



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

№4 (68) 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; ² РГП ИГИ МЭ РК, Алматы, РК

**ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ
В РАЙОНЕ СЕВЕРНОЙ ГРЕЦИИ:
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

АНДАТПА: Жұмыста солтүстік Греция ауданындағы және Эгей теңізінің кейбір сейсмикалық сипаттамалары қаралады. Сейсмиканың айналмалы құрылымдар бөлуге негізделген әдістеме пайдаланылды. 1995 және 2015 жылдары болған $M_w=6,6$ және $6,5$ екі күшті жер сілкінісінің алдында бірнеше он жыл ішінде тиісінше $3,9$ және $4,0$ тең M_n магнитудаларының шектік мәндері бар терең емес айналмалы құрылымдар қалыптасқан. Осы құрылымдардың өлшемдері тиісті магнитудалары бар жылжу және лақтыру түріндегі механизмдері бар ішкі континенталды жағдайларға арналған өлшемдерден төмен. Сонымен қатар, бұл жерде сейсмиканың терең ($h=34-70$ км) жолақтарында пайда болды. Күшті жер сілкіністерінің эпицентрі сейсмикалықтың ұсақ сақиналарының және терең жолақтарының қиысу немесе көптеген жақындасу салалары жанында болады. Солтүстік Грецияның екі облысында терең емес сақиналы ($M_n=4,2$ және $4,6$) құрылымдар бөлінген, онда 85 жыл ішінде $M \geq 6,5$ жер сілкінісі болған жоқ. Сонымен қатар, осы салаларда сейсмикалықтың терең жолақтары пайда болды. Жылжу және тастау механизмдері бар ішкі континенталь жер сілкіністеріне арналған басты жағдайлардың энергиясынан сейсмикалық сақиналардың бұрын алынған корреляциялық тәуелдіктердің негізінде сақиналы құрылымды облыстарда дайындалуы мүмкін күшті жағдайлардың магнитудасы $M_w \sim 7$ бағаланған. Ерекше қызығушылықты халқы 1 млн. адамнан аса Салоники қаласының маңынан өтетін құрылымды білдіреді. Сақиналы құрылымдарды және сейсмикалықтың терең жолақтарын қалыптастыру геологиялық жүйелердің өздігінен ұйымдасу процестерімен байланысады, оның нәтижесінде терең флюидтардың көшуі жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ: В работе рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности в районе северной Греции и Эгейского моря. Использована методика, основанная на выделении кольцевых структур сейсмичности. Установлено, что перед двумя сильными землетрясениями с $M_w=6,6$ и $6,5$, произошедшими соответственно в 1995 и 2015 гг., в течение нескольких десятков лет сформировались неглубокие кольцевые структуры ($h=0-33$ км) с пороговыми значениями магнитуд M_n , равными соответственно $3,9$ и $4,0$. Размеры этих структур значительно ниже, чем для внутриконтинентальных событий с механизмами типа сдвига и сброса, имеющих соответствующие магнитуды. Кроме того, здесь проявились глубокие ($h=34-70$ км) полосы сейсмичности. Показано, что эпицентры сильных землетрясений находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Выделены неглубокие кольцевые структуры ($M_n=4,2$ и $4,6$) в двух областях северной Греции, где не было землетрясений с $M \geq 6,5$ по крайней мере в течение 85 лет. Кроме того, в этих областях также проявились глубокие полосы сейсмичности. На основании полученных ранее корреляционных зависимостей параметров колец сейсмичности от энергии главных событий для внут-

риконтинентальных землетрясений с механизмами типа сдвига и сброса оценены магнитуды сильных событий, которые могут готовиться в областях кольцевых структур: $M_w \sim 7$. Особый интерес представляет структура, проходящая поблизости от г. Салоники с населением более 1 млн. чел. 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 перед многими сильными землетрясениями в течение нескольких десятилетий формируются кольцевые структуры (кольца) сейсмичности, оконтуривающие области относительного сейсмического затишья [1-15]. В работах [2-15] установлено, что эти структуры образованы эпицентрами событий с магнитудами $M \geq M_p$, где M_p – пороговые значения, которые растут с увеличением энергии главных землетрясений. Для ряда зон субдукции получены корреляционные зависимости $L(M_w)$ и $M_p(M_w)$, где L – длины больших осей колец сейсмичности, M_w – магнитуды соответствующих им сильных событий [3,5,9]. 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 [5, 7-15]. Примеры успешных прогнозов этих параметров для трех сильных и сильнейших землетрясений в разных районах земного шара продемонстрированы в работах [5, 10, 12]. В настоящей работе такие исследования проводятся для района, включающего северную часть Греции и Эгейского моря.

Краткая геолого-геофизическая характеристика района исследований

Тектоника района исследований определяется главным образом поддвигом Африканской плиты под Пелопоннес и Эгейское море в области Эллинской дуги [16] (рисунок 1). Геофизические исследования показывают, что мощность земной коры уменьшается с 50 км на западе Греции до 25-30 км в области Эгейского моря. Сейсмичность районов Греции и Эгейского моря – наиболее высокая в Европе. В рассматриваемом здесь районе, ограниченном координатами 38-41°N, 19-26°E, с 1900 г. произошло 22 землетрясения с $M \geq 6,5$, в том числе 4 – с $M \geq 7,0$ (рисунок 1, таблица 1). Интересно, что события с $M \geq 6,5$ формируют три субширотные полосы, разделенные промежутками относительного затишья. Гипоцентры сильных землетрясений находятся в основном на небольших глубинах (как правило, до 33 км). Механизмы очагов таких событий – в большинстве случаев сдвиги и сбросы.

Использованные данные и методика исследований

Использовались каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS - United States Geological Survey), начиная с 1973 г. Методика анализа сейсмичности с целью выделения кольцевых структур описана в работах [11-15]. Здесь мы только заметим, что анализируются параметры сейсмичности в диапазоне глубин 0-33 км, в котором могут формироваться кольцевые структуры. Отбираются события, магнитуда которых не меньше пороговой (M_p), причем эти величины обычно на 2-3 единицы меньше, чем магнитуды главных землетрясений. (В некоторых континентальных районах рассматриваются также параметры сейсмичности на глубинах 34-70 км [12-14]). Кроме пороговых значений магнитуд, неглубокие кольцевые структуры характеризуются также длинами больших осей (L).

