

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ЦУНАМИГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ГРЕЦИИ

Новикова О.В., Горшков А.И.



Novikova, O.V., Gorshkov, A.I. Local tsunamigenic sources in Greece, identified by pattern recognition. *Nat Hazards* (2022). 113(2):1335–1348, <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05349-0>

ЦУНАМИ

Гусяков В.К. (2016) Цунами на Дальневосточном побережье России: историческая перспектива и современная проблематика // Геология и геофизика, № 9, С.1601-1615

Левин Б. В., Носов М. А. (2005) Физика цунами и родственные явления в океане. М. : ЯнусК. 360с.

Под цунами понимаются длиннопериодные (в диапазоне от 2 до 200 мин) колебания уровня океана, вызванные быстротечными процессами на дне или поверхности океана в основном тектонического характера, т.е. подводными землетрясениями, вулканическими извержениями, а также береговыми и подводными оползнями и обвалами [Соловьев, 1968].

Возникновение цунами связывают с сейсмическими движениями дна, оползнями и обвалами (в том числе подводными), подводными вулканическими извержениями. Основной причиной разрушительных цунами являются резкие вертикальные смещения участков дна при подводных землетрясениях.

Принято различать локальные, региональные и удаленные цунами (телецунами). К локальным относятся события, источник которых находится на расстоянии не превышающем 100км, региональные на расстояниях до 1000 км, свыше 1000км – телецунами (Лвин и Носов, 2014)

Периоды таких аномальных колебаний уровня моря могут варьироваться от 1—2 мин до часа и более.

Сейчас в каталоги цунами включаются не только классические сейсмогенные цунами в морях и океанах, но также широкий круг цунамиподобных явлений, возникающих в любых водных бассейнах под действием внешних источников, общей чертой которых является внезапное и резкое изменение уровня воды вблизи берега, создающее опасность для находящихся там людей и сооружений.

При любом типе источника волна цунами есть возмущение, захватывающее всю толщу водного бассейна, при ее прохождении в движение приводятся огромные массы воды, что и делает цунами грандиозным катастрофическим явлением. В этом ее принципиальное отличие от ветровых волн, высоты которых на берегу при сильных штормах также могут достигать 8—10 м, но их разрушительный потенциал неизмеримо ниже.

