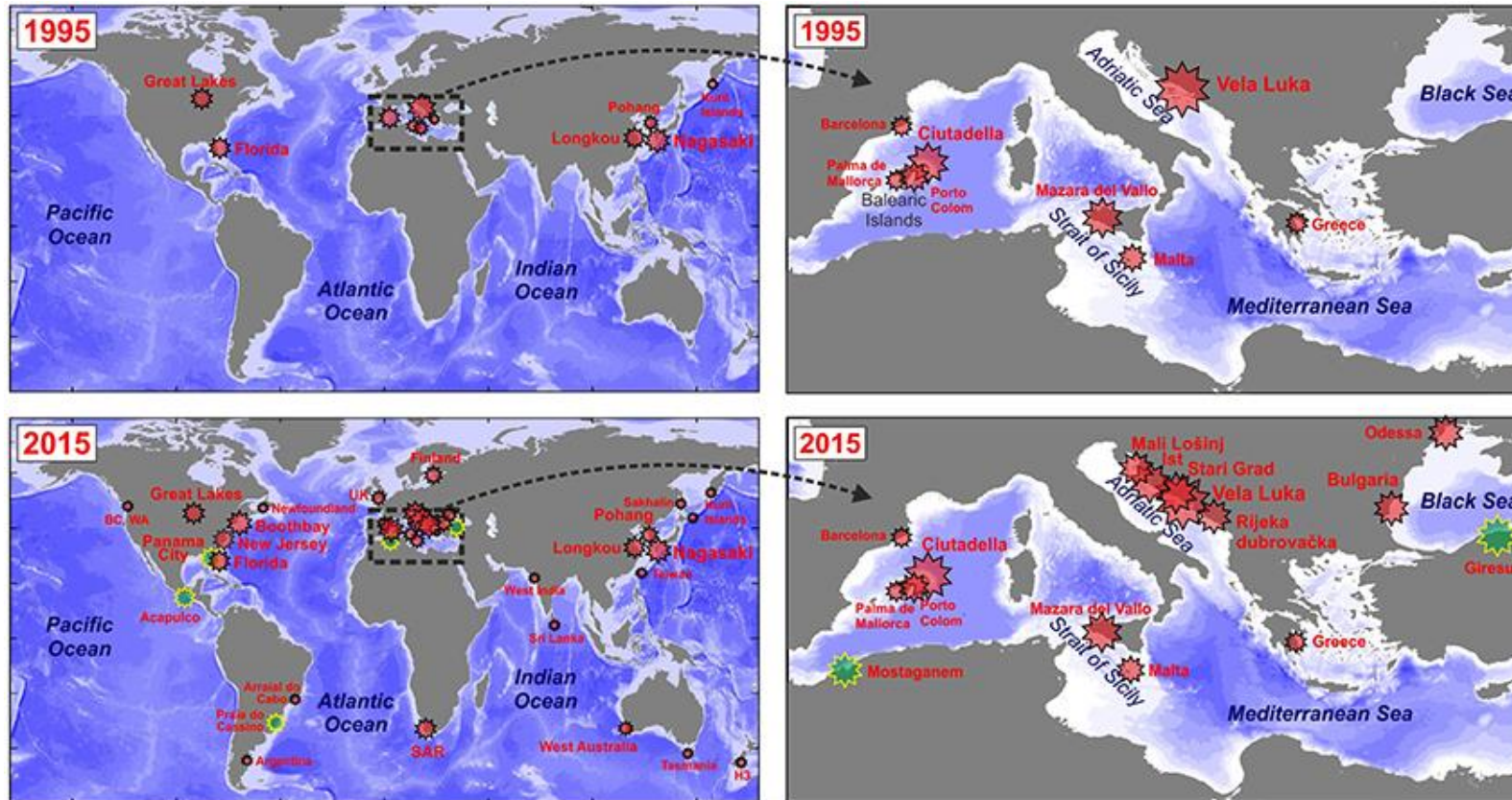




Ciutadella harbour view taken during the 21st June 1984 rissaga event (courtesy of Josep Gornes)
Vilibić, I., Denamiel, C., Zemunik, P. *et al.* The Mediterranean and Black Sea meteotsunamis: an overview. *Nat Hazards* **106**, 1223–1267 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04306-z>

