

УДК 550.34

**КОЛЬЦЕВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ВОСТОКЕ ЭГЕЙСКОГО МОРЯ И В ЗАПАДНОЙ ТУРЦИИ:
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ К ЮГУ ОТ СТАМБУЛА**¹⁾ Копничев Ю.Ф., ²⁾ Соколова И.Н.¹⁾ *Институт физики Земли Российской Академии наук, Москва, Россия*²⁾ *Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности на востоке Эгейского моря и в западной Турции. Использована методика, основанная на выделении кольцевых структур сейсмичности. Установлено, что перед пятью сильными землетрясениями с $M_w=6,4-7,6$, произошедшими в 1995–2017 гг., в течение нескольких десятков лет сформировались неглубокие кольцевые структуры ($h=0-33$ км) с пороговыми значениями магнитуд M_n в диапазоне 3,8–4,5. Размеры этих структур в несколько раз меньше, 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 нередко находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Выделена неглубокая кольцевая структура ($M_n=4,3$) в районе Мраморного моря, где не было землетрясений с $M_w \geq 7,0$ по крайней мере с 1900 г. Кроме того, в данном районе также проявились глубокие полосы сейсмичности. На основании полученных ранее корреляционных зависимостей параметров колец сейсмичности от энергии главных событий для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа сдвига оценена магнитуда сильного события, которое может готовиться в области кольцевой структуры: $M_w=7,3 \pm 0,1$. Формирование кольцевых структур и глубоких полос сейсмичности связывается с процессами самоорганизации геологических систем, в результате которых осуществляется миграция глубинных флюидов.

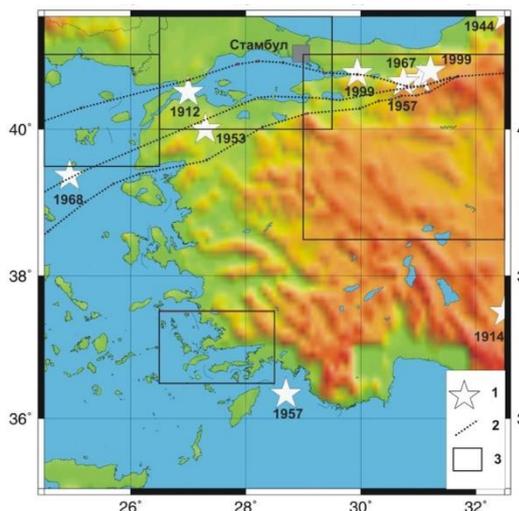
ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие авторами было показано, что перед многими сильными землетрясениями, как правило, в течение нескольких десятилетий формируются кольцевые структуры (кольца) сейсмичности, оконтуривающие области относительного сейсмического затишья [1–14]. В отличие от ранних работ китайских и японских авторов, упомянутых в монографии Г.А. Соболева [15], при выделении таких структур мы отбирали события с магнитудами $M \geq M_n$, где M_n – пороговые значения, которые закономерно растут с увеличением энергии главных землетрясений. Это позволило для ряда зон субдукции получить корреляционные зависимости $L(M_w)$ и $M_n(M_w)$, где L – длины больших осей колец сейсмичности, M_w – магнитуды соответствующих им сильных событий [2, 14]. Аналогичные зависимости получены также для сильных землетрясений с различными механизмами очагов во внутриконтинентальных районах [7]. Использование этих зависимостей обеспечивает возможность прогноза мест и магнитуд готовящихся сильных событий по характеристикам кольцевых структур [4, 6, 8–12, 14]. Вместе с тем выяснилось, что в некоторых континентальных районах зависимости $L(M_w)$ и $M_n(M_w)$ могут существенно отличаться от средних зависимостей, приведенных в [7]. В связи с этим для уточнения прогнозов магнитуд готовящихся сильных землетрясений необходимо учитывать местные особенности (вводить поправки за величины L и M_n [11, 12, 14]). В настоящей статье приведены результаты таких исследований для района, включающего восточную часть Эгейского моря и западную Турцию.

**КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Тектоника рассматриваемого района в значительной степени определяется Северо-Анатолийской разломной зоной, представляющей активный правосторонний сдвиг, который проходит по трансформной границе между Евразийской и Анатолийской плитами (рисунок 1). Разломная зона длиной около 1500 км простирается в субширотном направлении от восточной Турции через север страны до Эгейского моря, при этом ее северная ветвь проходит через Мраморное море всего лишь в 20 км к югу от мегаполиса Стамбул. На севере Эгейского моря разломная зона поворачивает на юго-запад. Анатолийская плита смещается относительно Евразийской на запад со средней скоростью около 25 мм/год [16]. Район характеризуется достаточно высокой сейсмичностью. Начиная с 1900 г. здесь между $24,5^\circ$ и $32,5^\circ$ Е произошло 10 сильных землетрясений с $M_w \geq 7,0$, в том числе 4 – на севере Эгейского и близости от Мраморного моря (таблица 1). Из рисунка 1 следует, что в области Мраморного моря выделяется сейсмическая брешь, в которой более 100 лет не было землетрясений с $M_w \geq 7,0$. Более детальный анализ, проведенный в [17], показывает, что после 1766 г. очаговые зоны сильных землетрясений с $M \geq 7,0$ располагались в областях к западу от $27,6^\circ$ Е и к востоку от $28,8^\circ$ Е (последние события такого рода произошли соответственно в 1912 и 1999 гг.). Исходя из совокупности геофизических данных, ряд авторов считает, что в области Мраморного моря велика вероятность реализации нового сильного сейсмического события в ближайшие несколько десятилетий [17–19].

**КОЛЬЦЕВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ВОСТОКЕ ЭГЕЙСКОГО МОРЯ И В ЗАПАДНОЙ ТУРЦИИ:
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ К ЮГУ ОТ СТАМБУЛА**



1 – эпицентры землетрясений с $M \geq 7,0$ начиная с 1900 г (указаны годы этих событий); 2 – Северо-Анатолийский разлом; 3 – области, в которых выделены кольцевые структуры, представленные на рисунках 2–5

Рисунок 1. Карта района исследований

Таблица 1. Сильные землетрясения на востоке Эгейского моря и в западной Турции

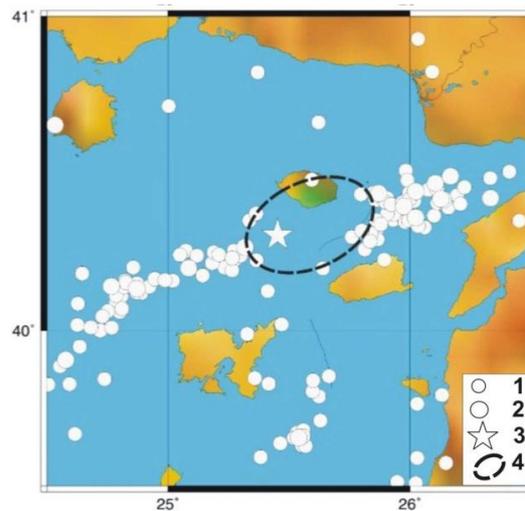
Дата	°N	°E	M_w	h , км
09.08.1912	40,50	27,00	7,6	—
03.10.1914	37,50	32,50	7,1	—
01.02.1944	41,50	32,50	7,2	—
18.03.1953	40,00	27,30	7,2	—
25.04.1957	36,35	28,70	7,1	35
26.05.1957	40,67	31,04	7,2	17
22.07.1967	40,63	30,74	7,4	4
19.02.1968	39,37	24,94	7,2	9
17.08.1999	40,75	29,94	7,6	17
12.11.1999	40,78	31,21	7,2	10