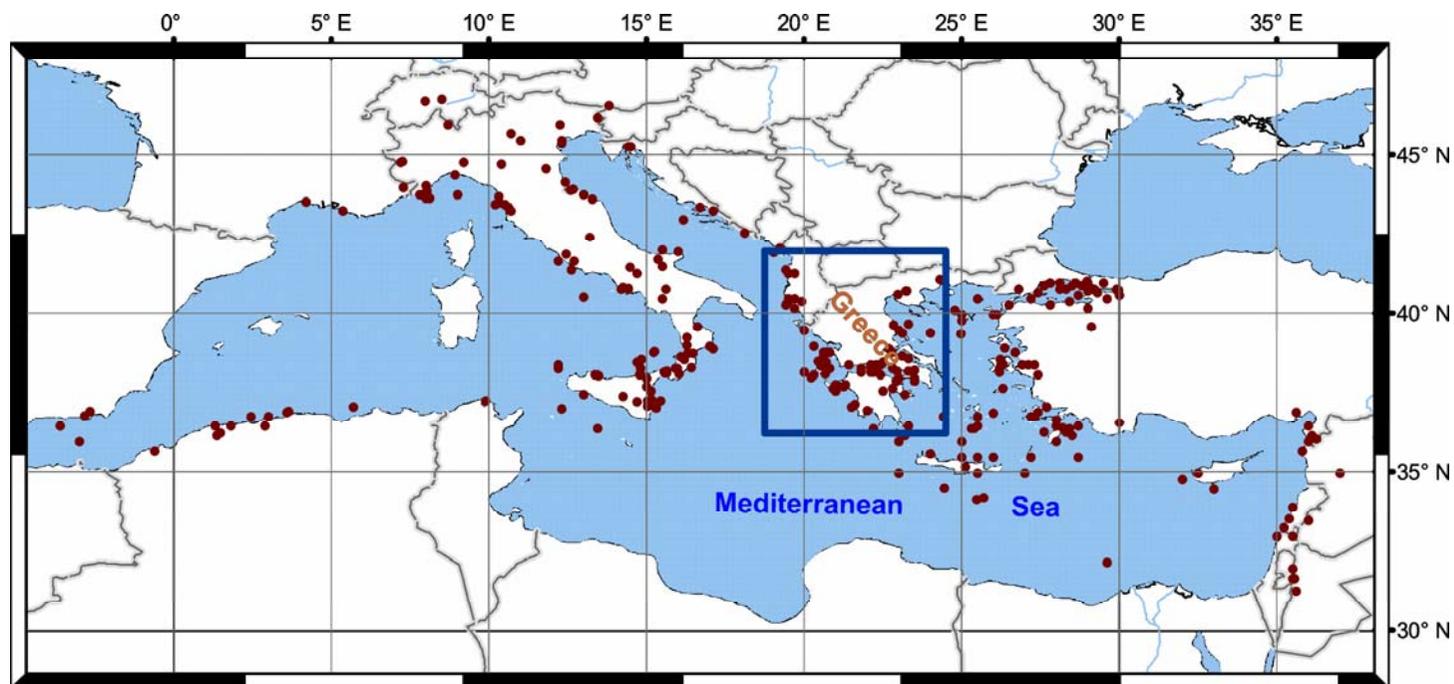
Цунами в Средиземноморье

Около 300 цунами задокументировано в сейсмичных областях Средиземноморья [Guidoboni et al., 1994, 2005; Soloviev, 1990; Soloviev et al., 2020; Tinti et al., 2001], включая территорию Греции [Ebeling et al., 2012; Papadopoulos and Chalkis, 1984; Papadopoulos, 2001, 2003; Papadopoulos et al., 2007, 2014a, 2014b]. Средняя магнитуда цунамигенных землетрясений в Средиземноморском регионе составляет $M=6.8\pm 0.15$ [Soloviev, 1990].

Прибрежные области Греции подвергаются воздействию цунами как от **региональных** землетрясений, прежде всего, происходящих в активной зоне Эллинской дуги, так и от **локальных** землетрясений, возникающих непосредственно на территории самой Греции, в частности, на южной оконечности Пелопонеса [Papadopoulos, 2001; Papadopoulos et al., 2007, 2014a, 2014b] и в Коринфском заливе, который расположен в центральной Греции [Papadopoulos, 2003; Kortekaas et al., 2011].

Цунами в Средиземноморье

База GHTD http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml



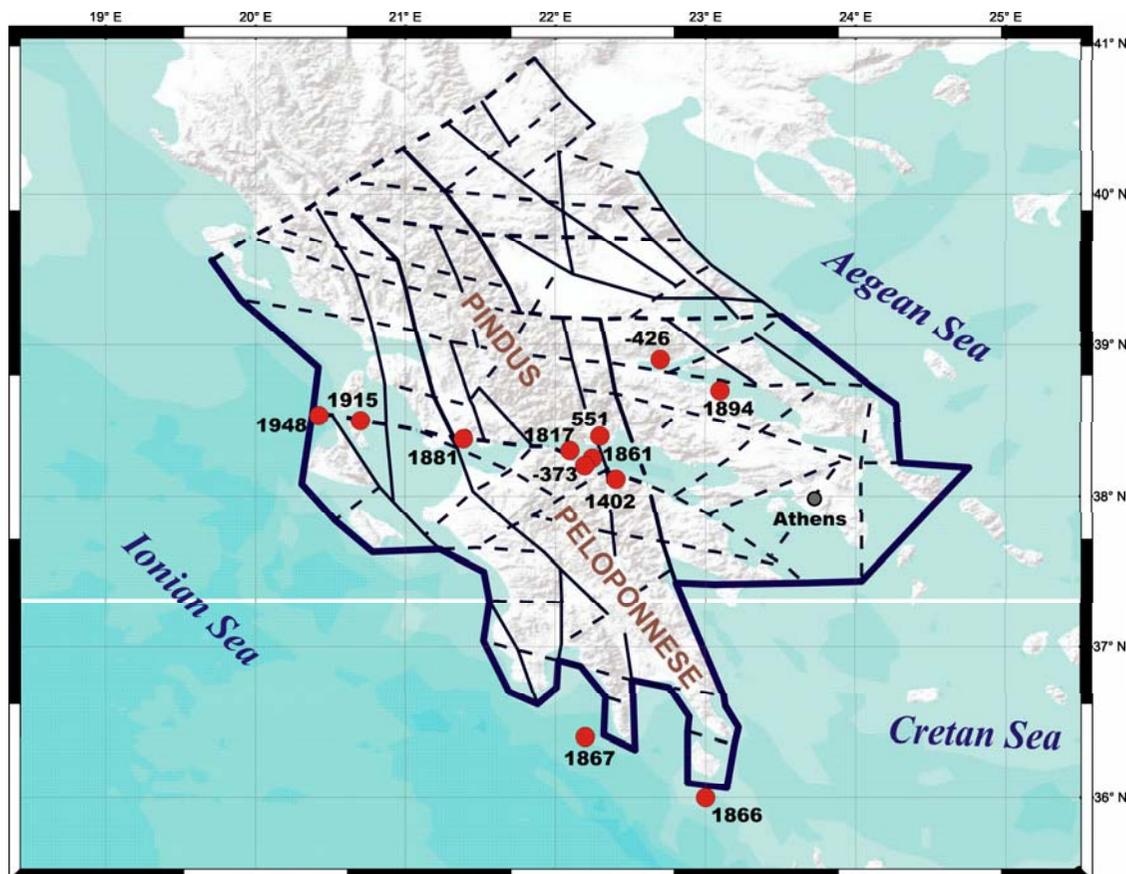


■ Global Historical Tsunami Database NGDC/WDS (National Geophysical Data Center, NOAA / World Data Service). doi: 10.7289/V5PN93H7

