



Қазақстан Республикасы инвестициялар және даму министрлігінің Құрылыс және тұрғын-үй коммуналдық шаруашылық істері комитеті

Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан

Ministry for investments and development, Republic of Kazakhstan, the Committee for Construction and housing and Communal Services

ХАБАРШЫСЫ ВЕСТНИК THE HERALD

№6 (70) 2017

ISSN 2224-9346



9 772224 934003

"ҚАЗАҚ ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ СӘУЛЕТ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЖОБАЛАУ ИНСТИТУТЫ" АҚ

АО "КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ"

JSC "KAZAKH SCIENTIFIC-RESEARCH INSTITUTE OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE"



Акционерное общество
«Казахский научно-исследовательский
и проектный институт строительства
и архитектуры»

Обучающие семинары и курсы по повышению
квалификации специалистов, проводимые
Центром повышения квалификации
АО «КазНИИСА»

- ✓ разработка проектной документации на строительство, реконструкцию и восстановление зданий и сооружений, возводимых либо расположенных в климатических районах с обычными геологическими условиями, а также на площадках сейсмичностью 7,8,9 и 10 баллов (лицензия первой категории);
- ✓ изыскательская деятельность, включающая подвиды деятельности по геофизическим исследованиям, рекогносцировку и съемку, полевые исследования грунтов, гидрогеологические исследования, построение и закладку геодезических центров и иные инженерно-геодезические работы (лицензия первой категории);
- ✓ проведение научных исследований, опытно-экспериментальных, технологических и проектных работ, направленных на обеспечение надежности и безопасности зданий и сооружений;
- ✓ экспертные работы, включающие работы по экспертизе проектов и проведению технического обследования надежности и устойчивости зданий и сооружений;
- ✓ осуществление технического и авторского надзоров, обеспечивающих подготовку и осуществление строительства с целью достижения оптимальных проектных показателей;
- ✓ разработка специальных технических условий на проектирование и строительство объектов в районах повышенной сейсмической опасности;
- ✓ оценка последствий стихийных бедствий и аварий зданий и сооружений;
- ✓ осуществление расчетов зданий и сооружений на статические и динамические (сейсмические) нагрузки;
- ✓ технико-экономический аудит объектов строительства;
- ✓ разработка мероприятий для проектирования и строительства зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.
- ✓ организация и проведение обучения и аттестации инженерно-технических работников, специализирующихся в области проектных и строительско-монтажных работ в сейсмоопасных районах.

1. Основы сейсмостойкого строительства;
2. Применение строительных норм СН РК EN, идентичных Еврокодам в проектировании и строительстве зданий и сооружений.
3. Геодезические работы в строительстве с применением новых технологий
4. Ресурсный метод сметного ценообразования в строительстве.
5. BIM-технологии - внедрение технологий информационного моделирования (Building Information Modeling);
6. Оценка сейсмических рисков.
7. Обеспечение селебезопасности на территории РК.
8. Техника безопасности на производстве.
9. Техническое обследование надежности и устойчивости зданий и сооружений, уникальных и технологически сложных.
11. Современные методы определения опасных дефектов железобетонных конструкций и применяемые решения для их устранения.
12. Бесконтактный метод диагностики дефектов строительных конструкций в существующих зданиях и сооружениях и методы их ликвидации.
13. Автоматизированные системы проектирования и расчета зданий и сооружений.
14. Обучение работе с автоматизированными комплексами по расчету зданий и сооружений (например ВК "ЛИРА-САПР 2014").
15. Проблемы энергосбережения и энергоэффективности в строительной сфере Республики Казахстан

УДК 550.34

КОПНИЧЕВ Ю.Ф.¹, СОКОЛОВА И.Н.²
(¹ ИФЗ РАН, Москва, РФ; ²РГП ИГИ МЭ РК, Алматы, РК)

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В ЭЛЛИНСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЕЙШЕГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

АНДАТПА: Жұмыста Эллиндік доға ауданындағы сейсмикалықтың кейбір сипаттамалары қаралады. Сейсмикалықтың айналмалы құрылымдарының бөлінуіне негізделген әдістеме пайдаланылған. Сәйкесінше 1997, 2008 және 2013 жылдары болған $M=6,6$, $6,9$ және $6,6$ үш күшті жер сілкіністерінің алдында бірнеше он жыл ішінде терең емес ($h=0-33$ км) және терең ($h=34-70$ км) айналма құрылымдар қалыптасқан. Осы құрылымдардың өлшемдері сәйкес магнитудалары бар Суматра аудандарындағы жағдайларға қарағанда едәуір жоғары. Күшті жер сілкіністерінің эпицентрлері ұсақ және терең сейсмикалық айналмалылар қимасының немесе ең жақын орналасқан жерінде орналасқан. Крит айналасында ірі айналмалы құрылымдар белгіленген, мұнда $M\sim 8,0$ жер сілкінісі ең кем дегенде 700 жылдай болмаған. Суматра ауданындағы күшті және күштірек жер сілкіністері үшін басты жағдайлардың энергиясынан сейсмикалық айналмалы параметрлердің бұрын алынған корреляциялық тәуелділіктердің негізінде айналма құрылымдарының саласында дайындалатын күшті жағдайлардың магнитудасы бағаланған: $M_w=7,6\pm 0,2$. Осындай жер сілкінісі және онымен байланысты цунами Крит аралы аймағында ғана емес, бірақ шығыс Жерорта теңізінің басқа аудандарында да үлкен бұзылыстарды шақыруы мүмкін. Айналма құрылымдарын және сейсмикалық терең жолақтарды қалыптастыру геологиялық жүйелердің өздігінен ұйымдастыру процесімен байланыстырылады, оның нәтижелерінде терең флюидтардың көшуі жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ: В работе рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности в районе Эллинской дуги. Использована методика, основанная на выделении кольцевых структур сейсмичности. Установлено, что перед тремя сильными землетрясениями с $M=6,6$, $6,9$ и $6,6$, произошедшими соответственно в 1997, 2008 и 2013 гг., в течение нескольких десятков лет сформировались неглубокие ($h=0-33$ км) и глубокие ($h=34-70$ км) кольцевые структуры. Размеры этих структур значительно выше, чем для событий в районе Суматры, имеющих соответствующие магнитуды. Показано, что эпицентры сильных землетрясений находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких колец сейсмичности. Выделены крупные кольцевые структуры в области о-ва Крит, где не было землетрясений с $M\sim 8,0$ по меньшей мере 700 лет. На основании полученных ранее корреляционных зависимостей параметров колец сейсмичности от энергии главных событий для сильных и сильнейших землетрясений в районе Суматры оценена магнитуда сильного события, которое может готовиться в области кольцевых структур: $M_w=7,6\pm 0,2$. Такое землетрясение и связанное с ним цунами могут вызвать большие разрушения не только в области о-ва Крит, но и в других районах восточного Средиземноморья. Формирование кольцевых структур и глубоких полос сейсмичности связывается с процессами самоорганизации геологических систем, в результате которых осуществляется миграция глубинных флюидов.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее было показано, что в различных зонах субдукции перед многими сильными землетрясениями в течение нескольких десятилетий формируются кольцевые структуры (кольца) сейсмичности, оконтуривающие области относительного сейсмического затишья [1-7]. В указанных работах установлено, что эти структуры формируются, как правило, в двух диапазонах глубин – 0-33 и 34-70 км; при этом они образованы эпицентрами событий с магнитудами $M \geq M_{п1}$ и $M \geq M_{п2}$ соответственно, где $M_{п1}$ и $M_{п2}$ – пороговые значения, которые растут с увеличением энергии главных землетрясений. Для ряда зон субдукции получены корреляционные зависимости $L(M_w)$, $M_{п1}(M_w)$, $l(M_w)$, $M_{п2}(M_w)$, где L и l – длины больших осей колец сейсмичности в указанных диапазонах глубин, M_w – магнитуды соответствующих им сильных событий [2,6,7]. Аналогичные зависимости получены также для сильных землетрясений с различными механизмами очагов во внутриконтинентальных районах [8]. Использование этих зависимостей позволяет прогнозировать места и магнитуды готовящихся сильных событий по характеристикам кольцевых структур [2, 4-7]. Примеры успешных прогнозов этих параметров для трех сильных и сильнейших землетрясений в разных районах земного шара продемонстрированы в работах [4,7,9]. В настоящей работе такие исследования проводятся для района южной Греции, включающего Эллинскую зону субдукции.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Греция расположена в сложной пограничной области восточного Средиземноморья, между Африканской и Евразийской плитами. Северная часть Греции лежит на Евразийской плите, а южная – на плите Эгейского моря. Плита Эгейского моря движется на юго-запад относительно Евразийской плиты со скоростью около 30 мм/год, в то время как Африканская плита субдуцирует под плиту Эгейского моря несколько быстрее - ~40 мм/год [10]. Южная конвергентная граница плиты Эгейского моря формирует Эллинскую дугу, которая включает Эллинский желоб, невулканическую дугу и вулканическую дугу (рисунок 1). Внешняя невулканическая дуга простирается вдоль всей Эллинской дуги, она частично поднимается выше уровня моря, формируя Ионические о-ва, о-ва Крит и Родос. Внутренняя вулканическая дуга длиной ~450 км проходит от восточного побережья Пелопоннеса на западе до о-ва Нисирос вблизи Эгейского побережья Турции на востоке. Она состоит из серии потухших и активных вулканов, включая Санторин, который известен грандиозным взрывом, погубившим минойскую культуру в 1400 г. до н.э.