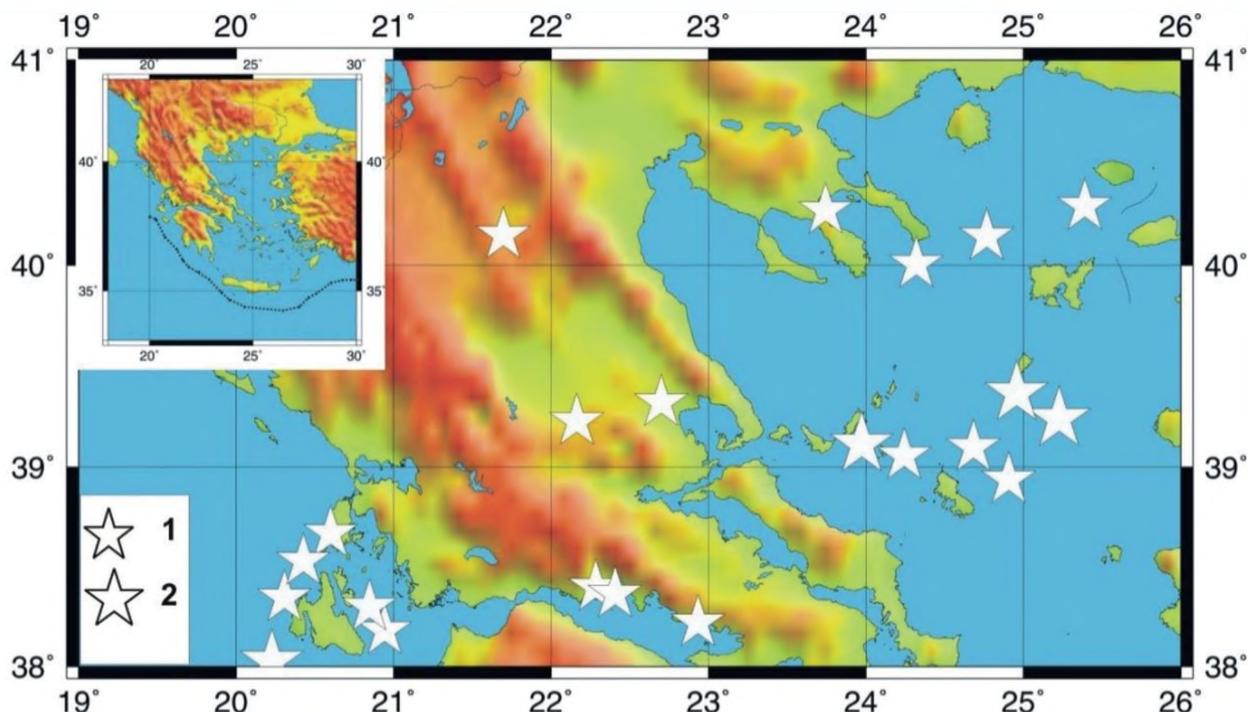


Рисунок 1 – Карта района исследований.
Эпицентры землетрясений: 1– $7,0 > M \geq 6,5$, 2 – $M \geq 7,0$.
На врезке – зона субдукции с Эллинским желобом.

Анализ данных

13.05.1995 г. в северной Греции произошло землетрясение с $M=6,6$, известное под названием Козани (таблица 1). Это событие имело сбросовый тип подвижки в очаге. На рисунке 2а показаны элементы сейсмичности в окрестностях очаговой зоны на глубинах 0-33 км за период 01.01.1973-12.05.1995 гг. Видно, что перед землетрясением Козани сформировалась кольцевая структура сейсмичности ($M_p=3,9$, $L \sim 100$ км), ориентированная в субширотном направлении. Эпицентр землетрясения Козани находился вблизи юго-западной границы кольцевой структуры. Структура образовалась в 1975-1994 гг., самое сильное событие в области кольца сейсмичности (в 1984 г.) имело магнитуду 5,3 (рисунок 2б). На рисунке 2в представлены данные об относительно глубокофокусной сейсмичности в рассматриваемом районе. В данном случае не наблюдается колец сейсмичности, вместе с тем выделяется короткая полоса ($M=4,1-4,3$), которая пересекает мелкое кольцо на западе. Интересно, что эпицентр сильного землетрясения находится на расстоянии около 10 км от области пересечения мелкого кольца и глубокой полосы.

Таблица 1 – Сильные землетрясения в районах северной Греции и Эгейского моря с 1900 г. ($M \geq 6,5$)

Дата	° N	° E	Mw	h, км
08.11.1905	39,11	23,97	7,4	15
26.09.1932	40,27	23,74	6,9	10
22.04.1948	38,53	20,43	6,5	15
11.08.1953	38,30	20,85	6,5	10
12.08.1953	38,18	20,94	6,8	10
30.04.1954	39,23	22,16	6,7	10
08.03.1957	39,32	22,70	6,5	10
31.03.1965	38,37	22,41	6,8	75
04.03.1967	39,10	24,68	6,6	15
19.02.1968	39,37	24,96	7,2	15
17.09.1972	38,35	20,31	6,5	15
24.02.1981	38,22	22,93	6,7	33
19.12.1981	39,24	25,23	7,2	10
27.12.1981	38,94	24,91	6,5	13
18.01.1982	40,00	24,32	6,8	10
17.01.1983	38,03	20,23	7,0	14
06.08.1983	40,14	24,77	6,8	2
13.05.1995	40,15	21,70	6,6	14
15.06.1995	38,40	22,28	6,5	14
26.07.2001	39,06	24,24	6,5	10
24.05.2014	40,29	25,39	6,9	6
17.11.2015	38,67	20,60	6,5	11

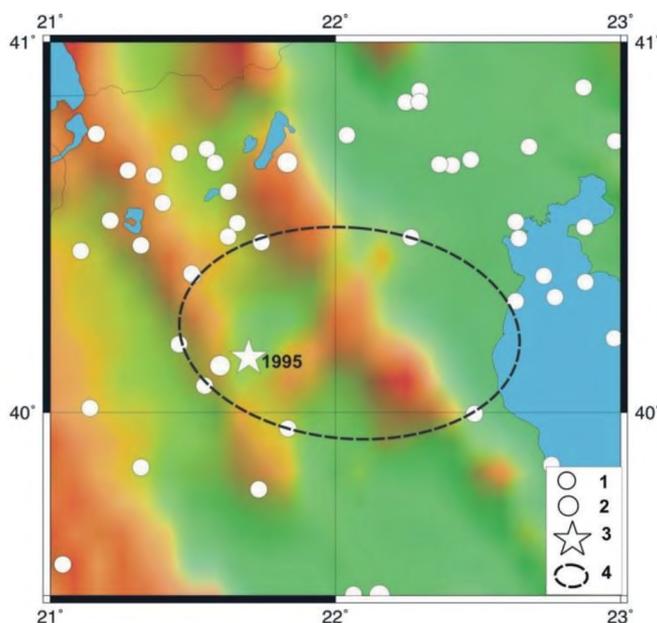


Рисунок 2а – Элементы неглубокой сейсмичности перед землетрясением 13.05.1995 г. Эпицентры землетрясений: 1 – $5,0 > M \geq 3,9$; 2 – $6,0 > M \geq 5,0$; 3 – главного события. 4 – кольцо сейсмичности.