ULR: http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

■ В базе содержатся параметры цунамигенных землетрясений (дата, географические координаты, магнитуда, глубина гипоцентра) и характеристики самих цунами (интенсивность, высота заплеска волны цунами). Достоверность исходной информации о каждом событии оценена по шкале от -1 до 4. Интенсивность цунами дается по шкале Соловьева—Имамуры [Соловьев, 1972; Soloviev and Go, 1974], в основе которой лежат усредненные значения высот заплеска цунами на ближайшем к очагу побережье. Для каждого события приводится ссылка на литературный источник, где описано данное событие. Глубины гипоцентров в базе определены только для современных землетрясений. По данным [Paradopoulos and Chalkis, 1984] абсолютное большинство гипоцентров цунамигенных землетрясений в Греции расположено в пределах земной коры на глубине 10-15 км.

Связь цунамигенных событий с узлами пересечения морфоструктурных линеаментов



Линиями показаны морфоструктурные линеаменты разных рангов (Горшков и др. 2020).

Красные точки цунамигенные события из базы данных GHTD

http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

[zard/tsu_db.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml)



Постановка задачи

Задача распознавания цунамигенных узлов формулируется в работе аналогично задаче распознавания высоко – и низкосейсмичных узлов. Объектами распознавания являются узлы, определенные в результате МСР. Цунамигенные землетрясения связаны с некоторыми из узлов, выделенными в регионе в результате МСР. Задача состоит в том, чтобы на основе геоморфологических параметров найти критерии (решающее правило), по которым цунамигенные узлы (класс ЦГ) отличаются от не цунамигенных (класс НЦГ). Решающее правило вырабатывается на этапе обучения алгоритма распознавания Кора-3. Обучающая выборка класса ЦГ формируется на основе информации о задокументированных цунамигенных землетрясениях. С помощью решающего правила все узлы разделяются на классы ЦГ и НЦГ.



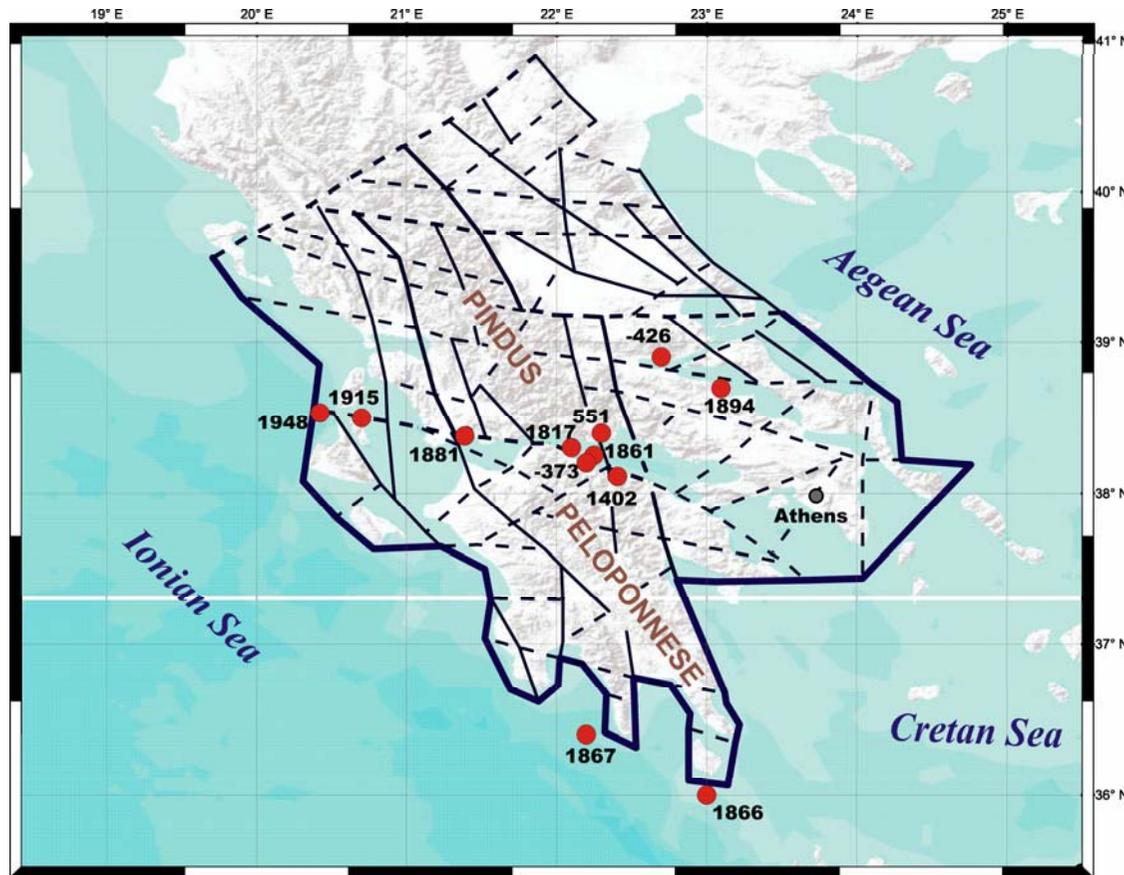
Выбор цунамигенных землетрясений для обучения алгоритма распознавания