Наиболее сильные землетрясения в районе Греции связаны с внешней Эллинской дугой, хотя инструментально здесь были зарегистрированы события с магнитудой не более 7,2. Сейсмичность в зоне субдукции простирается до глубин ~180 км [11, 12]. Самыми сильными известными событиями в области внешней дуги были землетрясения 365 и 1303 гг. ($M \sim 8,3$ и $8,0$ соответственно, см. таблицу 1 и рисунок 1). Кроме того, с начала XIX-го века здесь зарегистрировано 3 события с $M=7,5-7,9$. Еще два землетрясения (26.06.1926 и 09.07.1956 гг.) произошли значительно севернее внешней дуги, в восточной части Эгейского моря. Очаг землетрясения 365 г. находился, вероятно, в основном к западу от о-ва Крит, а события 1303 г. – на востоке дуги, между о-вами Крит и Родос. Оба они генерировали сильнейшие цунами, которые проявились практически во всей восточной части Средиземного моря [11, 12]. Некоторые оценки показывают, что период повторяемости таких землетрясений в области Эллинской дуги – порядка 800 лет [12]. После события 1303 г. прошло более 700 лет, в связи с этим необходимо ответить на вопрос о возможности подготовки нового сильнейшего земле-

трясения в этой области. В настоящей работе с этой целью анализируются характеристики кольцевой сейсмичности в области Эллинской дуги.

Таблица 1 – Сильные землетрясения в районе Эллинской дуги и ее окрестностях ($M \geq 7,5$)

Дата	° N	° E	M	h, км
21.07.365	35,0	23,0	8,3	-
08.08.1303	35,0	27,0	8,0	-
16.02.1810	35,5	25,6	7,5	-
04.02.1867	38,4	20,2	7,9	-
27.08.1886	37,1	21,5	7,5	-
26.06.1926	36,60	26,89	7,7	102
09.07.1956	36,9	26,0	7,8	35

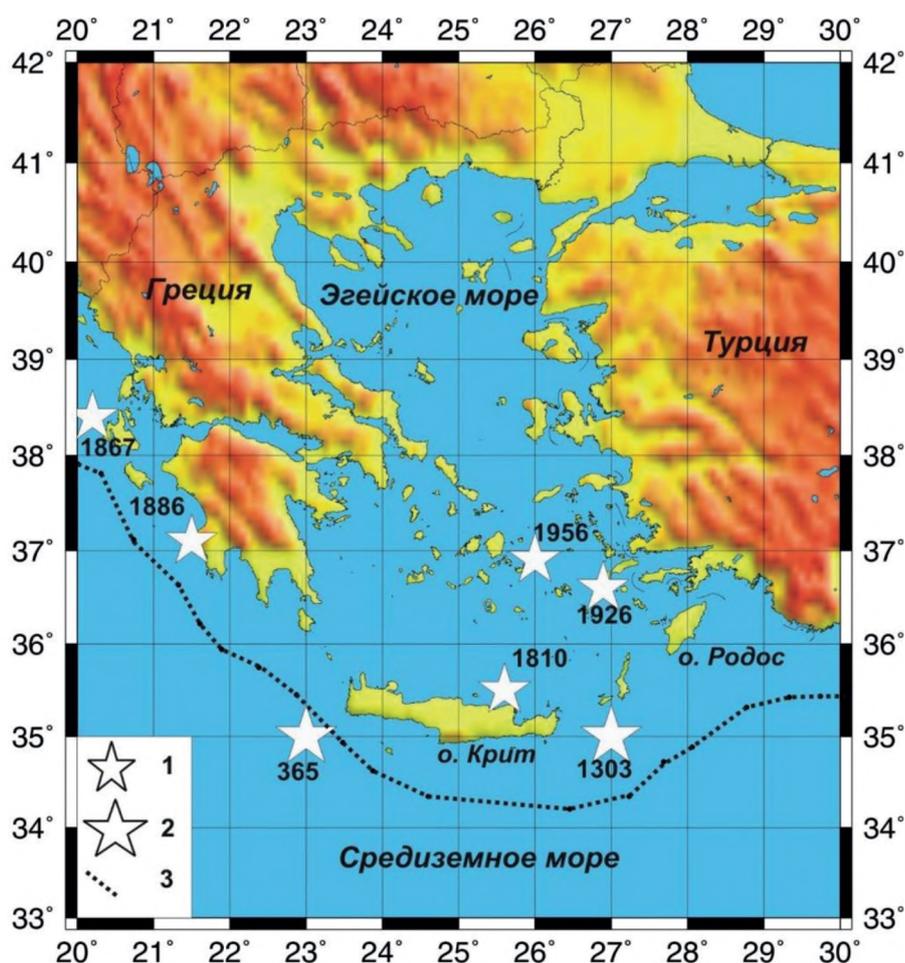


Рисунок 1 – Карта района исследований.
1 – эпицентры землетрясений (с 365 г.): 1-8,0 > $M \geq 7,5$;
2 – $M \geq 8,0$; 3 – Эллинский желоб.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Использовались каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS - United States Geological Survey), полученные в 1973-2017 гг. Методика анализа сейсмичности с целью выделения кольцевых структур в зонах субдукции описана в работах [3-7]. Здесь мы только заметим, что в этих зонах анализируются параметры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0-33 и 34-70 км, в которых могут формироваться кольцевые структуры. Отбираются события, магнитуда которых не меньше пороговой (соответственно M_{p1} и M_{p2}), причем эти величины обычно на 2-3 единицы меньше, чем магнитуды главных землетрясений. Кроме пороговых значений магнитуд, кольцевые структуры характеризуются также длинами больших осей (соответственно L и l).