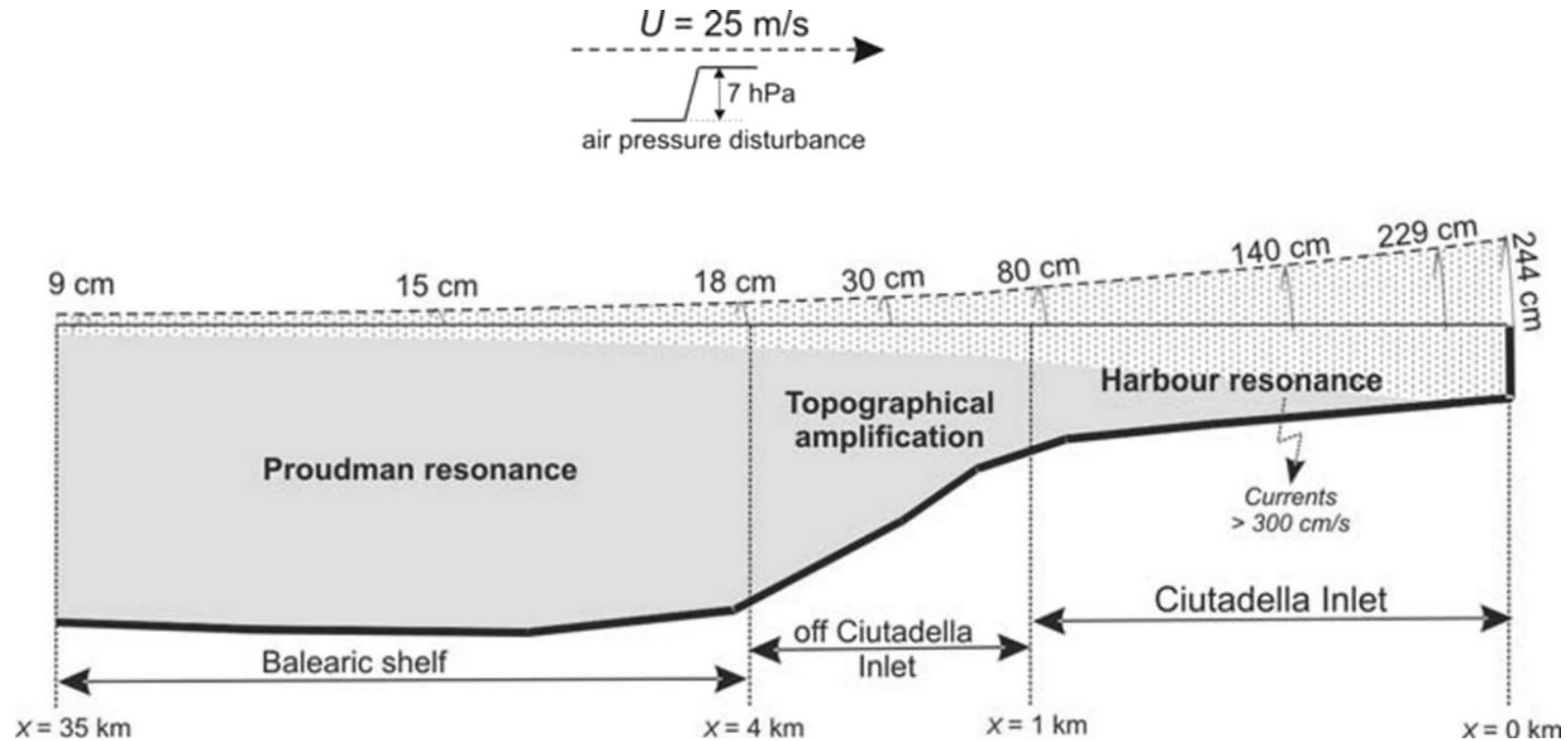


Vilibić, I., Denamiel, C., Zemunik, P. *et al.* The Mediterranean and Black Sea meteotsunamis: an overview. *Nat Hazards* **106**, 1223–1267 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04306-z>



LOCATIONS WHERE METEOTSUNAMIS HAD BEEN DOCUMENTED BY THE YEAR 1995 (UPPER PANELS), AND BY THE YEAR 2015 (LOWER PANELS).

Vilibić I, Šepić J, Rabinovich AB and Monserrat S (2016) Modern Approaches in Meteotsunami Research and Early Warning. *Front. Mar. Sci.* 3:57. doi: 10.3389/fmars.2016.00057