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

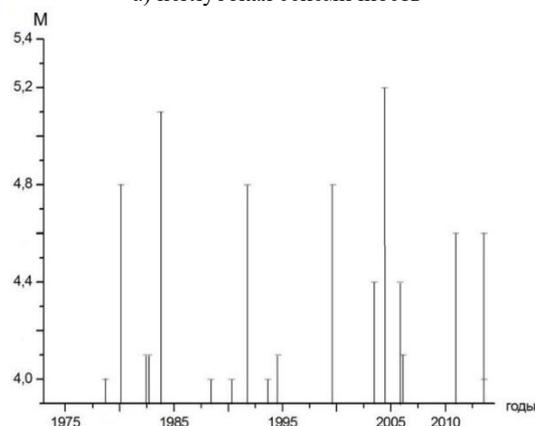
Использовались каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey), начиная с 1964 г. С этого времени точность определения координат эпицентров землетрясений существенно улучшилась в связи с началом работы всемирной сети станций WWSSN (World-Wide Standard Seismographic Network). Методика выделения кольцевых структур подробно описана авторами ранее [11, 12, 14]. Здесь только следует заметить, что рассматриваются события в двух диапазонах глубин (0–33 и 34–70 км); при этом вводится понятие порогового значения магнитуды M_n , с помощью которого отфильтровываются сравнительно слабые события. Кроме того, кольцевые структуры характеризуются длинами больших осей (L). Было показано, что параметры M_n и L закономерно растут с магнитудой главных землетрясений M_w , перед которыми формируются кольцевые структуры [2, 7, 14].

АНАЛИЗ ДАННЫХ

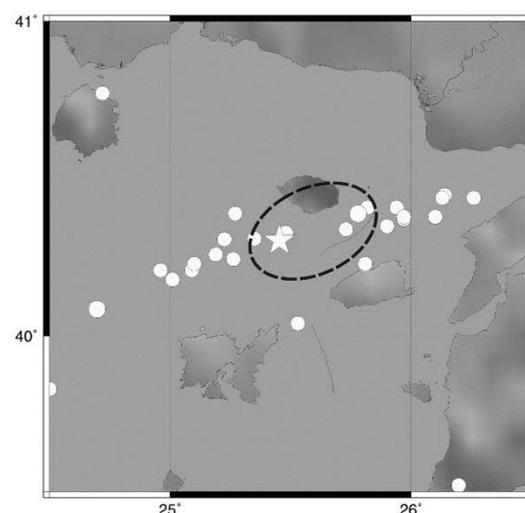
24.05.2014 г. на северо-востоке Эгейского моря произошло довольно сильное Самотракийское землетрясение ($M_w=6,9$), которое имело сдвиговый тип ме-



Эпицентры событий: 1 – $M=4,0-4,9$, 2 – $M=5,0-6,0$, 3 – главного землетрясения; 4 – кольцо сейсмичности
а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость M (Т) для кольцевой структуры



○ – $M=3,2-4,9$. Другие обозначения – на рисунке 2-а
в) глубокая сейсмичность

Рисунок 2. Элементы сейсмичности перед землетрясением 24.05.2014 г.

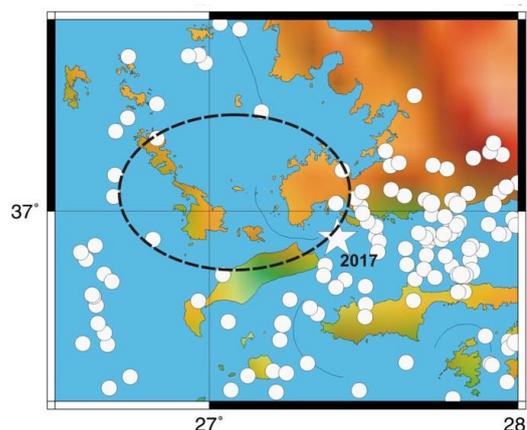
ханизма. Из рисунка 2-а следует, что перед этим событием сформировалась небольшая кольцевая струк-

тура сейсмичности ($Mn=4,0$; $L\sim 50$ км), ориентированная в восток-северо-восточном направлении. На рисунке 2-б видно, что структура образовалась в 1978–2013 гг., при этом наиболее сильное землетрясение в ее области произошло в 2004 г. ($M=5,2$). Зависимость $M(T)$ в данном случае имеет U-образную форму. Заметим, что сумма магнитуд событий в единицу времени может служить грубой оценкой скорости сейсмотектонической деформации (СТД). Из рисунка 2-б следует, что наибольшие скорости СТД имели место в 1978–1983 и 2003–2013 гг.