АНАЛИЗ ДАННЫХ

12.10.2013 г. на западной границе о. Крит произошло землетрясение с $M=6,9$ (таблица 2). Это событие имело надвиговый тип подвижки в очаге с существенной компонентой сдвига. На рисунке 2а показаны элементы сейсмичности в окрестностях очаговой зоны на глубинах 0-33 км за период 01.01.1973-11.10.2013 гг. Видно, что перед Критским землетрясением сформировалась кольцевая структура сейсмичности ($M_{p1}=4,4$, $L\sim 90$ км), ориентированная в северо-западном направлении. Эпицентр сильного события находился вблизи северо-западной границы кольцевой структуры. Структура образовалась в 1973-2011 гг., самое сильное событие в области кольца сейсмичности, которое произошло в 1973 г., имело магнитуду $M_{max}=5,7$ (рисунок 2б).

Таблица 2 – Параметры кольцевых структур сейсмичности, сформировавшихся перед сильными землетрясениями в районе Эллинской дуги

Дата	° N	° E	M_w	h , км	L , км	M_{p1}	l , км	M_{p2}
18.11.1997	37,57	20,66	6,6	33	65	4,5	30	4,0
14.02.2008	36,50	21,67	6,9	29	130	4,4	50	4,1
12.10.2013	35,51	23,25	6,6	40	90	4,4	50	4,1

На рисунке 2в представлены данные об относительно глубокофокусной сейсмичности в рассматриваемом районе. В данном случае образовалось меньшее по размерам кольцо сейсмичности ($l\sim 50$ км), ориентированное в северо-восточном направлении, которое касается мелкого кольца на северо-западе. Интересно, что эпицентр сильного землетрясения находится на расстоянии около 10 км от области касания мелкого и глубокого колец. Глубокая структура проявилась в 1974-2001 гг., при этом наиболее сильное событие, связанное с ней, зарегистрировано в 1984 г. ($M_{max}=6,2$, см рисунок 2г).

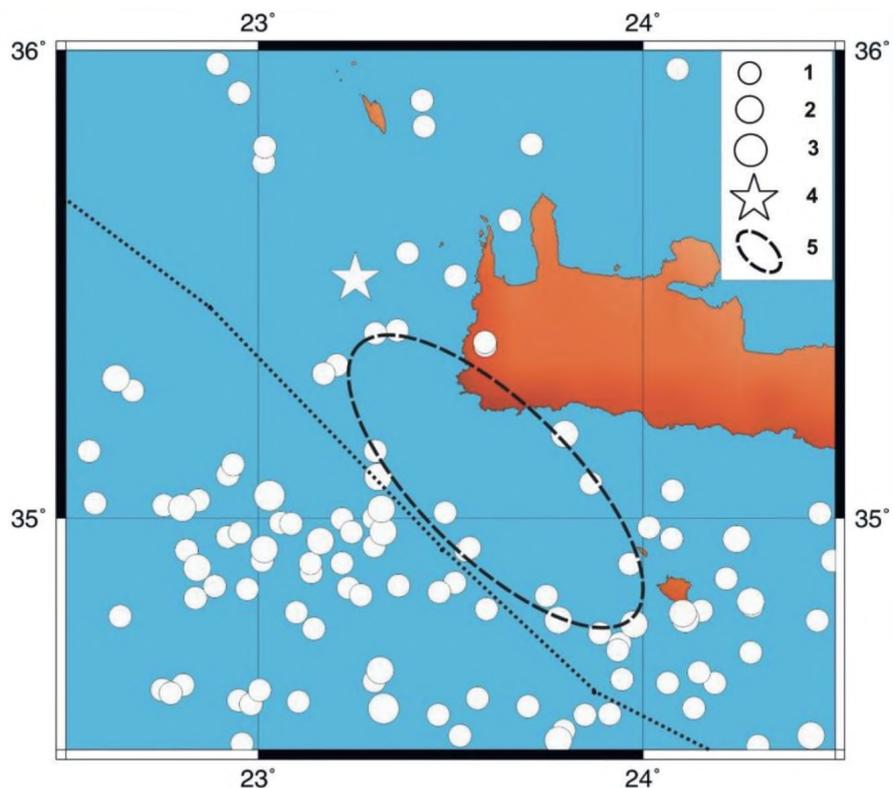


Рисунок 2а – Элементы неглубокой сейсмичности перед землетрясением 12.10.2013 г.
Эпицентры землетрясений: 1 – $5,0 > M \geq 4,4$; 2 – $6,0 > M \geq 5,0$; 3 – $6,5 > M \geq 6,0$;
4 – главного события. 5 – мелкое кольцо сейсмичности.

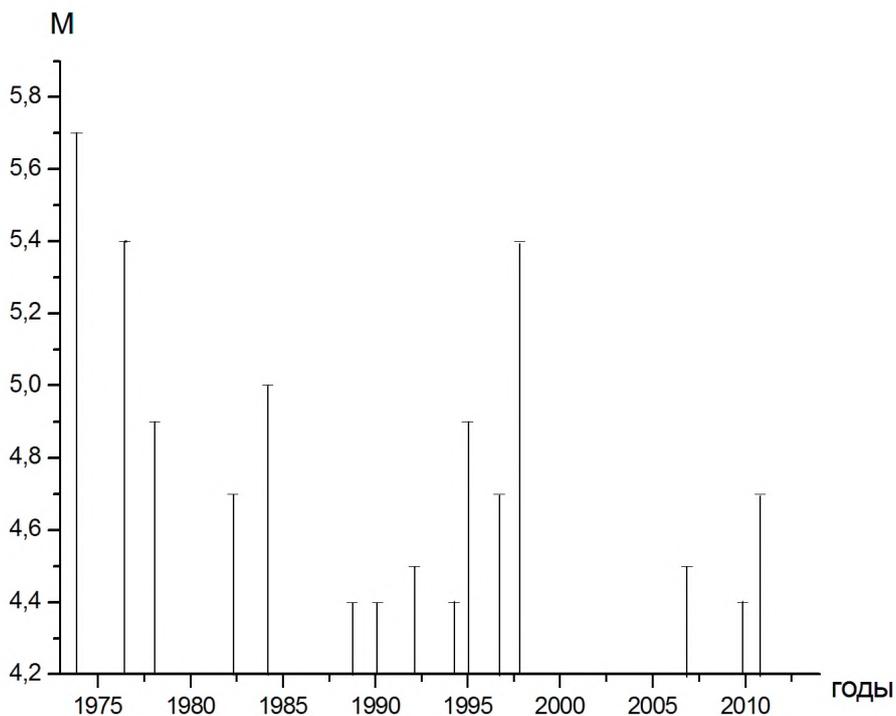


Рисунок 2б – Зависимость $M(T)$ для мелкой кольцевой структуры.