Между интенсивностью цунами и магнитудой инициировавшего его землетрясения нет прямой зависимости [Soloviev, 1990; Левин и др., 2005]. Иногда землетрясения меньшей магнитуды вызывают цунами большей интенсивности, чем события более высоких магнитуд. Поэтому для задачи распознавания цунамигенных узлов мы формировали материал обучения для алгоритма распознавания Кора-3, опираясь на характеристики цунами, а не землетрясения, его породившего. Для обучения алгоритма Кора-3 были выбраны землетрясения и ассоциированные с ними цунами, для которых достоверность события >1 , а интенсивность цунами ≥ 3 . При такой интенсивности средняя высота волны, в соответствии с формулой Соловьева, может достигать 5.7 метра, что представляет непосредственную угрозу объектам наземной инфраструктуры.

Цунамигенные события в Греции

X	Y	Year	Validity	Cause	INT	Water_h	Number of runups	M	
22,7	38,9	-426	Definit_tzun	Earth.	5		12	7,1	Freitag & Reicherter , 2019
22,25	38,25	-373	Definit_tzun	Earthq & Landslide	5		1	7,3	Papadopoulos, G. A., 2000
22,3	38,4	551	Definit_tzun	Earthq & Landslide	4		4	7,1	Ambraseys, N.N., 2009
22,41	38,11	1402	Quest_tzun	Earth.	5		1	7	Soloviev et all. 2000
22,1	38,3	1817	Probable_tzun	Earth.	3	5	2	6,8	Papadopoulos et all., 1984,
22,2	38,2	1861	Definit_tzun	Earthq & Landslide	4	2,1	6	7,3	Galanopoulos, A. G., 1960
23	36	1866	Probable_tzun	Earth.	4	8,6	1	6	Ambraseys, N.N., 1962
22,2	36,4	1867	Definit_tzun	Earth.	4	6	24	7,1	Ambraseys, N.N., 1962
21,4	38,4	1881	Probable_tzun	Earth.	3	2		6,5	Papadopoulos, G. A., 2000
23,1	38,7	1894	Definit_tzun	Earthq & Landslide	4	3	2	7	Galanopoulos, A. G., 1960
20,7	38,5	1915	Definit_tzun	Earthq & Landslide	3	1,5	2	6,7	Galanopoulos, A. G., 1960
20,427	38,532	1948	Definit_tzun	Earth.	4	1	1	6,5	Galanopoulos, A. G., 1960

Материал обучения для алгоритма распознавания Кора-3



Распознавание цунамигенных узлов

Материал обучения для алгоритма Кора-3 сформирован на основе информации о цунамигенных землетрясениях изучаемого региона