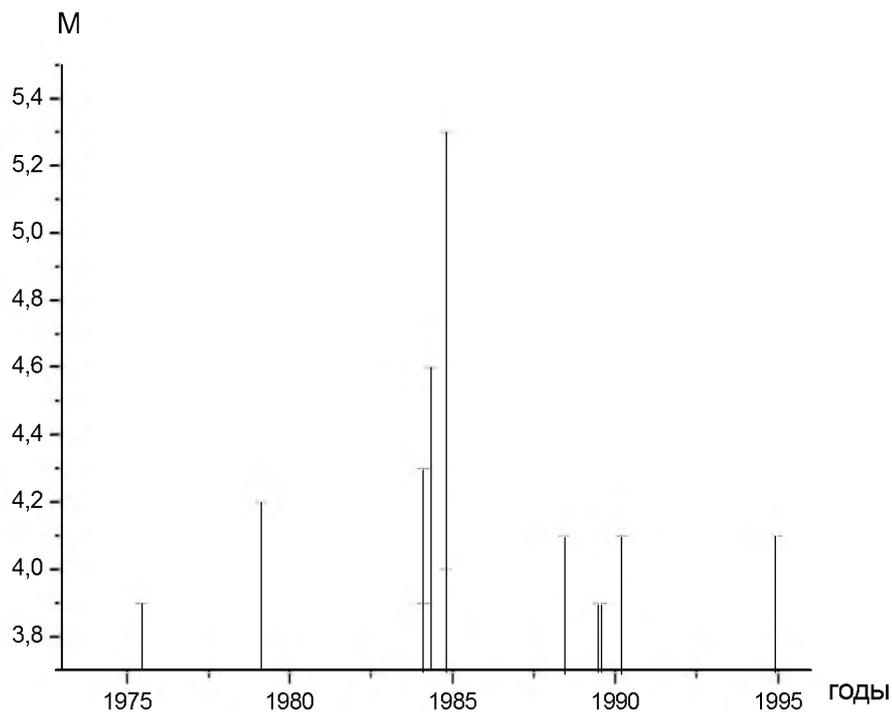


Рисунок 2б – Зависимость $M(T)$ для кольцевой структуры.

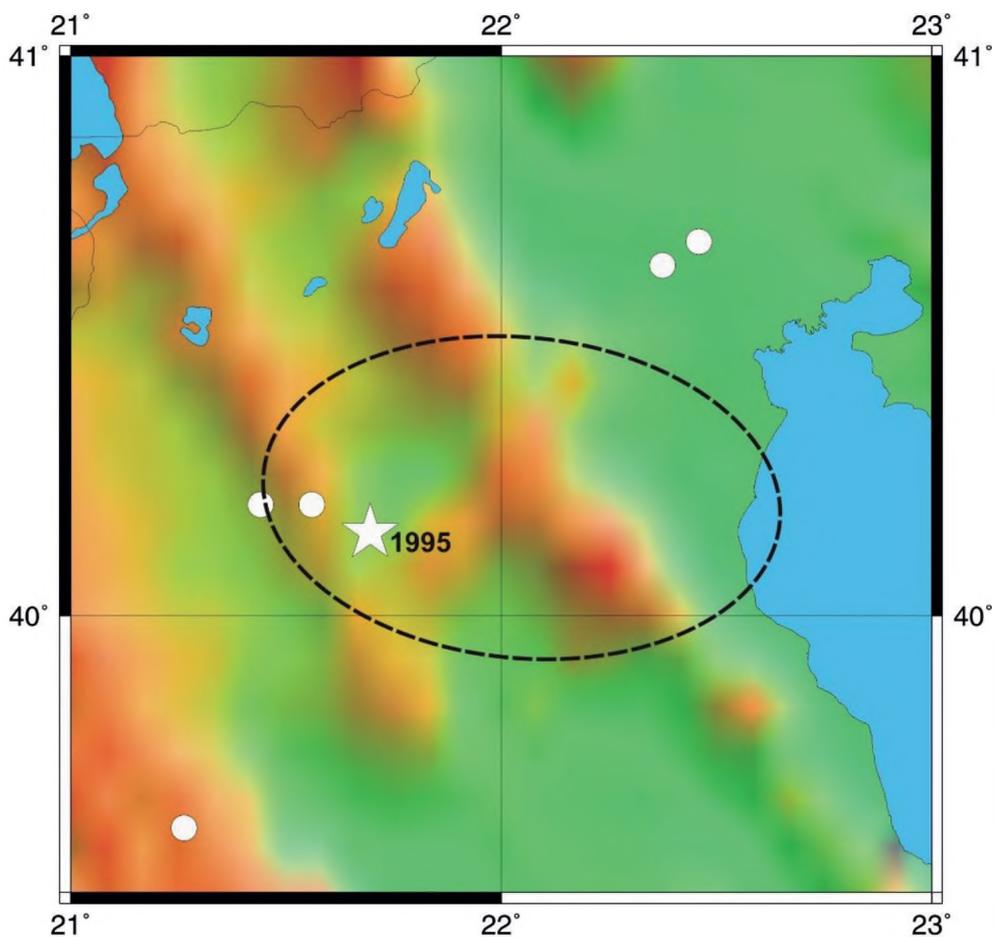


Рисунок 2в – Элементы глубокой сейсмичности перед землетрясением 13.05.1995 г. Эпицентры землетрясений: 1 – $4,5 > M \geq 3,8$. Остальные обозначения – на рисунке 2а.

У побережья о-ва Лefкас 17.11.2015 г. произошло относительно сильное землетрясение с $M_w=6,5$. Механизм этого события представлял практически чистый сдвиг. На рисунке 3а показаны элементы сейсмичности в окрестностях очаговой зоны на глубинах 0-33 км за период 01.01.1973-16.11.2015 гг. Видно, что перед землетрясением 17.11.2015 г. сформировалась кольцевая структура сейсмичности ($M_p=4,0$, $L\sim 80$ км), вытянутая в субширотном направлении. Эпицентр землетрясения Лefкас находится на северо-западной границе кольцевой структуры. Структура образовалась в 1973-2015 гг., самые сильные события в области кольца сейсмичности произошли в 1982 и 1994 гг. ($M=5,1$, см. рисунок 3б). Обращают на себя внимание относительно высокие скорости сеймотектонической деформации (СТД) в 2009-2015 гг. На рисунке 3в представлены данные о глубоководной сейсмичности в рассматриваемом районе. В данном случае не наблюдается кольцевых структур, вместе с тем четко выделяются две полосы эпицентров субширотного и субмеридионального простирания ($M=3,2-5,4$), которые пересекаются в области эпицентра землетрясения Лefкас.