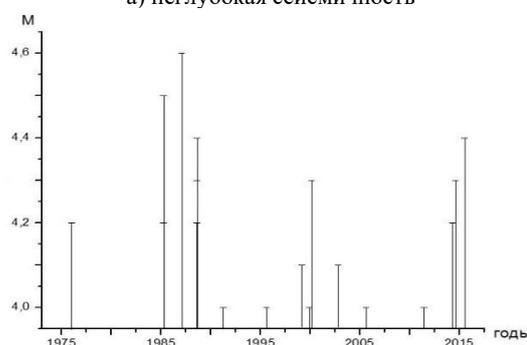
На рисунке 2-в представлены элементы относительно глубокофокусной сейсмичности в указанном районе. Здесь четко выделяется линейная полоса эпицентров ($M=3,2-5,2$), вытянутая в субширотном направлении, которая сформировалась в 1975–2008 гг. Полоса пересекает кольцевую структуру вдоль ее большей оси. Важно отметить, что эпицентр Самотракийского землетрясения находится на расстоянии всего лишь около 10 км от области пересечения кольца и полосы сейсмичности.

20.07.2017 г. на границе между Грецией и Турцией зарегистрировано Бодрум-Косское землетрясение с $Mw=6,6$. Это событие имело сбросовый тип механизма, оно сопровождалось небольшим цунами. Рисунок 3-а иллюстрирует характеристики неглубокой сейсмичности, проявившейся перед данным землетрясением за период 01.01.1973–19.07.2017 гг. ($Mn=4,0$). Видно, что на восточной окраине Эгейского моря сформировалась небольшая кольцевая структура ($L\sim 65$ км), ориентированная в субширотном направлении. Эпицентр главного землетрясения попадает на юго-восточную границу кольца сейсмичности. Структура проявилась в 1976–2015 гг., наибольшая магнитуда ($M=4,6$) соответствует событию 1987 г. (рисунок 3-б). На рисунке 3-в представлены элементы глубокофокусной сейсмичности. Здесь выделяется субширотная полоса эпицентров ($M=3,4-5,1$), практически касающаяся мелкой кольцевой структуры поблизости от эпицентра Бодрум-Косского землетрясения.

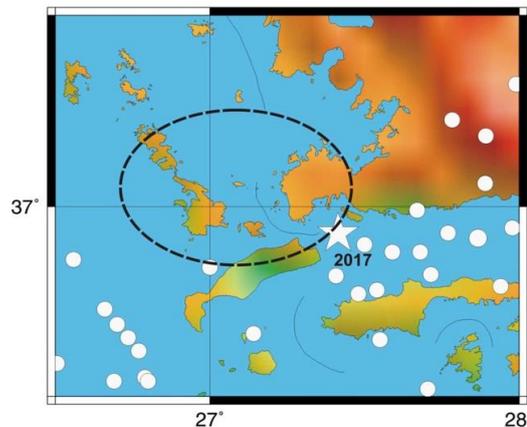
На рисунке 4-а представлены эпицентры неглубоких событий, зарегистрированных в области, ограниченной координатами $38,5-41,0^\circ$ N, $29,0-32,5^\circ$ E, за период 01.01.1964–16.08.1999 гг. Видно, что перед сильнейшим ($Mw=7,6$) Измитским землетрясением 17.08.1999 г. сформировалась крупная кольцевая структура ($Mn=4,5$, $L\sim 280$ км), вытянутая в восток-северо-восточном направлении. Структура образовалась в 1967–1993 гг. (рисунок 4-б), наибольшая магнитуда соответствует сильному землетрясению ($Mw=7,4$), произошедшему в долине Мудурну 22.07.1967 г. Эпицентр главного события находится вблизи северной границы кольца сейсмичности. Поблизости от эпицентра Измитского землетрясения не зарегистрировано относительно глубокофокусных событий ($M\geq 3,0$), так что здесь заведомо не проявилось полос сейсмичности на глубинах 34–70 км.