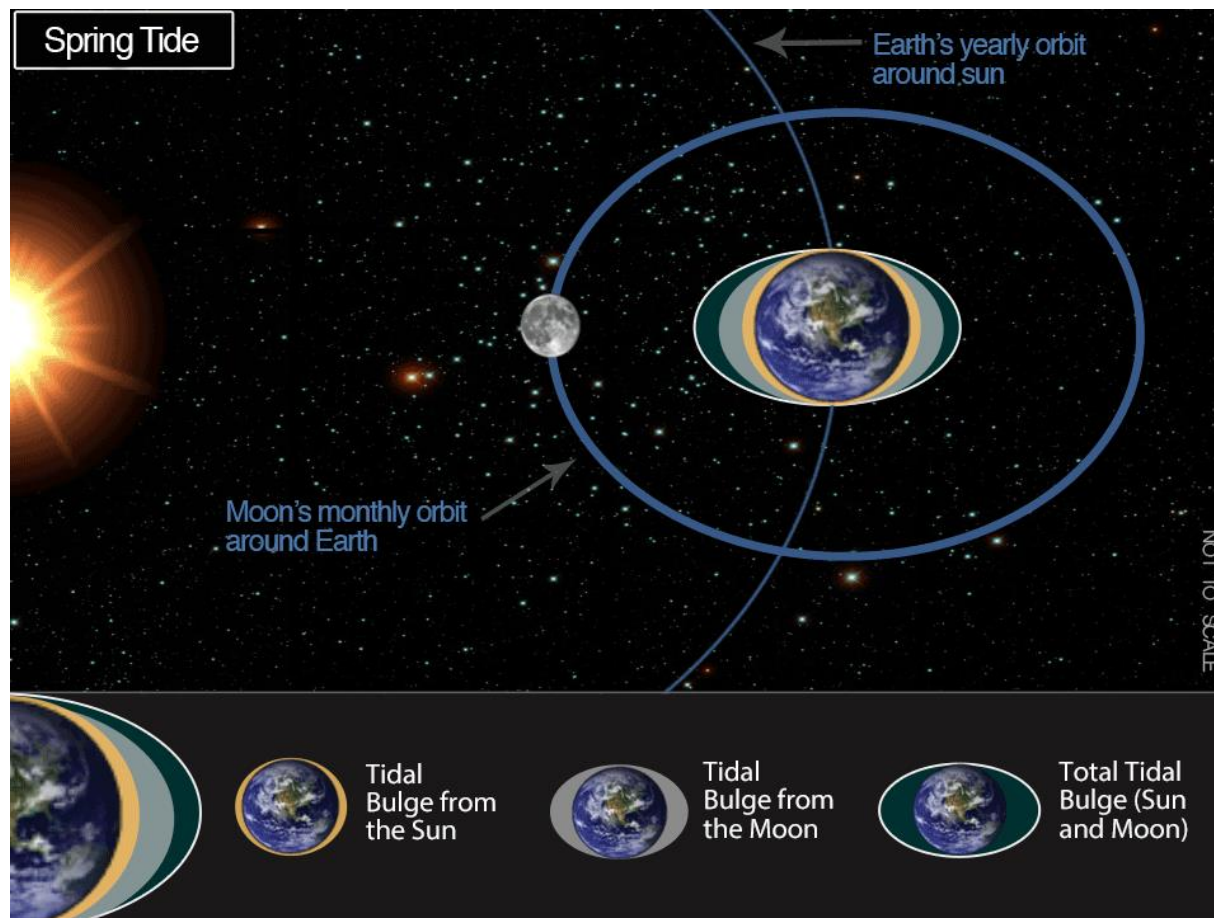
A sketch illustrating the physical mechanisms responsible for the formation of the destructive rissaga on 15 June 2006 in Ciutadella Harbour, Menorca Island

Vilibić, I., Denamiel, C., Zemunik, P. *et al.* The Mediterranean and Black Sea meteotsunamis: an overview. *Nat Hazards* **106**, 1223–1267 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04306-z>

Приливы

Приливами в морях и океанах называют **периодические движения вод, вызываемые приливообразующими силами Луны и Солнца**, которые выражаются в колебаниях уровня океана и скорости течений. В отличие от других волновых движений приливы в океане носят **постоянный, регулярный характер**. Наиболее ярко они выражены в прибрежных районах.