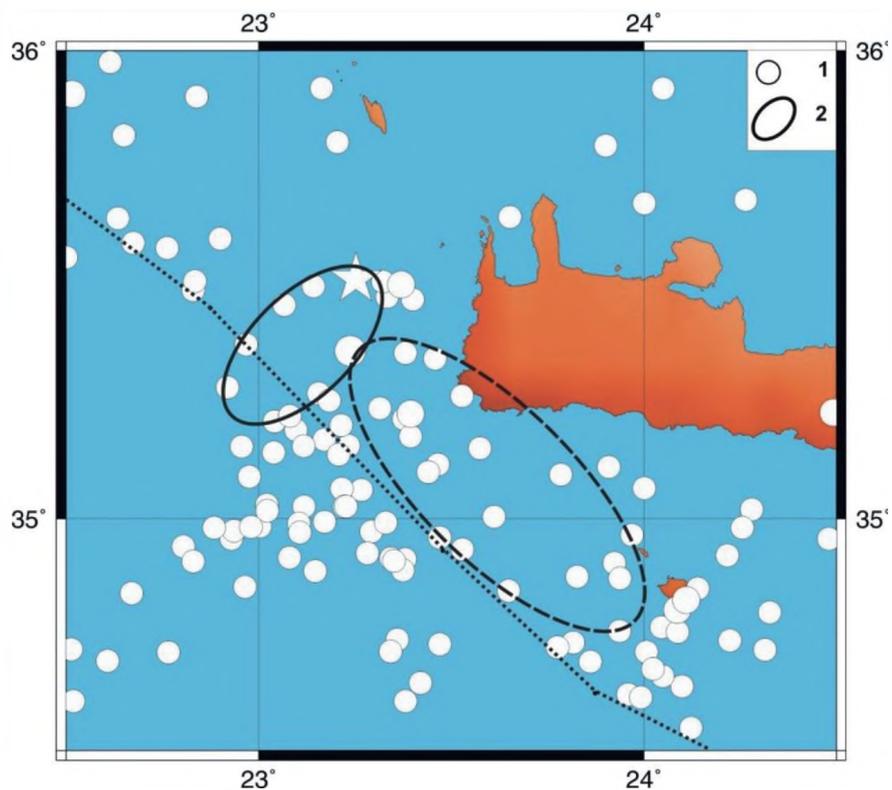


Рисунок 2в – Элементы глубокой сейсмичности перед землетрясением 12.10.2013 г.
Эпицентры землетрясений: 1 – $5,0 > M \geq 4,1$; 2 – глубокое кольцо.
Остальные обозначения – на рисунке 2а.

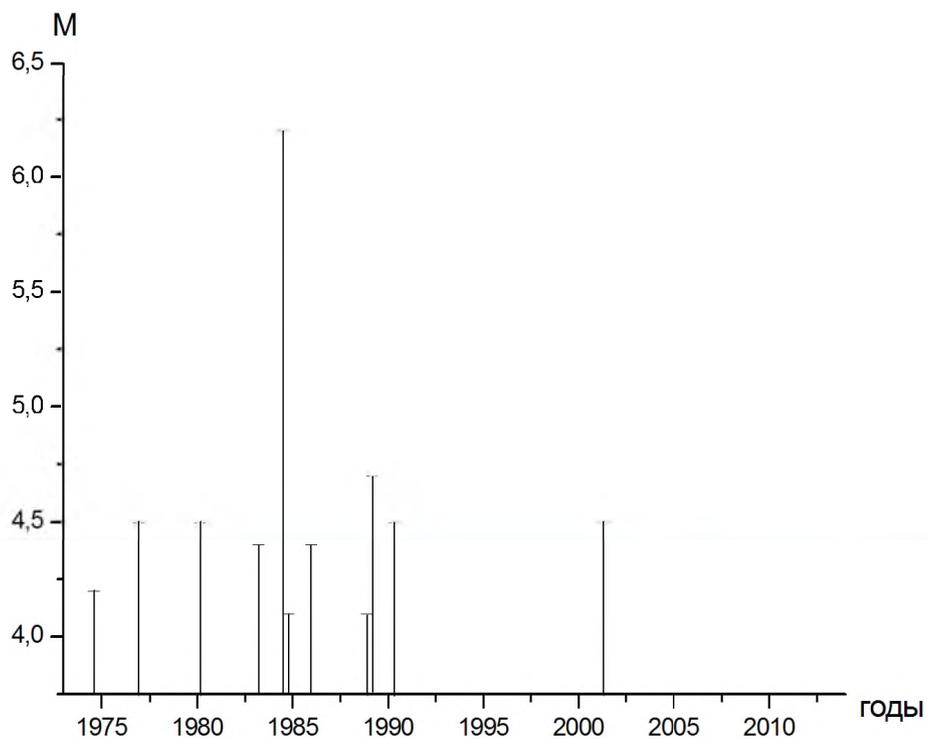


Рисунок 2г – Зависимость $M(T)$ для глубокой кольцевой структуры.

18.11.1997 г. в области о-ва Закынтос, на западной окраине внешней Эллинской дуги произошло относительно сильное землетрясение с $M_w=6,6$. Механизм этого события представлял надвиг с заметной сдвиговой компонентой. Были рассмотрены элементы сейсмичности на глубинах 0-33 и 34-70 км в окрестностях очаговой зоны за период 01.01.1973-17.11.1997 гг. (таблица 2). Перед землетрясением 18.11.1997 г. сформировалась мелкая кольцевая структура сейсмичности ($M_{п1}=4,5$, $L\sim 65$ км), вытянутая в северо-восточном направлении. Эпицентр землетрясения Закынтос находится на южной границе кольцевой структуры. Структура образовалась в 1976-1992 гг., самое сильное событие в области кольца сейсмичности произошло в 1976 г. ($M_{max}=6,4$). Кроме того, в этой области в 1974-1997 гг. сформировалась также глубокая кольцевая структура ($M_{п2}=4,0$, $l\sim 30$ км). Существенно, что эпицентр главного землетрясения находится вблизи от области пересечения мелкого и глубокого колец.

14.02.2008 г. на юго-западной окраине Пелопоннеса произошло землетрясение с $M=6,9$, известное под названием Метони (механизм – сдвигонадвиг). Перед этим событием сформировалась довольно крупная неглубокая кольцевая структура, ориентированная в субмеридиональном направлении ($M_{п1}=4,4$, $L\sim 130$ км, см. таблицу 2). Структура проявилась в 1977-2004 гг., наиболее сильное землетрясение в ее области зарегистрировано в 1997 г. ($M_{max}=6,4$). В 1975-2003 гг. здесь также сформировалась субширотная глубокая кольцевая структура ($M_{п2}=4,1$, $l\sim 50$ км). Отметим, что эпицентр землетрясения Метони находится на расстоянии около 20 км от области пересечения мелкого и глубокого колец.