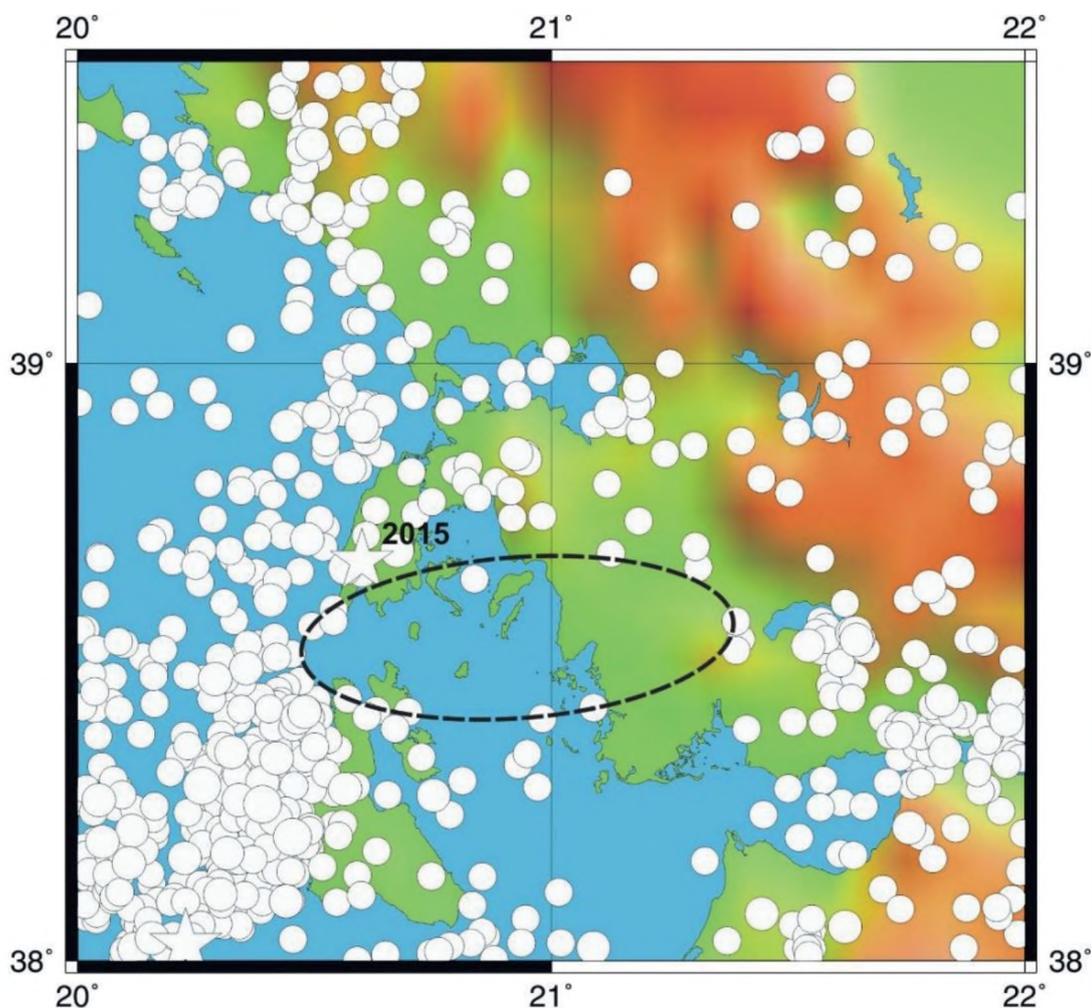


Рисунок 3а – Элементы неглубокой сейсмичности перед землетрясением 17.11.2015 г.
Малый кружок – $5,0 > M \geq 4,0$, самый большой – $6,5 > M \geq 6,0$.
Остальные обозначения – на рисунке 2а.

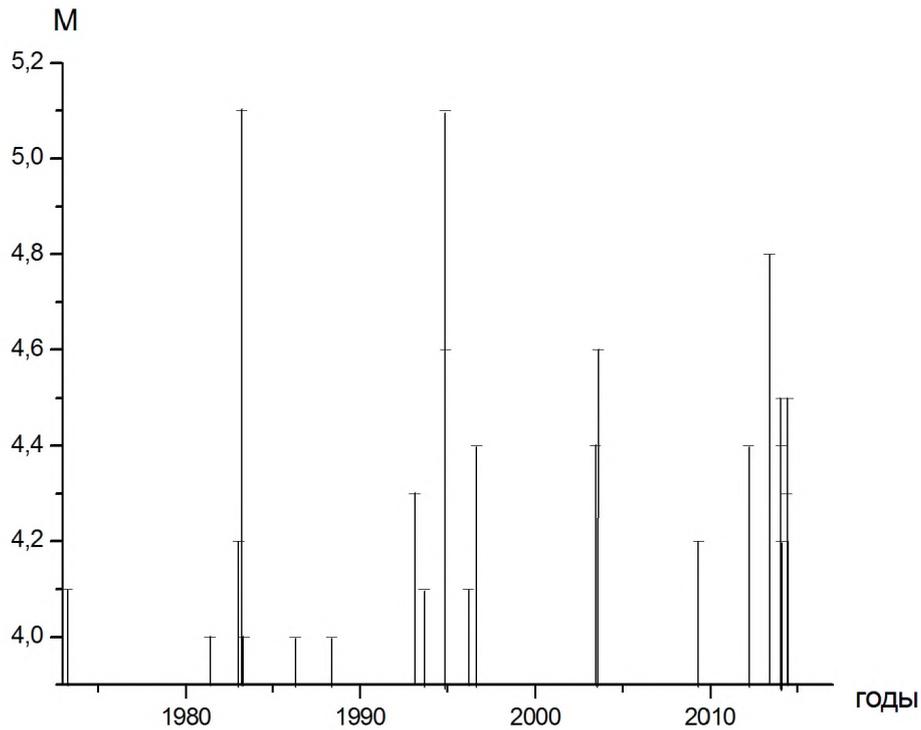


Рисунок 3б – Зависимость $M(T)$ для кольцевой структуры.

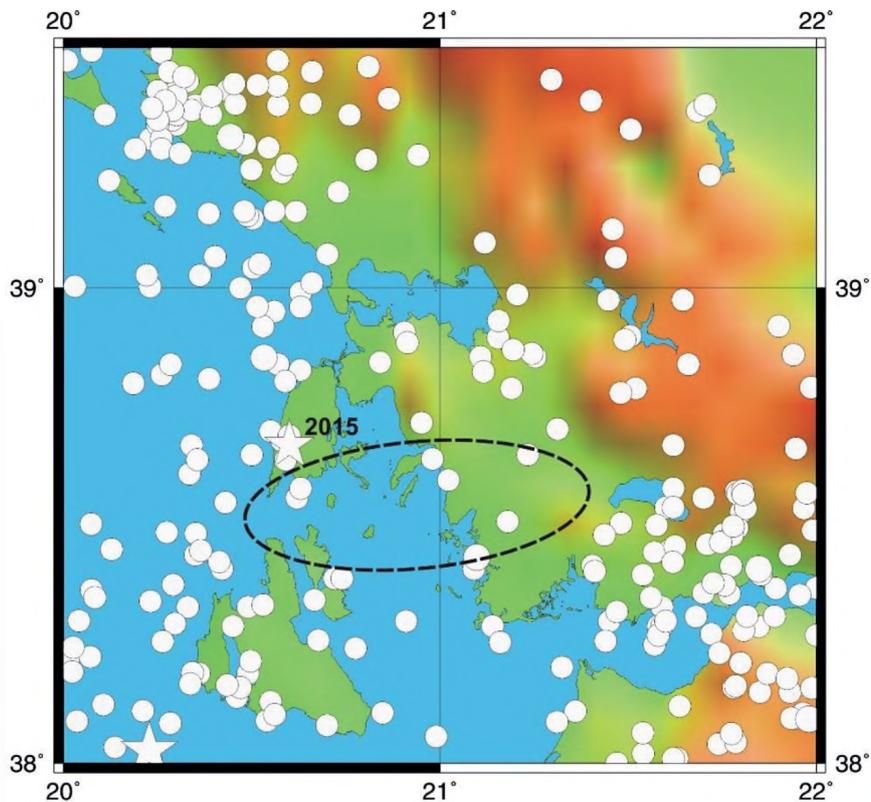


Рисунок 3в – Элементы глубокой сейсмичности перед землетрясением 17.11.2015 г.
Малый кружок – $5,0 > M \geq 3,0$. Остальные обозначения – на рисунке 2а.

В работе [13] рассмотрены характеристики сейсмичности еще перед двумя сильными землетрясениями, произошедшими в северной части Эгейского моря 26.07.2001 и 24.05.2014 гг. (магнитуды соответственно 6,5 и 6,9, см. таблицу 2). Было показано, что перед этими событиями с механизмами типа сдвига также сформировались неглубокие кольцевые структуры и глубокие полосы сейсмичности, причем эпицентры сильных землетрясений находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения этих структур. Следует отметить, что в течение 10-летних интервалов времени перед обоими событиями наблюдалась резкая активизация сейсмичности в областях неглубоких колец сейсмичности.