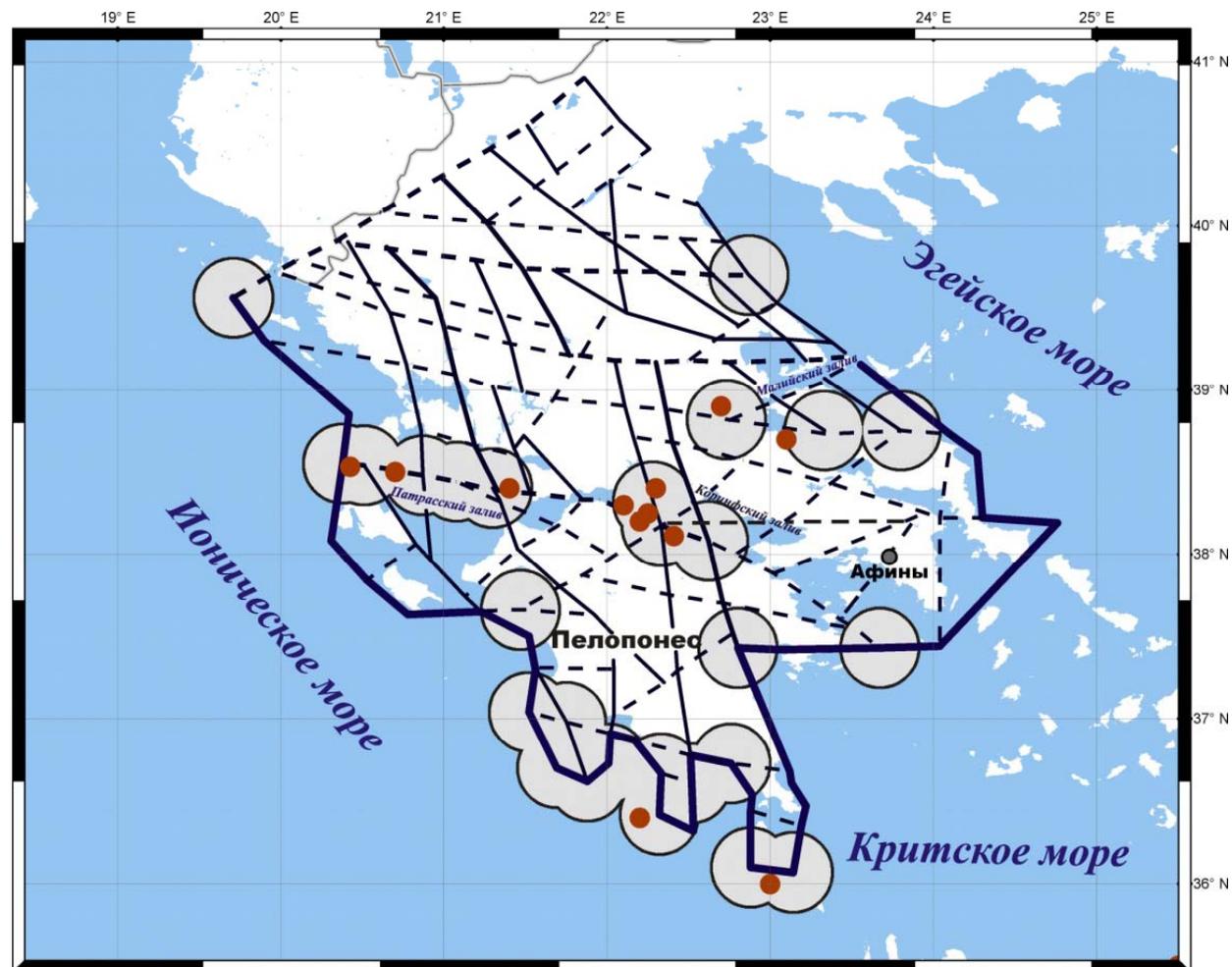
Множество объектов распознавания в материковой Греции составили 139 узлов. В обучающую выборку ЦГо цунамигенного класса вошли 12 узлов

Остальные 127 узлов вошли в материал обучения класса НЦГо.

Параметры, использованные для распознавания цунамигенных узлов

Параметры	Пороги дискретизации
<i>Морфометрические параметры</i>	
Максимальная высота рельефа, м (H_{max})	1600
Минимальная высота рельефа, м (H_{min})	- 106
Размах высот, м (ΔH) ($H_{max} - H_{min}$)	1952
Расстояние между точками H_{max} и H_{min} , км (L)	32
Градиент высот, ($\Delta H/L$)	63
<i>Геологический параметр</i>	
Доля четвертичных отложений в % в узле (Q)	20
<i>Геометрия <u>линеamentно-блоковой</u> структуры</i>	
Высший ранг <u>линеамента</u> в узле, (HR)	2
Число <u>линеamentов</u> , формирующих узел, (NL)	2
Расстояние от узла до ближайшего <u>линеамента</u> 1-го ранга, км, (D1)	50
Расстояние от узла до ближайшего <u>линеамента</u> 2-го ранга, км, (D2)	30
Расстояние до ближайшего пересечения в соседнем узле, км, (Dn)	21

Распознанные цунамигенные узлы



Серыми кругами
отмечены
цунамигенные узлы.
Красные кружки –
цунамигенные
землетрясения.