Сизигийный и квадратурный прилив



Сизигийный и квадратурный прилив

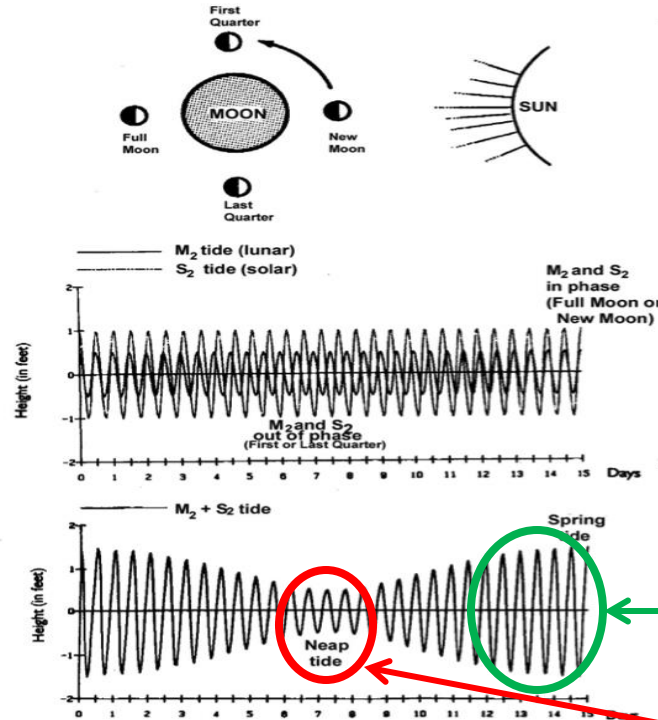


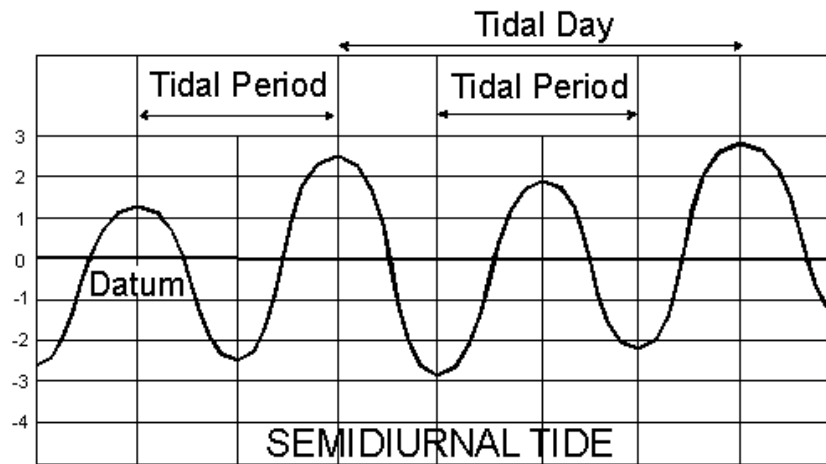
Figure 2.14. The combined effect of the moon and sun varies throughout the month. When the moon and sun are working with each other (at Full Moon and New Moon) there are larger tide ranges (spring tides). At First Quarter and at Last Quarter the moon and the sun work against each other resulting in smaller tide ranges (neap tides).

Сизигийный прилив

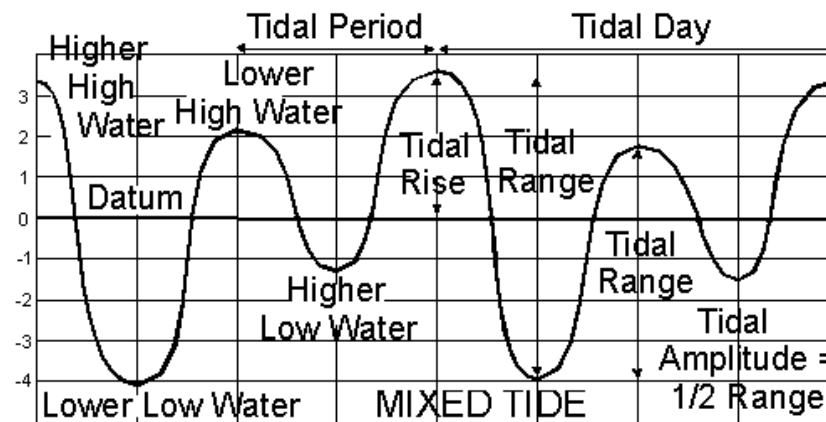
Квадратурный прилив

Tidal Height (in feet above or below the standard datum)