Таблица 2 – Параметры кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными землетрясениями в районе северной Греции и Эгейского моря

Дата	Mw	L, км	Mп	Механизм
13.05.1995	6,6	100	3,9	сброс
26.07.2001	6,5	80	4,0	сдвиг
24.05.2014	6,9	50	4,0	сдвиг
17.11.2015	6,5	80	4,0	сдвиг

Перейдем теперь к анализу сейсмичности в тех областях, где достаточно давно не было относительно сильных землетрясений. На рисунке 4а нанесены эпицентры неглубоких землетрясений ($h=0-33$ км) в области центральной Греции, ограниченной координатами $38-39^{\circ}$ N, $21-22,5^{\circ}$ E, за период 01.01.1973-01.03.2017 гг. В данном случае отчетливо проявилась кольцевая структура ($M_{п1}=4,2$, $L\sim 65$ км), вытянутая в восток-северо-восточном направлении. Структура, сформировавшаяся в 1975-2016 гг., расположена к востоку от эпицентра землетрясения 17.11.2015 гг. Наблюдается резкий рост скорости СТД в 2007-2016 гг. (рисунок 4б). Элементы глубокофокусной сейсмичности представлены на рисунке 4в. В данном случае выделяется несколько полос сейсмичности, сформированных эпицентрами событий с $M=3,7-4,6$, которые касаются кольцевой структуры.

Еще одна кольцевая структура четко проявилась в области, ограниченной координатами $39-41^{\circ}$ N, $22-24,5^{\circ}$ E (рисунок 5а). Кольцо сейсмичности ($M_{п}=4,6$, $L\sim 130$ км), сформировавшееся в 1974-2014 гг., ориентировано в северо-западном направлении. Важно подчеркнуть, что на северо-западе кольцо сейсмичности проходит рядом с территорией второго по величине города Греции – Салоники, в котором (вместе с пригородами) проживает более 1,1 млн. человек. Наибольшая магнитуда в области структуры соответствует землетрясению 20.06.1978 г., эпицентр которого находился к северо-востоку от г. Салоники ($M_{max}=6,4$, см. рисунок 5а). Следует отметить резкий рост скорости СТД в 2012-2014 гг., когда произошли три события с $M=5,2$ (рисунок 5б). На рисунке 5в показаны элементы глубокофокусной сейсмичности. Видно, что в рассматриваемом районе сформировались три субширотные полосы сейсмичности, пересекающие неглубокую кольцевую структуру. При этом наибольшая выделенная сейсмическая энергия соответствует северной полосе, которая проходит в области г. Салоники ($M=3,1-4,4$).

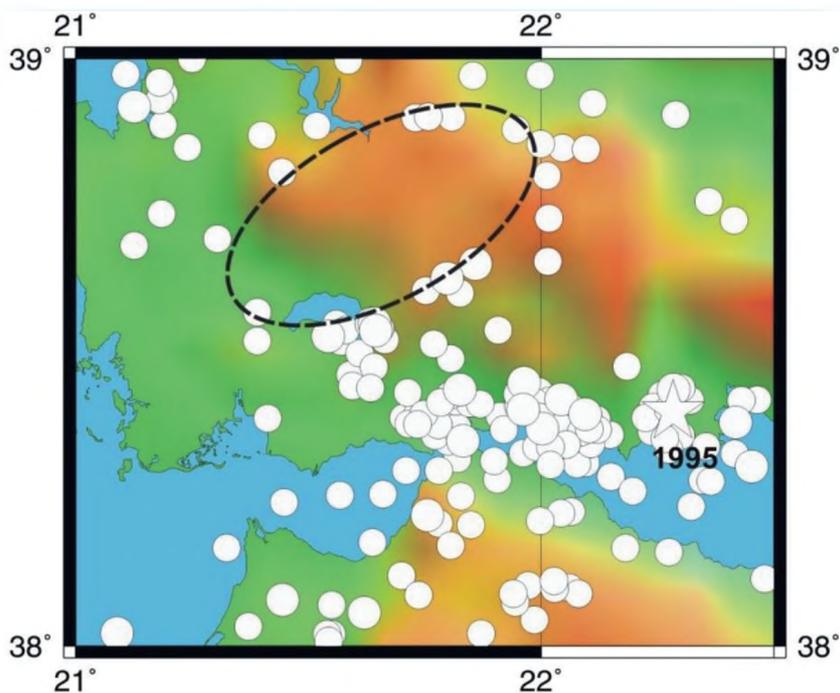


Рисунок 4а – Элементы неглубокой сейсмичности в области сейсмического затишья с 01.01.1973 по 01.03.2017 гг. Малый кружок – $5,0 > M \geq 4,2$. Звездочка – эпицентр землетрясения с $M \geq 6,5$ (и на рисунке 5а). Остальные обозначения – на рисунке 2а.

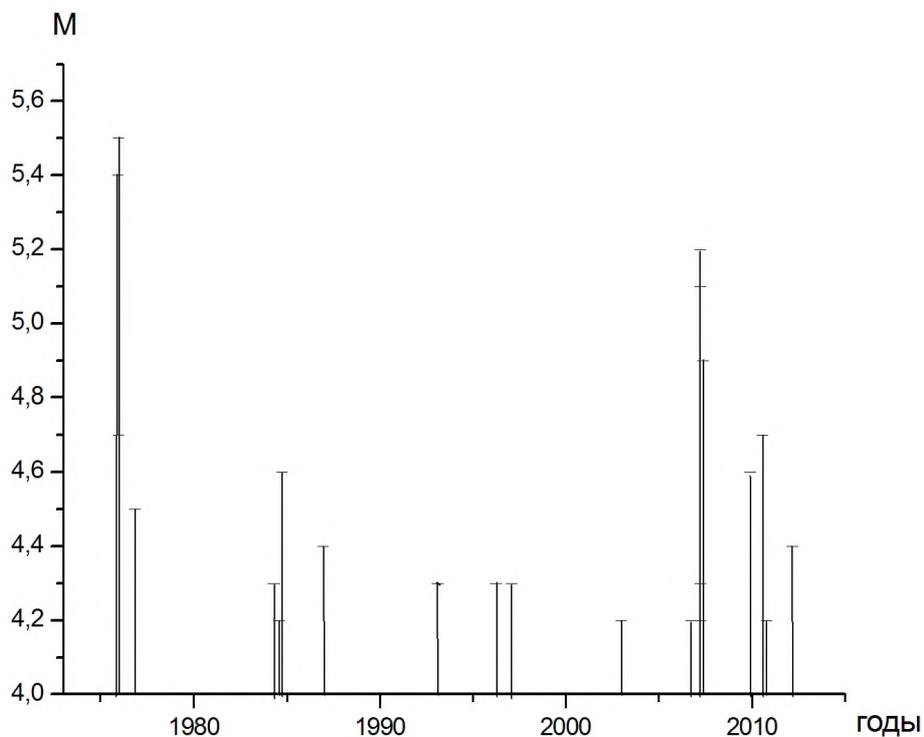


Рисунок 4б – Зависимость $M(T)$ для кольцевой структуры.