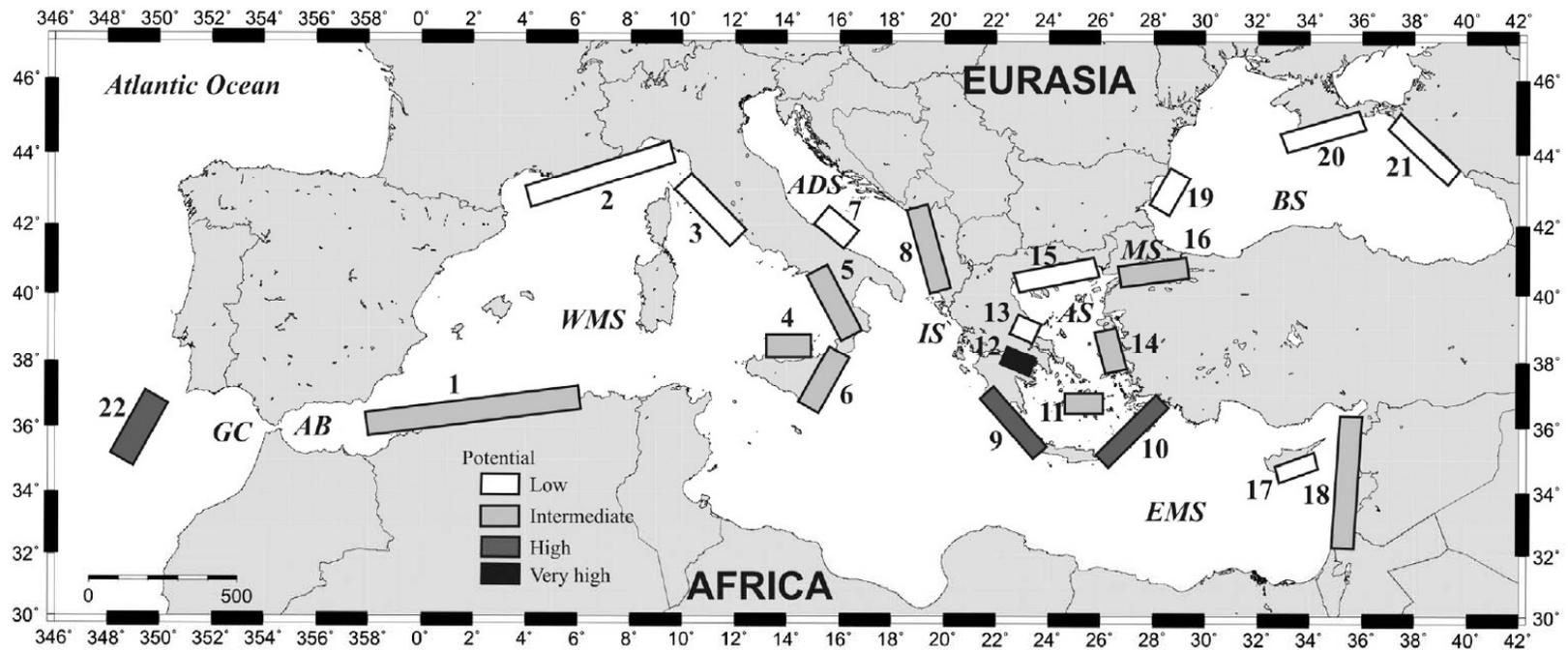
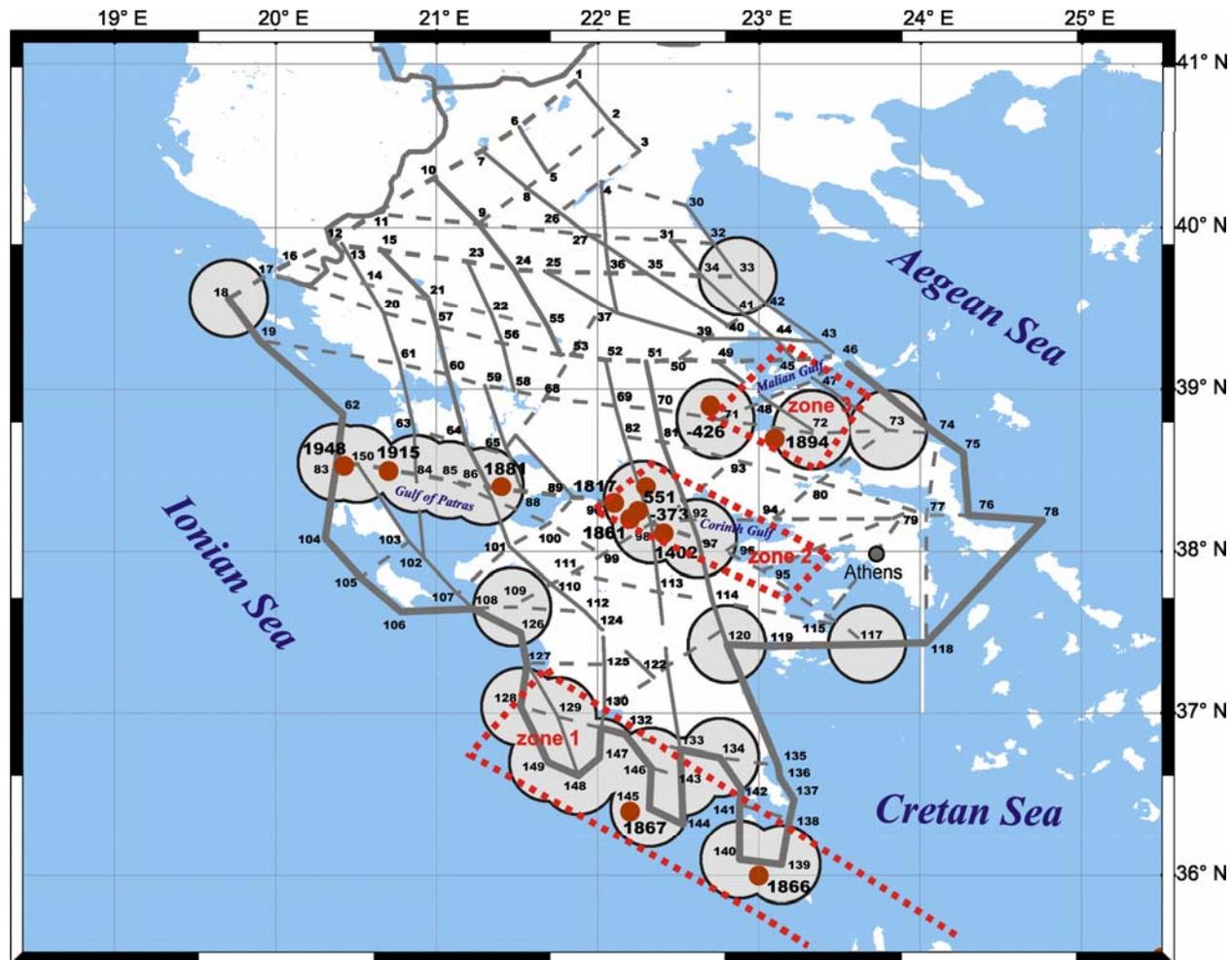
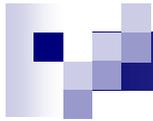