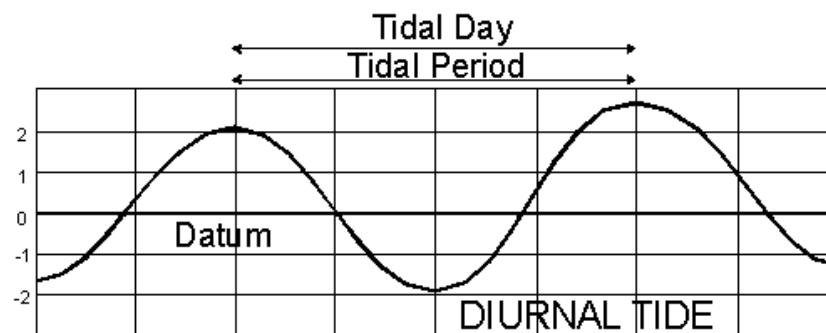
Distribution of Tidal Phases



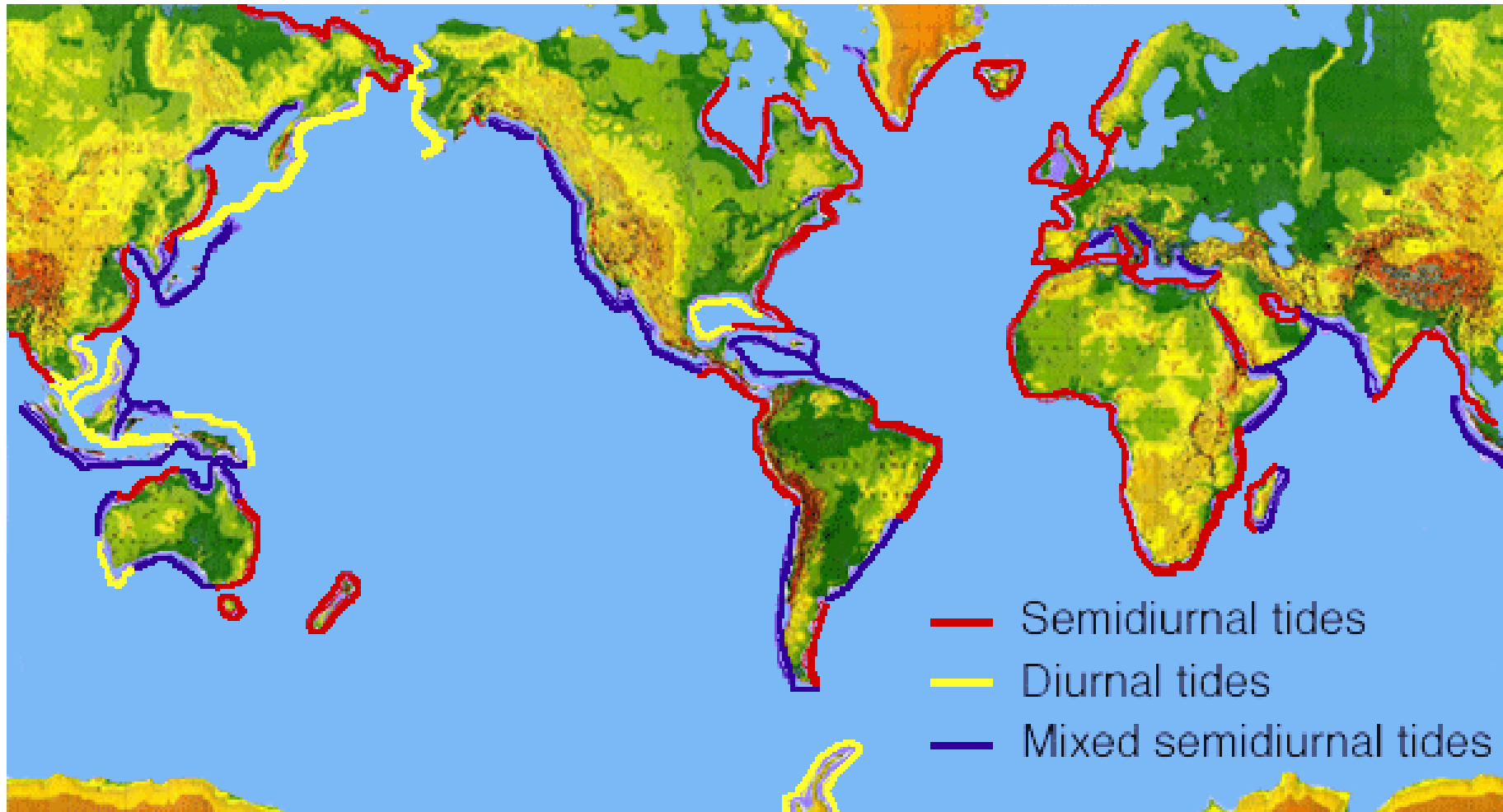
Полусуточный прилив



Смешанный прилив



Суточный прилив



Котидальные линии —

линии, проходящие
через точки, в которых
полная вода наблюдается
в одно и то же время.

Амфидромические точки
— место, где сходятся
котидаальные линии и
отсутствуют
вертикальные движения
воды.