○ – $M=4,0-4,9$. Другие обозначения – на рисунке 2-а
а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость $M(T)$ для кольцевой структуры



○ – $M=3,4-4,9$. Другие обозначения – на рисунке 3-а
в) глубококая сейсмичность

Рисунок 3. Элементы сейсмичности перед Бодрум-Косским землетрясением

Всего были рассмотрены характеристики сейсмичности в областях, в которых произошли 5 сильных и сильнейших землетрясений (два с механизмами типа сдвига и три – сброса). В таблице 2 приведены параметры кольцевых структур, сформировавшихся перед этими событиями. Отметим, что в четырех случаях эпицентры главных событий располагались вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности.

**КОЛЬЦЕВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ВОСТОКЕ ЭГЕЙСКОГО МОРЯ И В ЗАПАДНОЙ ТУРЦИИ:
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ К ЮГУ ОТ СТАМБУЛА**

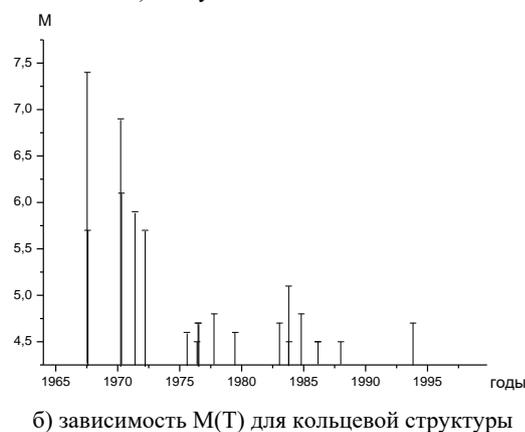
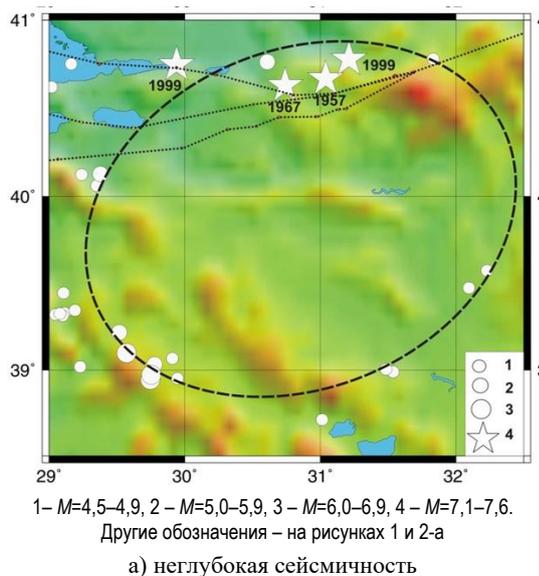


Рисунок 4. Характеристики сейсмичности перед Измитским землетрясением

Таблица 2. Параметры кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными землетрясениями на востоке Эгейского моря и в западной Турции

Дата	M_w	$^{\circ}N$	$^{\circ}E$	L , км	M_n	C_1	C_2	Механизм
01.10.1995	6,4	38,06	30,13	75	3,8	-0,39	-0,11	сброс
17.08.1999	7,6	40,75	29,94	280	4,5	-0,15	-0,19	сдвиг
03.02.2002	6,5	38,57	31,27	70	4,0	-0,37	0,03	сброс
24.05.2014	6,9	40,29	25,39	50	4,0	-0,56	-0,25	сдвиг
20.07.2017	6,6	36,93	27,41	65	4,0	-0,44	-0,03	сброс

Рассмотрим теперь характеристики сейсмичности в одной области западной Турции, где достаточно давно не было сильных событий ($M \geq 7,0$). Рассматриваемая область расположена в Мраморном море, где разными авторами прогнозируется такое землетрясение в ближайшие десятилетия [17, 18, 19]. Ниже описываются некоторые данные, полученные за период 01.01.1973–01.06.2018 гг.

На рисунке 5-а показаны эпицентры неглубоких землетрясений с $M \geq 4,3$, зарегистрированных в указанной области. Из рисунка следует, что здесь сформировалась довольно крупная кольцевая структура, ориентированная в субширотном направлении ($L \sim 120$ км).