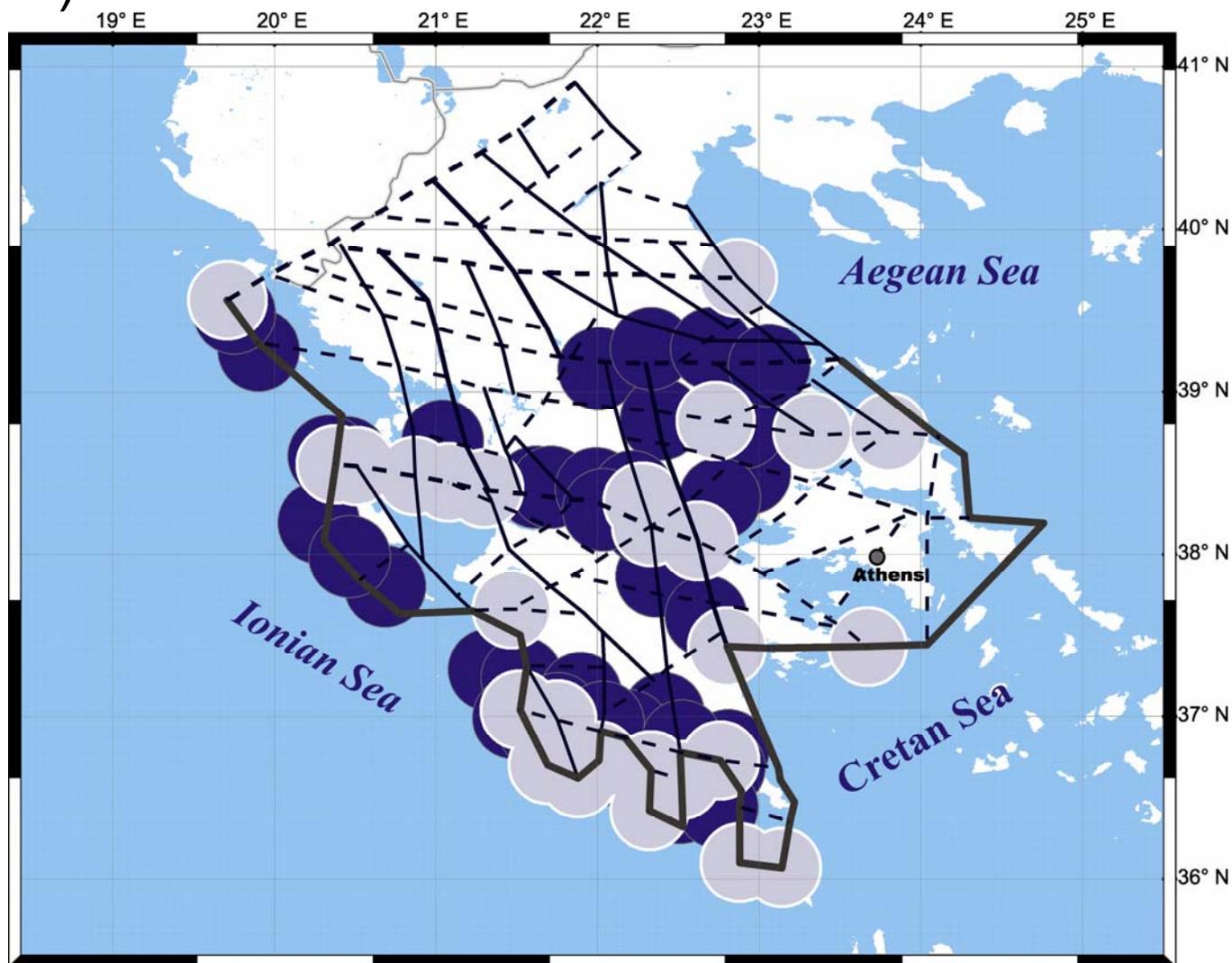
Fig. 12. Tsunamigenic zones defined from documentary sources and their relative tsunami potential classification: WMS = Western Mediterranean Sea, GC = Gulf of Cádiz, AB = Alboran Basin, EMS = Eastern Mediterranean Sea, AS = Aegean Sea, ADS = Adriatic Sea, MS = Marmara Sea, BS = Black Sea. Zonation key: 1 = East Alboran Sea/North Algerian Margin Sea, 2 = Liguria and Côte d'Azur, 3 = Tuscany, 4 = Aeolian islands, 5 = Tyrrhenian/Calabria, 6 = Eastern Sicily and Messina Straits, 7 = Gargano, 8 = East Adriatic Sea, 9 = West Hellenic Arc, 10 = East Hellenic Arc, 11 = Cyclades, 12 = Corinth Gulf, 13 = Maliakos Bay, 14 = East Aegean Sea, 15 = North Aegean Sea, 16 = Marmara Sea, 17 = Cyprus, 18 = Levantine Sea, 19 = Bulgaria, 20 = Crimea, 21 = East Black Sea, 22 = SW Iberia.