Перейдем теперь к анализу сейсмичности в области о-ва Крит, где достаточно давно не было сильнейших землетрясений. На рисунке 3а нанесены эпицентры неглубоких землетрясений в области, ограниченной координатами $34-36,5^\circ$ N, $23-27^\circ$ E, за период 01.01.1973-01.04.2017 гг. В данном случае отчетливо проявилась очень крупная кольцевая структура ($M_{п1}=4,7$, $L\sim 250$ км), вытянутая в субширотном направлении. Структура, сформировавшаяся в 1973-2016 гг., расположена между предполагаемыми эпицентрами сильнейших землетрясений 365 и 1303 гг.; она практически полностью охватывает о. Крит. Наибольшая магнитуда в области кольца сейсмичности соответствует землетрясению 1973 г. ($M_{max}=5,7$). Наблюдается резкий рост скорости сейсмостектонической деформации (СТД) в 2008-2016 гг. (рисунок 3б). Элементы глубокофокусной сейсмичности представлены на рисунке 3в. В данном случае выделяется достаточно большая кольцевая структура ($M_{п2}=4,6$, $l\sim 130$ км), ориентированная в северо-восточном направлении, которая проявилась в 1979-2016 гг. Самые сильные события в области структуры произошли в 1989 и 2008 гг. ($M_{max}=5,6$). Здесь также отмечен резкий рост скорости СТД в 2008-2016 гг. (рисунок 3г). Мелкое и глубокое кольца сейсмичности практически касаются на долготе $\sim 25,8^\circ$ E (к югу от о-ва Крит).

Оценка магнитуды землетрясения, соответствующей кольцевым структурам в районе о-ва Крит. Использование корреляционных зависимостей $L(M_w)$, $M_{п1}(M_w)$, $l(M_w)$ и $M_{п2}(M_w)$ позволяет прогнозировать магнитуды готовящихся сильных землетрясений. Вместе с тем ранее было установлено, что параметры кольцевых структур существенно зависят от района исследований [1-7]. В работе [2] получены соответствующие корреляционные зависимости для сильных и сильнейших землетрясений, зарегистрированных в зоне субдукции, расположенной в районе о-ва Суматра (формулы 1-4):

$$\lg L(\text{ км}) = -1,88 + 0,51M_w, \quad r=0,91, \quad (1)$$

$$M_{п1} = 1,92 + 0,38 M_w, \quad r=0,90, \quad (2)$$

$$\lg l(\text{ км}) = -1,04 + 0,37M_w, \quad r=0,86, \quad (3)$$

$$M_{п2} = -0,02 + 0,60 M_w, \quad r=0,92, \quad (4)$$

где r - коэффициент корреляции.

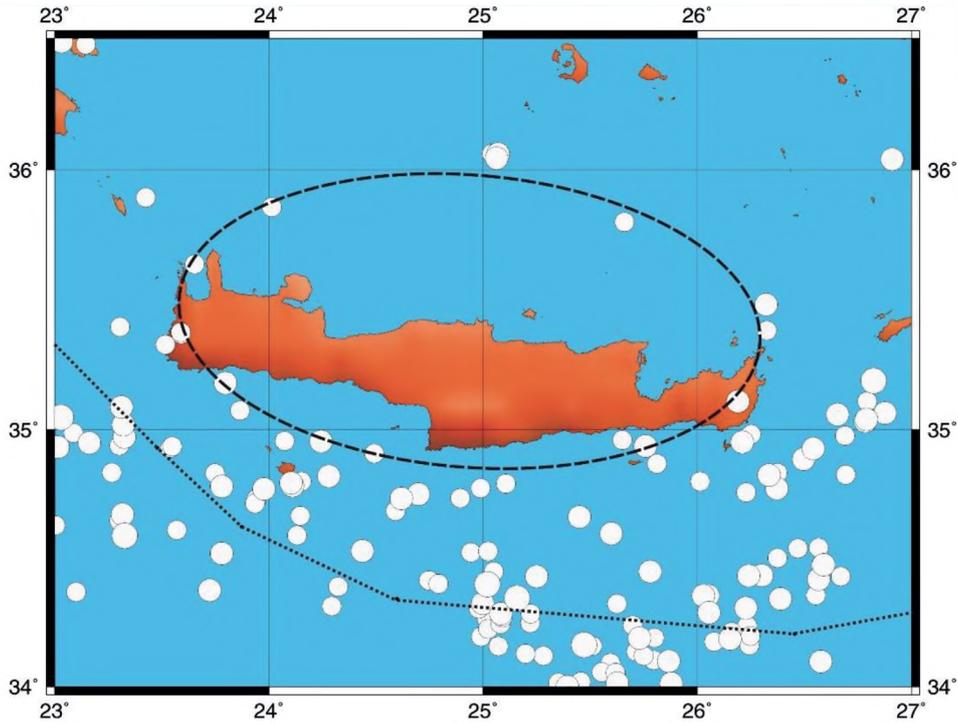


Рисунок 3а – Элементы неглубокой сейсмичности в области о-ва Крит (до 01.04.2017 г.).
Малые кружки – $M=4,7-4,9$. Остальные обозначения – на рисунке 2а.

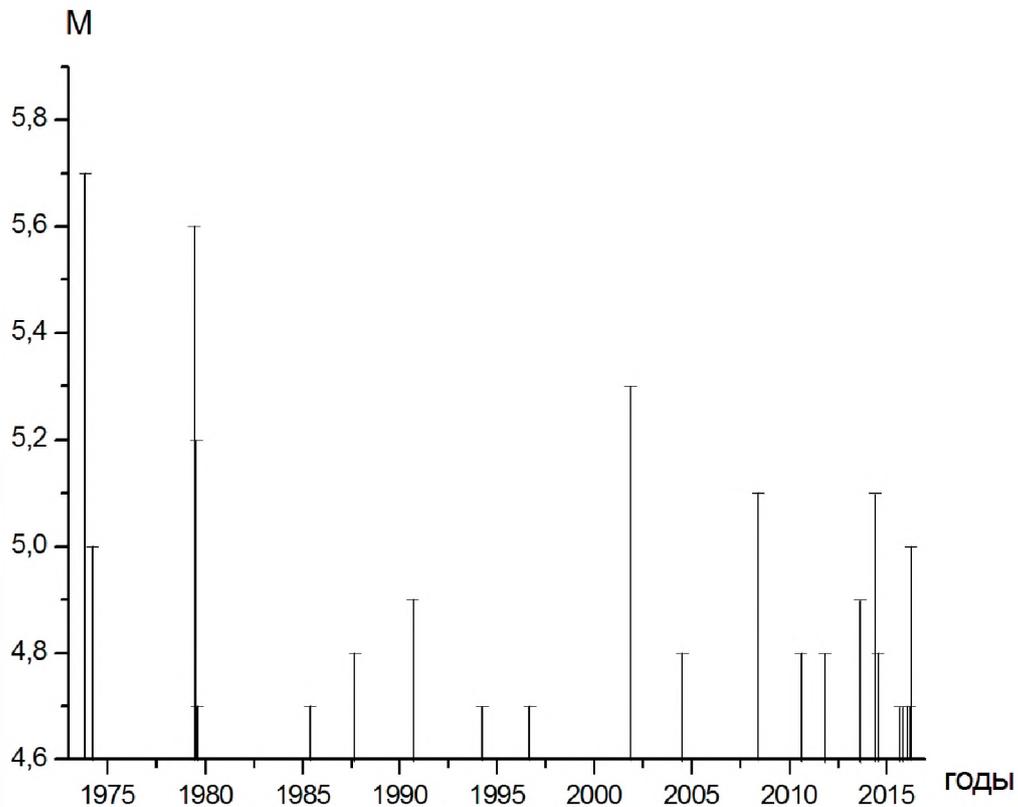


Рисунок 3б – Зависимость $M(T)$ для мелкой кольцевой структуры.