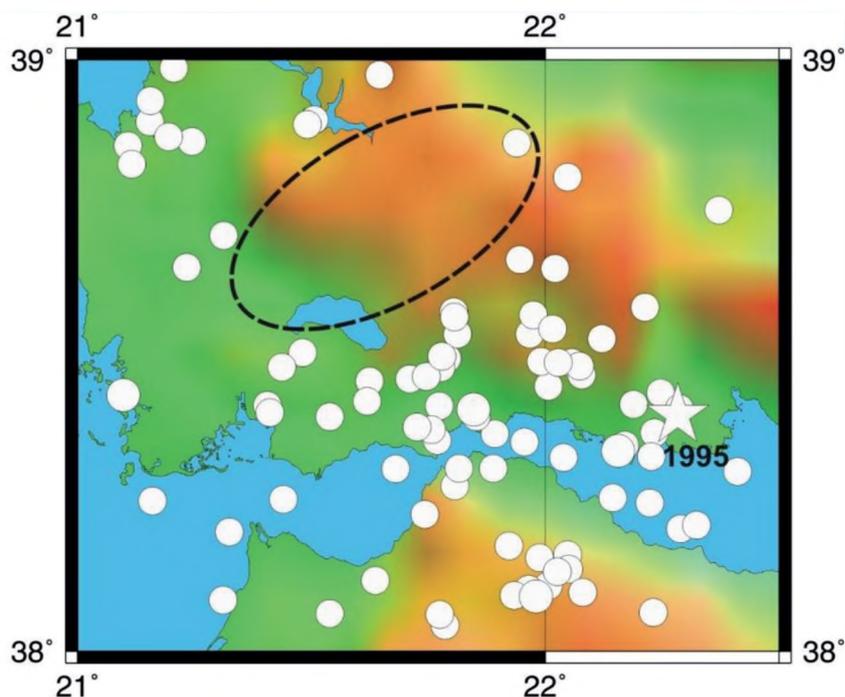


Рисунок 4в – Элементы глубокой сейсмичности с 01.01.1973 по 01.03.2017 гг.
Малый кружок – $5,0 > M \geq 3,0$. Остальные обозначения – на рисунке 2а.

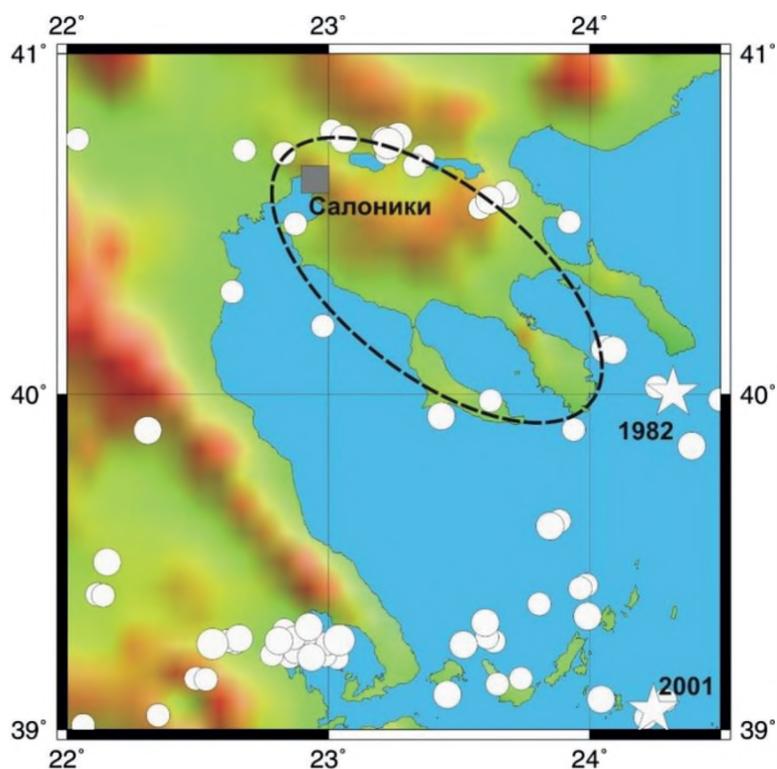


Рисунок 5а – Элементы неглубокой сейсмичности в области сейсмического затишья с 01.01.1973 по 01.03.2017 гг. Малый кружок – $5,0 > M \geq 4,6$, самый большой – $6,5 > M \geq 6,0$.
Остальные обозначения – на рисунке 2а.

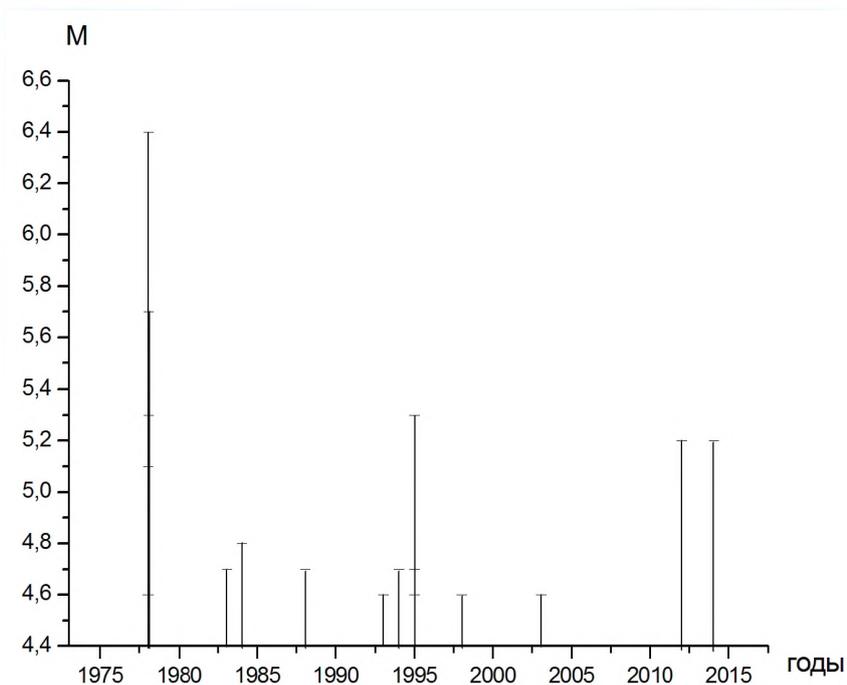


Рисунок 5а – Зависимость $M(T)$ для кольцевой структуры.