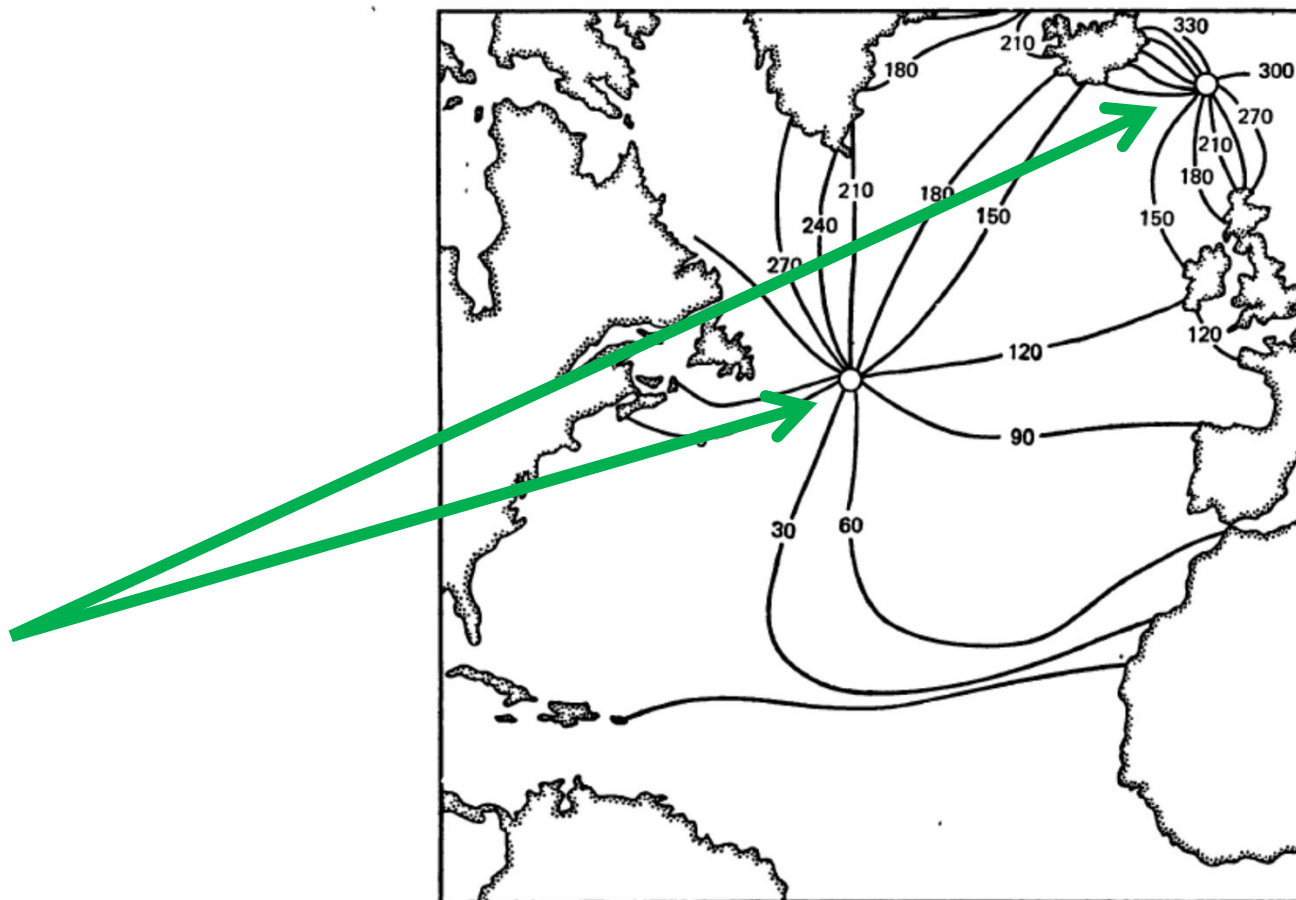


Рис.6.9. Котидаальные линии для прилива M_2 в Северной Атлантике. Числа означают фазу в градусах относительно времени кульминации Луны на Гринвичском меридиане [2].

Линии равных величин прилива

Амфидромические точки –
место, где сходятся
котидальные линии и
отсутствуют вертикальные
движения воды.