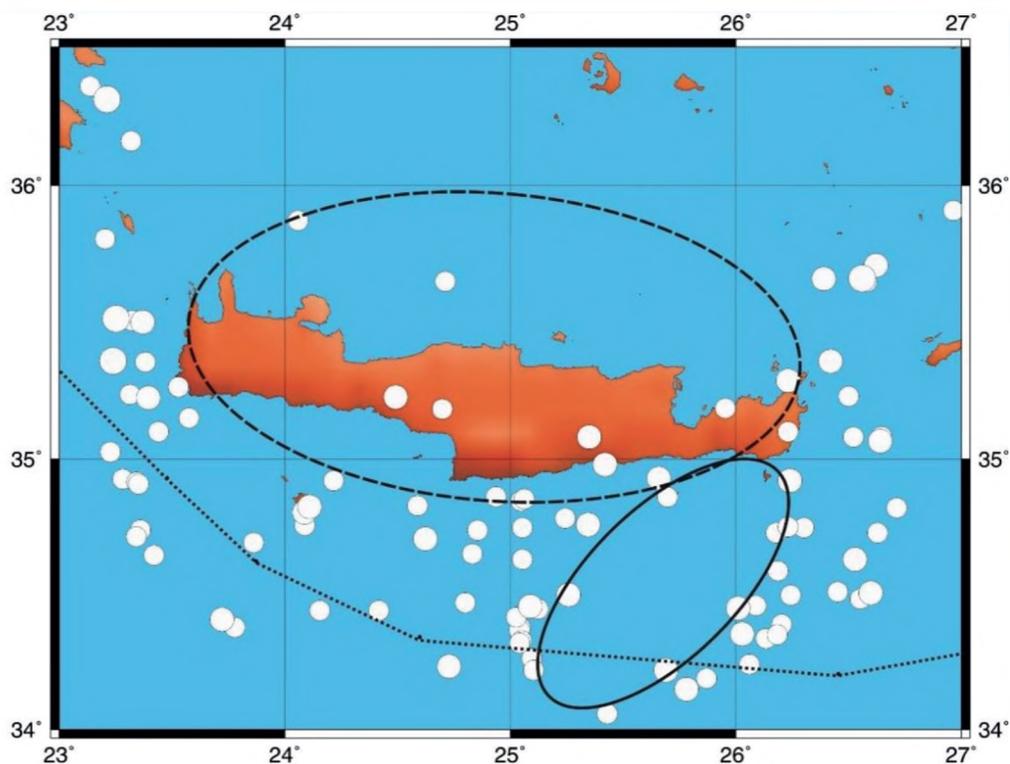


Рисунок 3в – Элементы глубокой сейсмичности в области о-ва Крит (до 01.04.2017 г.).
Малые кружки – $M=4,6-4,9$. Остальные обозначения – на рисунках 2в и 3а.

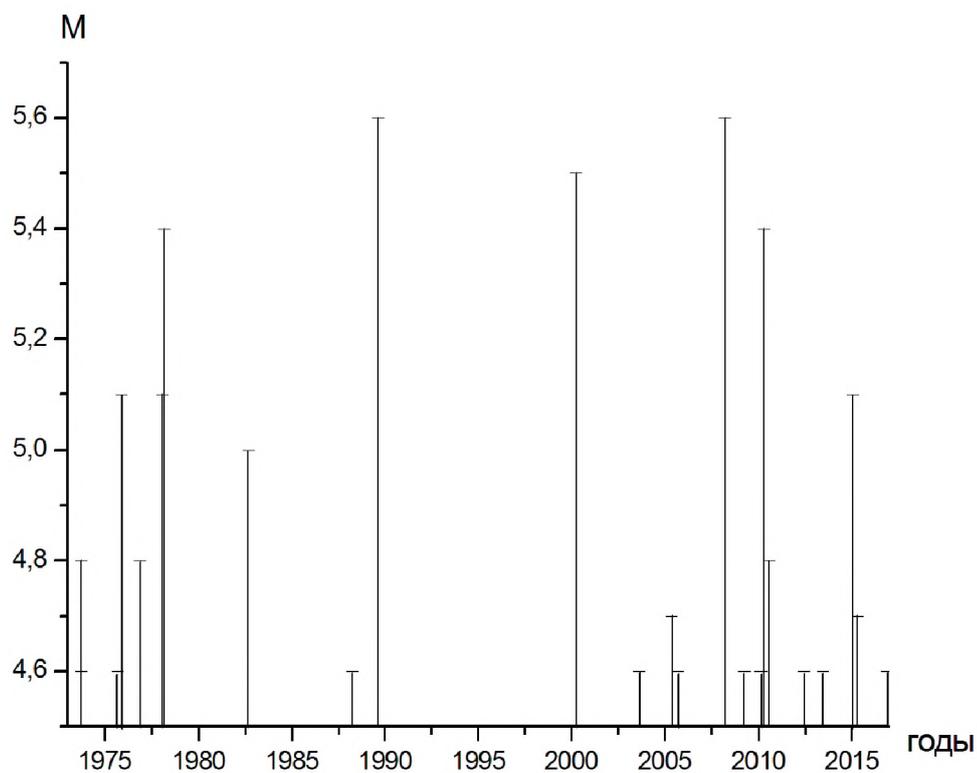


Рисунок 3г – Зависимость $M(T)$ для глубокой кольцевой структуры.

Поскольку районы Греции и Суматры находятся в пределах Альпийского пояса Евразии, мы использовали эти зависимости для оценки в первом приближении магнитуды сильного землетрясения, которое может готовиться в областях кольцевых структур, представленных на рисунках 3а и 3в. Из рисунков 4а и 4в следует, что величины l и особенно L для рассмотренных нами событий в районе Эллинского желоба существенно завышены для данной M_w по сравнению со средними величинами, полученными для района Суматры. В то же время параметры M_{p1} и M_{p2} для двух районов различаются незначительно. Мы предположили, что наклоны графиков $L(M_w)$, $M_{p1}(M_w)$, $l(M_w)$ и $M_{p2}(M_w)$ для рассматриваемого района соответствуют зависимостям (1) - (4), а уровни графиков смещены относительно них на постоянные величины C_1 , C_2 , C_3 и C_4 .

Используя данные, полученные для трех событий (рисунки 2, таблица 2), мы нашли средние величины C_1 , C_2 , C_3 и C_4 (соответственно $0,43 \pm 0,06$, $-0,03 \pm 0,09$, $0,19 \pm 0,09$ и $0,07 \pm 0,07$). По формулам (1)-(4) для данных значений констант мы оценили среднюю величину M_w , которая может соответствовать кольцевым структурам, представленным на рисунках 3(а, в) и описанным в таблице 2: $M_w = 7,6 \pm 0,2$.