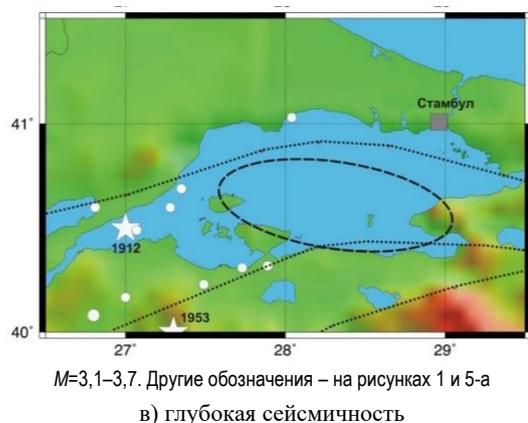
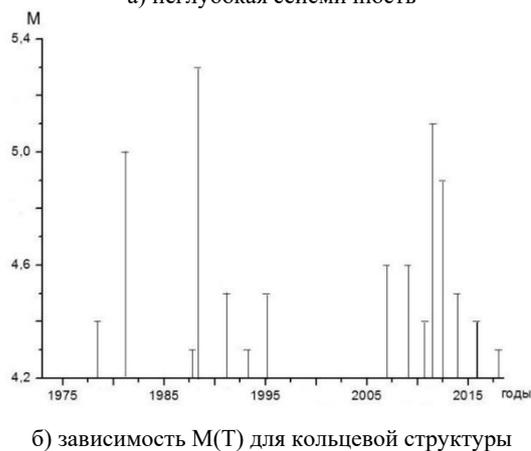
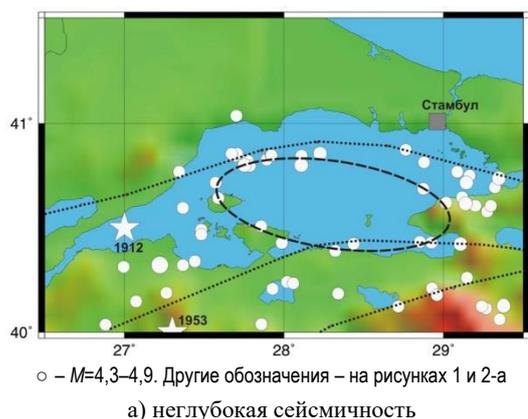


Рисунок 5. Элементы сейсмичности в области Мраморного моря с 01.01.1973 по 01.06.2018 гг.

К югу от нее расположена очаговая зона сильного землетрясения 1953 г. ($M_w=7,2$), а к западу – зона очага землетрясения 1912 г. ($M_w=7,6$). К востоку от структуры лежит очаговая зона сильнейшего землетрясения 1999 г. ($M_w=7,6$, см. рисунок 1). Структура образовалась в 1978–2017 гг. (рисунок 5-б), наибольшая магнитуда в ее области соответствует событию 1988 г. ($M=5,3$). График $M(T)$ имеет ярко выраженную U-образную форму; после эпизода относительного затишья в 1989–2005 гг. наблюдалась резкая активизация сейсмичности в 2006–2017 гг.

На рисунке 5-в представлены элементы сейсмичности на глубинах 34–70 км. Здесь намечаются две

полосы эпицентров, вытянутых в северо-восточном (на севере) и восток-северо-восточном направлениях. Северная полоса ($M=3,5-3,7$), менее четко выраженная из-за большого пробела между эпицентрами на северо-востоке, проходит рядом с северо-западным краем кольцевой структуры, а южная ($M=3,1-3,6$) почти касается ее южной границы.

Оценка магнитуды землетрясения, которое может соответствовать кольцевой структуре в области Мраморного моря. В [7] получены корреляционные зависимости $L(M_w)$ и $M_n(M_w)$ для сильных землетрясений с различными механизмами очагов, произошедших во внутриконтинентальных районах. На рисунках 6 и 7 представлены такие зависимости для механизмов типа сдвига и сброса (сбросо-сдвига), соответственно.

Для землетрясений с механизмами типа сдвига получены следующие зависимости (рисунки 6-а, б):

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

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

где r – коэффициент корреляции.