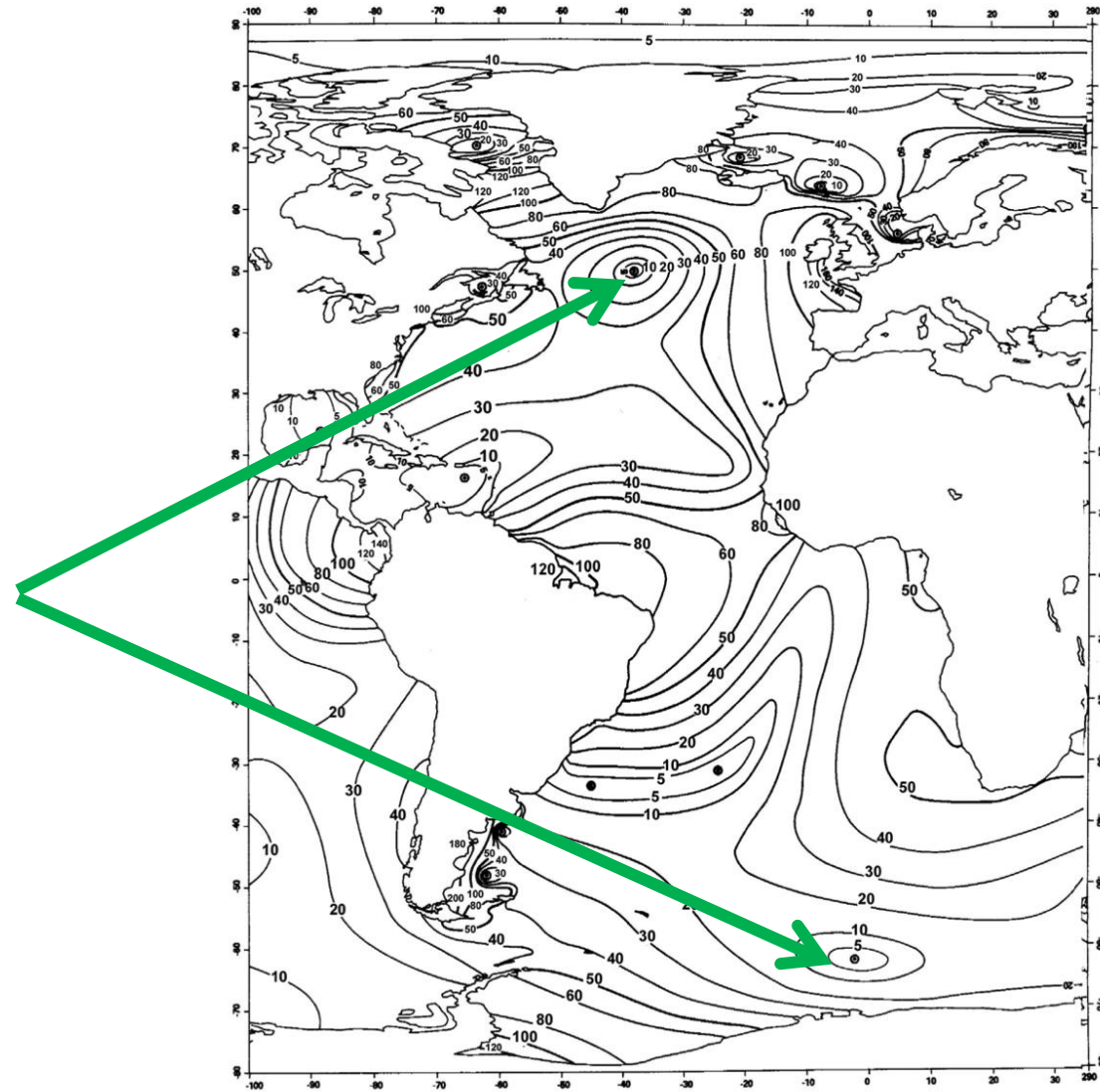
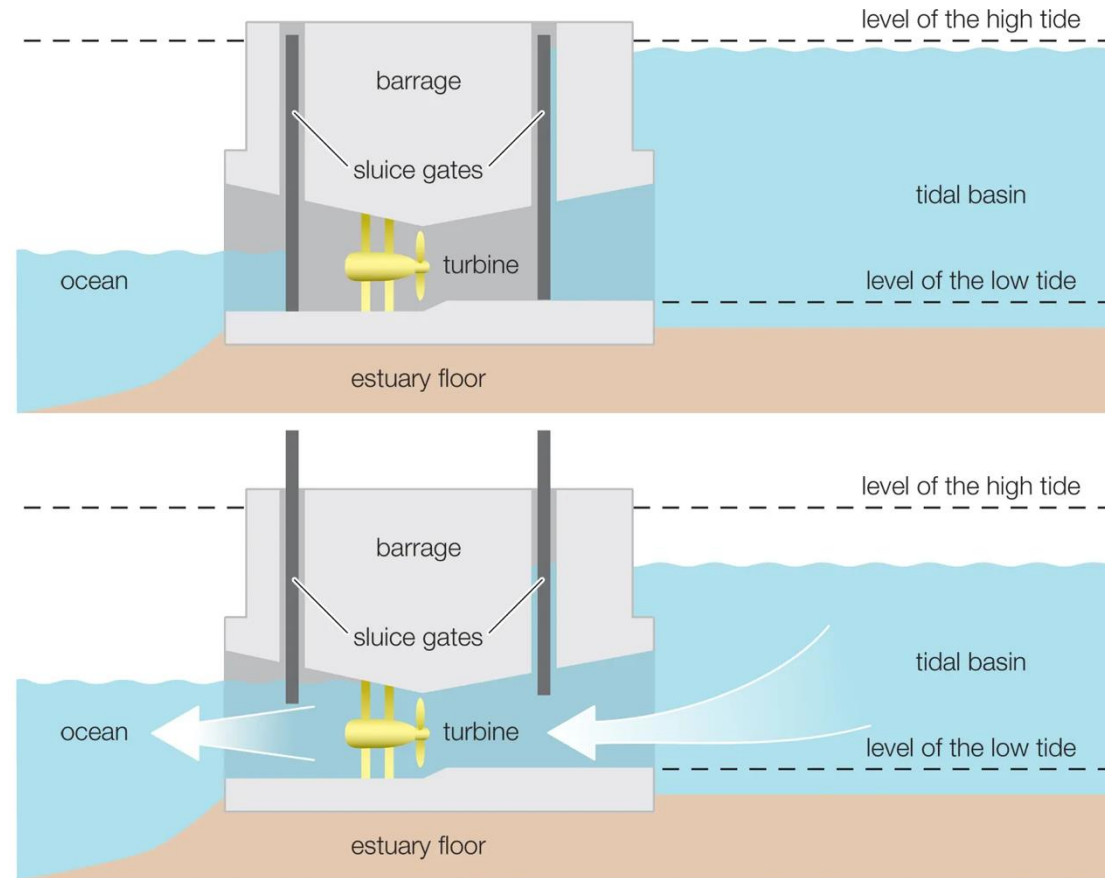


Figure 7.29. An example of an ocean M_2 amplitude chart, this one for the Atlantic Ocean produced by Schwiderksi (1979). Amplitudes are in cm. Circles with a dot in the center denote amphidromic points (i.e., points where the amplitude is zero).