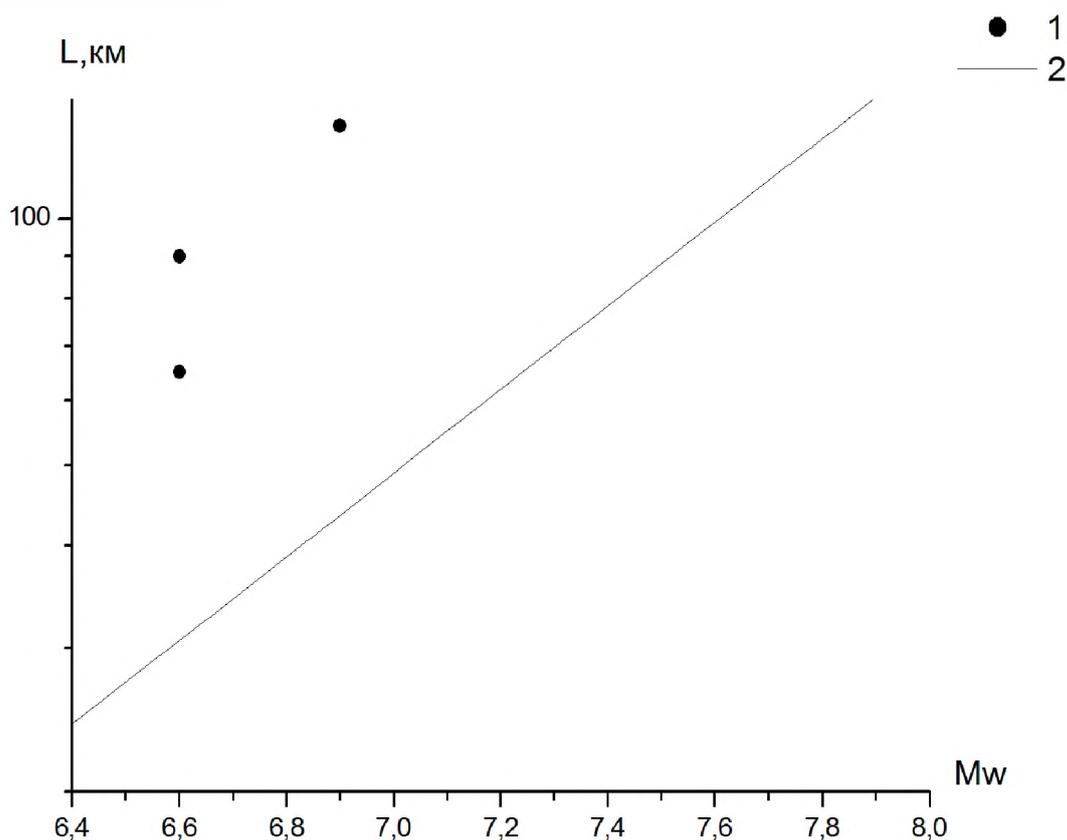


Рисунок 4а – Величины $L(M_w)$ для кольцевых структур, соответствующих землетрясениям в области Эллинского желоба (1), по отношению к корреляционной зависимости (1), полученной для района Суматры (2).

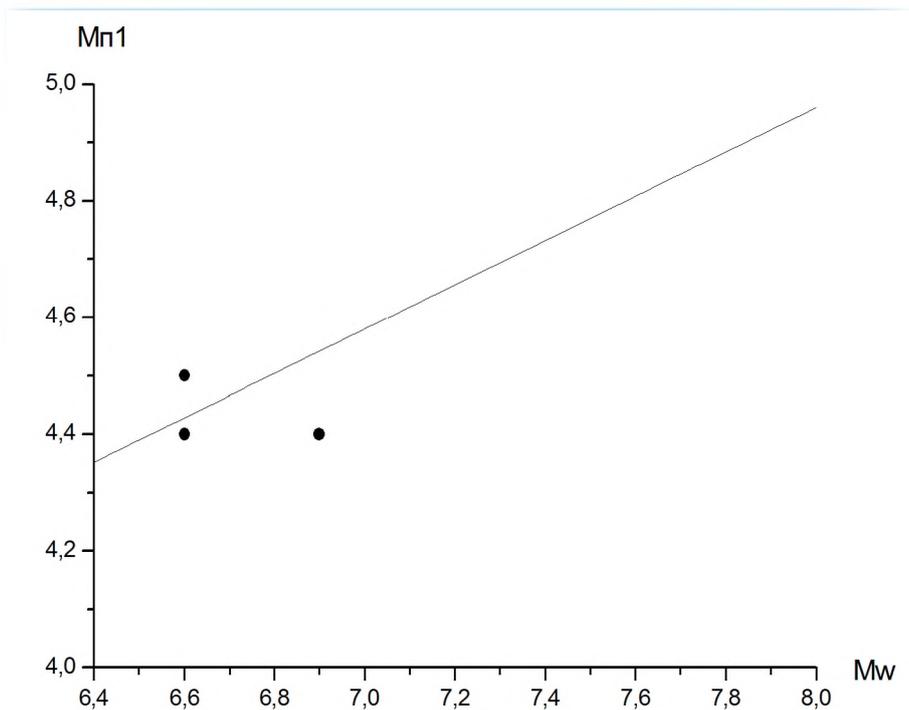


Рисунок 4б. – Величины $M_{п1}(M_w)$ для кольцевых структур, соответствующих землетрясениям в области Эллинского желоба, по отношению к корреляционной зависимости (2), полученной для района Суматры. Обозначения – на рисунке 4а.

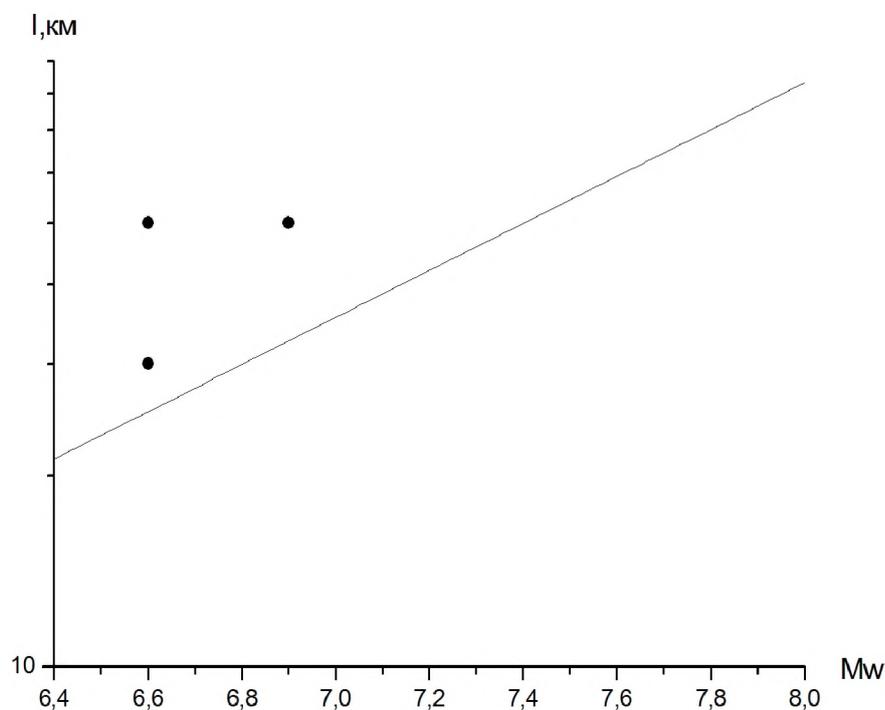


Рисунок 4в. – Величины $I(M_w)$ для кольцевых структур, соответствующих землетрясениям в области Эллинского желоба, по отношению к корреляционной зависимости (3), полученной для района Суматры. Обозначения – на рисунке 4а.