Серыми кругами отмечены цунамигенные узлы. Красные кружки – цунамигенные землетрясения. Точками отмечены цунамигенные зоны 1-3 по [Papadopoulos et al., 2014].

Note that according to (Konstantinou et al 2017), normal faulting dominants in the Corinthian, Patras, and Malian gulfs as well as in the southern offshore of the Peloponnese.

Цунамигенные узлы (серые) и узлы (синие), в которых возможны землетрясения M7+ согласно (Горшков и др., 2020)



■ Формулировка результата

- Локальные цунамигенные источники в Греции, выявленные методами распознавания образов
- Публикация: Novikova, O.V., Gorshkov, A.I. (2022). Local tsunamigenic sources in Greece, identified by pattern recognition. *Natural Hazards*, 113(2):1335–1348/ <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05349-0>
- На примере Греции предложен новый подход к определению потенциальных цунамигенных источников. Установлено, что землетрясения, вызывавшие локальные цунами в Греции, связаны с морфоструктурными узлами, местоположение которых для всей территории Греции было определено в результате морфоструктурного районирования (МСР). Впервые с помощью методов распознавания образов решена задача идентификации цунамигенных узлов. Узлы региона, установленные в результате МСР, алгоритмом распознавания Кора-3 разделены на цунамигенные и не цунамигенные на основе их геоморфологических параметров. Большинство выявленных цунамигенных узлов расположено на южной оконечности полуострова Пелопонес, а также в областях Коринфского и Патрасского заливов (Рис. 1). Отдельные потенциально цунамигенные узлы выявлены на Эгейском побережье Греции в районе Малийского залива. Результаты работы предоставляют информацию о местоположении локальных потенциально цунамигенных источников, которая необходима для практических работ по долгосрочной оценке

цунамиопасности и проведения цунамирайонирования.

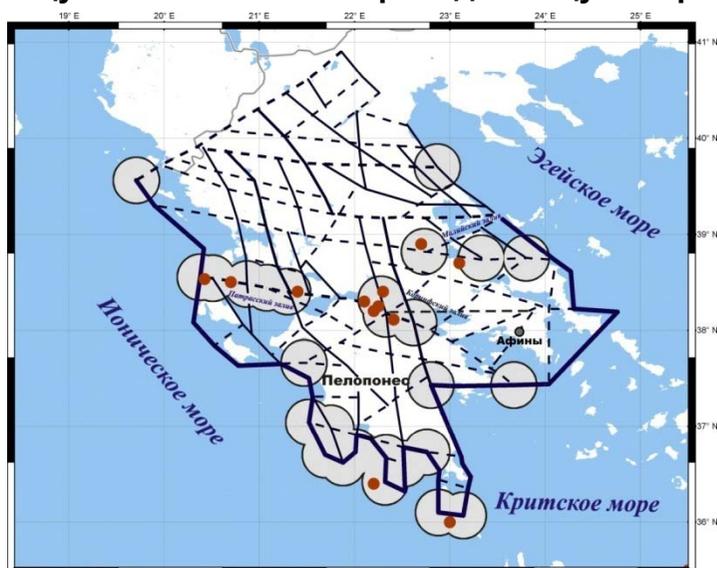
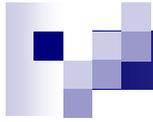


Рис.1.
Распознанные цунамигенные узлы в Греции.

Серыми кругами отмечены цунамигенные узлы выявленные алгоритмом распознавания Кора-3.
Красные кружки – известные цунамигенные землетрясения.
Линиями показаны морфоструктурные линеаменты.



Thank you