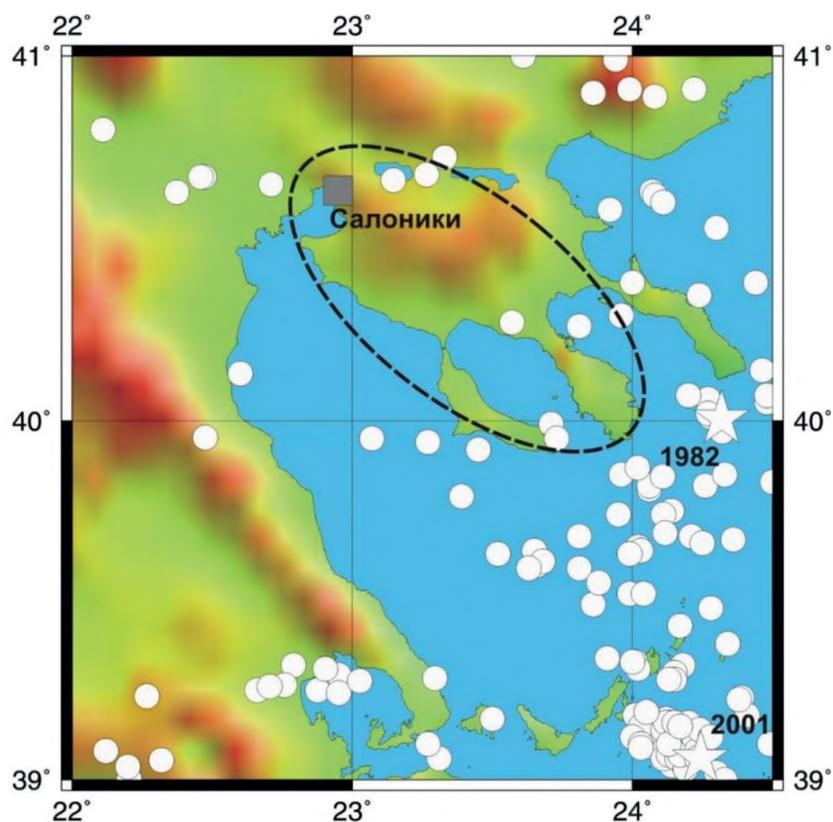


Рисунок 5б – Элементы глубокой сейсмичности в области сейсмического затишья с 01.01.1973 по 01.03.2017 гг. Малый кружок – $5,0 > M \geq 3,0$.
Остальные обозначения – на рисунке 2а.

Оценка магнитуд землетрясений, соответствующих кольцевым структурам в рассматриваемом районе. В работе [8] получены корреляционные зависимости $L(M_w)$ и $M_p(M_w)$ для сильных землетрясений с различными механизмами очагов, произошедших во внутриконтинентальных районах. Для землетрясений с механизмами типа сдвига и сброса получены соответственно следующие зависимости (рисунки 6 и 7):

$$\lg L(\text{ км}) = -1,12 + 0,49M_w, \quad r=0,94, \quad (1)$$

$$M_p = -0,17 + 0,64 M_w, \quad r=0,67, \quad (2)$$

$$\lg L(\text{ км}) = 0,40 + 0,28M_w, \quad r=0,73, \quad (3)$$

$$M_p = -0,19 + 0,64 M_w, \quad r=0,55, \quad (4)$$

где r - коэффициент корреляции.

Мы использовали эти зависимости для оценки магнитуд сильных землетрясений, которые могут готовиться в областях кольцевых структур, представленных на рисунках 4 и 5. Из рисунков 6 и 7 следует, что величины M_p и особенно L для событий на севере Греции и Эгейского моря существенно занижены для данной M_w по сравнению со средними величинами, полученными для внутриконтинентальных районов (для механизмов типа сдвига). Аналогичный эффект наблюдается и для одного события с механизмом типа сброса. Мы предположили, что наклоны графиков $\lg L(M_w)$ и $M_p(M_w)$ для рассматриваемого нами района для сдвигов и сбросов соответствуют зависимостям (1)-(4), а уровни графиков смещены относительно них на величины $C1=\text{const}$ и $C2=\text{const}$.

Используя данные, полученные для двух событий (рисунки 2, 3), а также данные для двух землетрясений из работы [13], мы нашли средние величины $C1$ и $C2$ (соответственно -0.29 ± 0.16 и -0.09 ± 0.11). Следует отметить, что среднее значение параметра $C1$ значительно выше аналогичной величины, полученной для района южной Калифорнии ($C1=-0,66$ [15]). По формулам (1) и (2) для данных значений $C1$ и $C2$ мы оценили средние величины M_w , которые могут соответствовать кольцевым структурам, представленным на рисунках 4 и 5: $M_w=6,8 \pm 0,2$ и $7,4 \pm 0,2$ (для механизмов типа сдвига). Для возможных механизмов типа сброса получаем следующие оценки: $M_w=6,6 \pm 0,5$ и $7,4 \pm 0,2$ соответственно. Конечно, эти величины следует рассматривать лишь в качестве первого приближения.

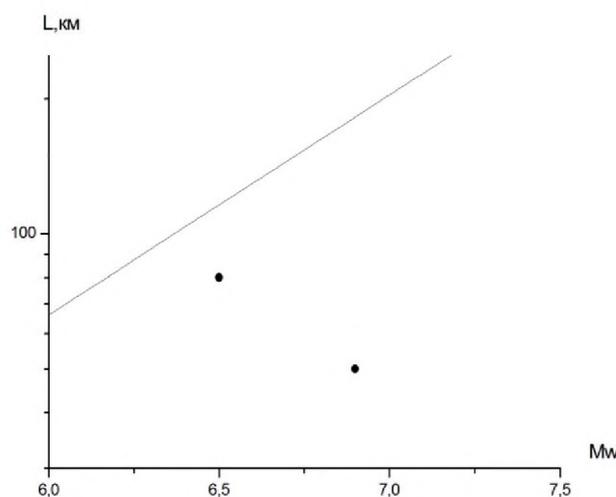


Рисунок 6 – Величины $L(M_w)$ для кольцевых структур, соответствующих землетрясениям с механизмами типа сдвига, в районах северной Греции и северной части Эгейского моря по отношению к корреляционной зависимости (1), полученной для внутриконтинентальных районов. Точка для $M_w=6,5$ – двойная (и на рисунке 7).

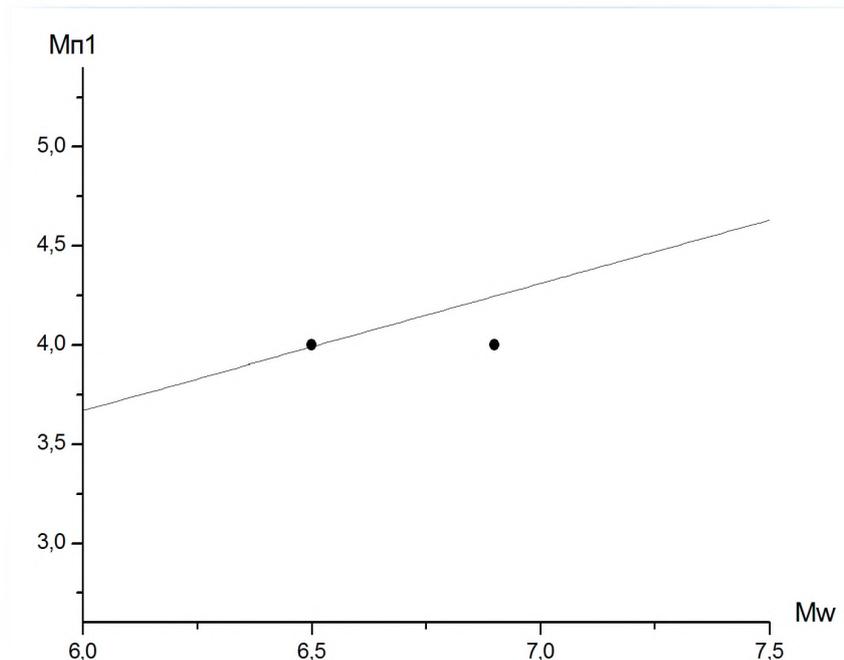


Рисунок 7 – Величины $M_p(M_w)$ для кольцевых структур, соответствующих землетрясениям с механизмами типа сдвига, в районах северной Греции и северной части Эгейского моря по отношению к корреляционной зависимости (2), полученной для внутриконтинентальных районов.

Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе северной Греции и на севере Эгейского моря, так же, как и во многих внутриконтинентальных районах [4, 7, 8, 11, 12], а также в зонах субдукции [2-6, 9, 10] перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. В указанных работах отмечено, что образование кольцевых структур связано с процессами самоорганизации геологических систем [17], 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 [2-6, 9, 10] показано, что эпицентры большинства сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких ($h=34-70$ км) кольцевых структур сейсмичности. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что мелкие кольца оконтуривают жесткие блоки литосферы, а глубокие – относительно маловязкие блоки [4, 6]. 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 [18]. Концентрация напряжений и может приводить к подвижке при сильном землетрясении [2-15].

Вместе с тем в рассматриваемом районе, в отличие от большинства зон субдукции, на глубинах 34-70 км формируются не кольцевые структуры, а линейные полосы эпицентров. В работах [19, 20] показано, что глубокие кольца сейсмичности не образуются также в двух зонах субдукции (Каскадия и южная Мексика), где происходит погружение молодых плит.

Можно предполагать, что в указанных районах формирование линейных полос сейсмичности вместо глубоких колец энергетически более выгодно, вероятно, вследствие меньшей доли флюидов в верхах мантии по сравнению с большинством зон субдукции. В этой связи отметим, что в литосфере океанических плит Хуан-де-Фука и Кокос, погружающихся соответственно в зоне субдукции Каскадия и в южной Мексике, имеет место пониженное содержание гидратированных пород [21, 22]. При дегидратации таких пород в процессе субдукции выделяется свободная вода, которая и служит одним из главных компонентов глубинных флюидов. Таким образом, можно полагать, что в верхах мантии на севере Греции и в северной части Эгейского моря имеет место относительно низкое содержание флюидов по сравнению с большинством зон субдукции.

В работе [9] выдвинута гипотеза о пропорциональности энергии сильных землетрясений в межплитных областях потенциальной энергии флюидов, высвобождаемой при подготовке и реализации таких событий. Принятие этой гипотезы позволяет объяснить, в частности, очень низкие величины L (для данной M_w) для кольцевых структур, формирующихся в зонах субдукции по сравнению с внутриконтинентальными областями [2-15, 19, 20]. Можно полагать, что этот эффект связан с относительно низким содержанием флюидов в литосфере континентов по сравнению с зонами субдукции [23]. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что величины $L(M_w)$ существенно занижены и на севере Греции и Эгейского моря. Это может свидетельствовать о достаточно высоком содержании флюидов в земной коре рассматриваемого района. Отметим, что ранее такой же вывод сделан в работе [15] для района южной Калифорнии.

Из рисунков 2, 3, а также из данных, представленных в работе [13], следует, что эпицентры четырех сильных землетрясений находятся поблизости от областей пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Аналогичные данные получены ранее для зон субдукции, расположенных в районах Каскадии и южной Мексики [19, 20]. Близость эпицентров сильных землетрясений к указанным областям позволяет предполагать, что в них также достигается наибольшая мощность двухфазного слоя, которая приводит к концентрации напряжений.

Особый интерес представляют данные о кольцевых структурах в двух областях, где достаточно давно не было сильных землетрясений. Из приведенных выше оценок следует, что в этих областях, возможно, готовятся землетрясения с $M_w \sim 7,0$. Такие события могут привести к человеческим жертвам и большим разрушениям, в первую очередь в г. Салоники и его близких окрестностях, на территории с достаточно высокой плотностью населения. Судя по имеющимся данным, эпицентр такого землетрясения может находиться около одной из областей, где полосы глубокофокусной сейсмичности ближе всего подходят к кольцевой структуре (рисунок 5в). При этом более вероятным выглядит положение будущего эпицентра на севере, поскольку здесь наблюдаются наибольшие магнитуды для глубокой полосы сейсмичности.

Отметим, что во многих случаях наблюдается резкое увеличение скорости СТД в областях кольцевых структур за периоды времени, как правило, не более 10 лет до сильных и сильнейших землетрясений, с которыми связано формирование этих структур [4-6, 8-17] (это также видно и на рисунке 3б). В связи с этим существует большая вероятность реализации в ближайшие годы сильного землетрясения в одной из областей кольцевых структур, представленных на рис. 4 и 5, поскольку здесь имеет место аналогичный эффект. Учитывая положение областей пересечения кольца и линейных полос сейсмичности, нельзя исключать того, что очаг готовящегося сильного землетрясения может располагаться ближе к г. Салоники, чем очаг события 20.06.1978 г. ($M=6,4$). По нашему мнению, в указанных областях необходимо активизировать геофизические и геохимические исследования с целью возможного среднесрочного прогноза сильного землетрясения.

Литература:

1. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. – 313 с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. (Mw=9.0) в районе северо-восточной Японии /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2011а. Т. 440. № 2.– С. 246-249.
6. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010, Mw=8,8) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. 2011б. Т.12. № 3. – С.22-33.
7. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения S-волн и кольцевые структуры сейсмичности в районе Байкальской рифтовой зоны /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2012. Вып. 4. – С. 33 – 41.
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, 2013а. Т. 14, № 1. С. 5 – 15.
9. 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. 2013б. Вып.2. – С.131-140.
10. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. (Mw=8,2) /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2015. Вып.4. – С. 153-159.
11. Копничев, Ю.Ф. Аномалии высокого поглощения S-волн и кольцевые структуры сейсмичности в литосфере Алтая: возможная подготовка сильных землетрясений /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова// Геофизические процессы и биосфера. 2016. № 1.– С. 68-83.
12. 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.
13. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в районах Эгейского и Мраморного морей: возможная подготовка сильного землетрясения к югу от Стамбула/ Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова// Вестник КазНИИСА. 2016. № 12.– С. 15-28.
14. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения S-волн и кольцевые структуры сейсмичности в Памиро-Гиндукушском регионе: возможная подготовка сильных коровых землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып.3. – С.43-50.
15. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе южной Калифорнии: возможная подготовка сильного землетрясения в окрестностях Лос-Анджелеса /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. 2017. № 1. – С.42-54.
16. Makropoulos, K. The Greek tectonics and seismicity/ К. Makropoulos, P. Burton // Tectonophysics. 1984. V. 106. – P. 275-304.

17. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука. 1992. 229 с.
18. 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.
19. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в зоне субдукции Каскадия: возможная подготовка сильных землетрясений /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // *Вестник НЯЦ РК.* 2016. Вып. 4. – С.36-42.
20. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе южной Мексики: возможная подготовка сильного землетрясения /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова// *Вестник НЯЦ РК.* 2016. Вып. 4. – С.24-29.
21. Abers, G. Thermal–petrological controls on the location of earthquakes within subducting plates / G. Abers, J. Nakajima, P. van Keken, S. Kita, B. Hacker // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2013. V. 369–370. – P. 178–187.
22. Perez-Campos, X. Horizontal subduction and truncation of the Cocos Plate beneath central Mexico /X. Perez-Campos, Y. Kim, A. Husker, P. Davis, R. Clayton, A. Iglesias, J. Pacheco, S. Singh, V. Manea, M. Gurnis // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. L18303. doi:10.1029/2008GL035127.
23. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР / Ред. Ю.К. Щукин, В.З. Рябой. М.: Наука. – 1987. 238 с.