Приливные электростанции (ПЭС)



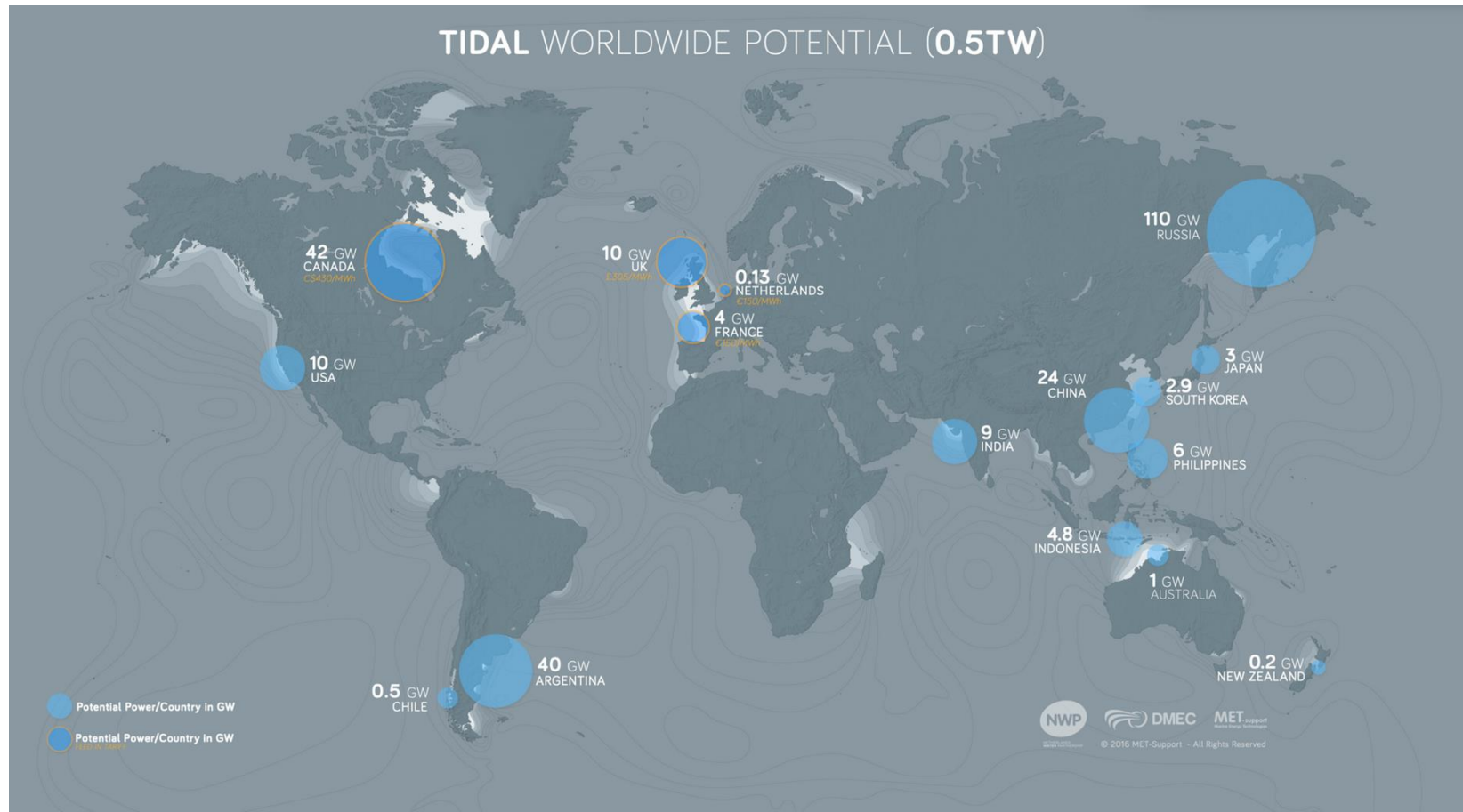
Приливные электростанции (ПЭС)



Приливные электростанции (ПЭС)



Потенциал приливной энергии





Mikhail Varentsov (distributed via imaggeo.egu.eu)