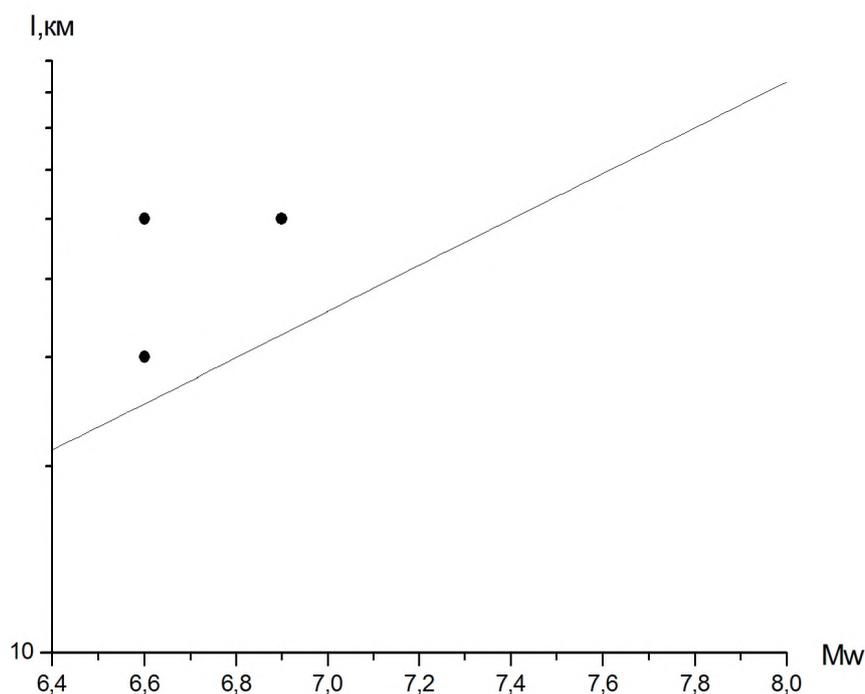


Рисунок 4г – Величины $M_{p2}(M_w)$ для кольцевых структур, соответствующих землетрясениям в области Эллинского желоба, по отношению к корреляционной зависимости (4), полученной для района Суматры. Обозначения – на рисунке 4а.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Эллинской дуги, так же, как и во многих других зонах субдукции [1-7] перед сильными землетрясениями формируются кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин. В указанных работах отмечено, что образование кольцевых структур связано с процессами самоорганизации геологических систем [13], проявляющимися в миграции глубинных флюидов в земной коре и верхах мантии. Вследствие малой плотности флюидов эти процессы, в конечном счете, ведут к уменьшению потенциальной энергии Земли.

В [1-7] показано, что эпицентры большинства сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких кольцевых структур сейсмичности. Аналогичный эффект установлен и для трех землетрясений в районе Эллинской дуги, для которых параметры колец сейсмичности приведены в таблице 2. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что мелкие кольца оконтуривают жесткие блоки литосферы, а глубокие – относительно маловязкие блоки [3,5]. На границах обоих типов блоков происходит подъем глубинных флюидов. При этом в областях пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких колец сейсмичности достигается наибольшая мощность двухфазного слоя с присутствием заметной доли флюидов. В случае, если флюиды формируют связную сеть, на кровле такого слоя наблюдается концентрация напряжений, причем уровень избыточных напряжений пропорционален мощности слоя [14]. Концентрация напряжений и может служить триггерным эффектом, который способен инициировать подвижку при сильном землетрясении [1-9].

В работах [6,8] выдвинута гипотеза о пропорциональности энергии сильных землетрясений в межплитных областях потенциальной энергии флюидов, высвобождаемой при подго-

товке и реализации таких событий. Принятие этой гипотезы позволяет объяснить, в частности, очень низкие величины L и l (для данной M_w) для кольцевых структур, формирующихся в зонах субдукции по сравнению с внутриконтинентальными областями [1-9]. Можно полагать, что этот эффект связан с относительно низким содержанием флюидов в литосфере континентов по сравнению с зонами субдукции [15]. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что величины $L(M_w)$ и $l(M_w)$ существенно завышены в районе Эллинской дуги по сравнению с районом Суматры. Это может свидетельствовать об относительно низком содержании флюидов в литосфере рассматриваемого района. Отметим, что ранее такой же вывод сделан в работе [6] для восточной окраины Тихого океана по сравнению с западной окраиной.

Особый интерес представляют данные о кольцевых структурах в области о-ва Крит, где достаточно давно не было сильнейших землетрясений. Из приведенных выше оценок следует, что в этой области, вероятно, готовится сильнейшее событие с $M_w \sim 7.5-8.0$, возможный аналог землетрясений 365 и 1303 гг. Такое событие может привести к человеческим жертвам и большим разрушениям, в первую очередь в области о-ва Крит. Кроме того, следует учитывать вероятность реализации крупнейшего цунами, которое может представлять опасность для многих областей Восточного Средиземноморья. Эпицентр такого землетрясения может находиться около области касания мелкого и глубокого колец (рисунок 3в).

Отметим, что во многих случаях наблюдается резкое увеличение скорости СТД в областях мелких кольцевых структур за периоды времени, как правило, не более 10 лет до сильных и сильнейших землетрясений, с которыми связано формирование этих структур [3-9] (это также видно и на рисунке 3б). В связи с этим существует большая вероятность реализации сильнейшего землетрясения в области о-ва Крит в течение ближайших нескольких лет. По нашему мнению, в указанной области необходимо активизировать геофизические и геохимические исследования с целью возможного среднесрочного прогноза сильного землетрясения.

Литература:

1. Копничев, Ю.Ф. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2009. Т. 425. № 4. – С.539-542.
2. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2009. Т. 429. № 1. – С.106-109.
3. Копничев, Ю.Ф. О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. 2010. № 6. С. 34-51.
4. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. ($M_w=9.0$) в районе северо-восточной Японии /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 2. – С. 246-249.
5. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010, $M_w=8.8$) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. 2011. Т.12. №3. – С.22-33.
6. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся перед сильными и сильнейшими землетрясениями на северо-западе и востоке Тихого океана /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2013. Вып.2. – С.131-140.

7. Копничев, Ю.Ф.. Кольцевые структуры сейсмичности в районе северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. ($M_w=8,2$) /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2015. Вып.4. С. 153-159.
8. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования, 2013. Т. 14, № 1. С. 5-15.
9. Копничев, Ю.Ф. Анализ кольцевых структур сейсмичности в литосфере Восточного Тянь-Шаня: возможная подготовка сильных землетрясений/ Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова// Вестник КазНИИСА. 2017. № 1. С. 16-31.
10. Makropoulos, K. The Greek tectonics and seismicity/ K. Makropoulos, P. Burton // Tectonophysics. 1984. V. 106. P. 275-304.
11. Papazachos B. Large seismic faults in the Hellenic arc// Annali di geofisica. 1996. V.39. N 5. P.891-903.
12. Shaw, B. Eastern Mediterranean tectonics and tsunami hazard inferred from the AD 365 earthquake/ B. Shaw, N. Ambraseys, P. England , M. Floyd et al.// Nature. 2008. V.11. P. 268-276.
13. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука. 1992. 229 с.
14. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // Pure Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P. 492-530.
15. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР / Ред. Ю.К. Щукин, В.З. Рябой. М.: Наука. – 1987. – 238 с.