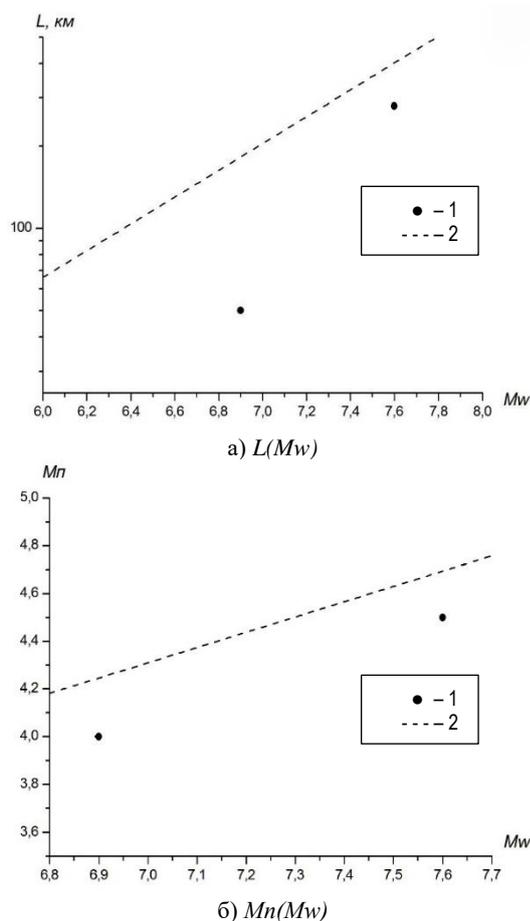


Рисунок 6. Величины $L(M_w)$, $M_n(M_w)$ для кольцевых структур на востоке Эгейского моря и в западной Турции (1), сформировавшихся перед землетрясениями с механизмами типа сдвига, по отношению к корреляционным зависимостям, полученным для внутриконтинентальных районов (2)

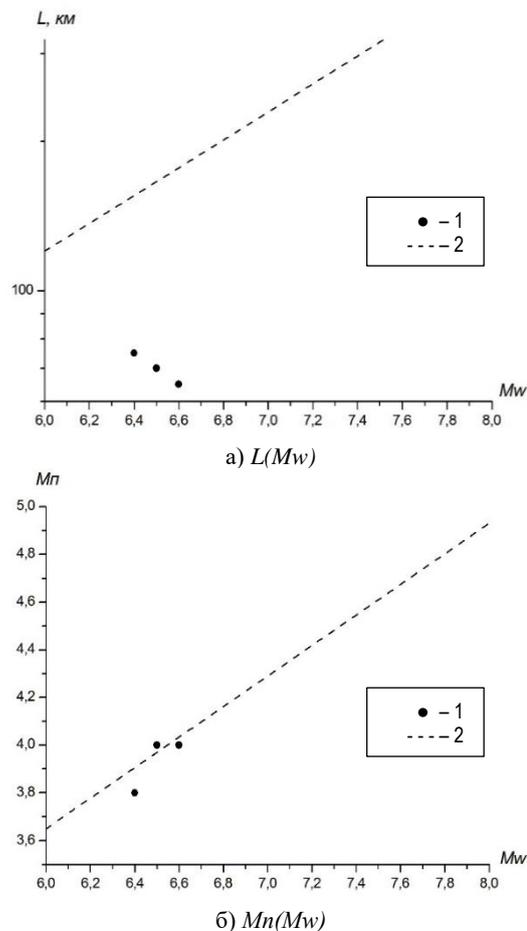


Рисунок 7. Величины $L(M_w)$ и $M_n(M_w)$ для кольцевых структур на востоке Эгейского моря и в западной Турции (1), сформировавшихся перед землетрясениями с механизмами типа сброса, по отношению к корреляционным зависимостям, полученным для внутриконтинентальных районов (2)

Событиям с механизмами типа сброса соответствуют иные зависимости (рисунок 7-а, б):

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

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

Мы использовали эти зависимости для оценки магнитуды сильного землетрясения, которое может готовиться в области Мраморного моря. С этой целью рассмотрены данные о кольцевой сейсмичности, проявившейся перед пятью сильными землетрясениями с $M_w=6,4-7,6$, которые произошли в рассматриваемом районе (таблица 2). Из рисунков 6 и 7 следует, что величины M_n и особенно L для событий на востоке Эгейского моря и в западной Турции существенно занижены для данной M_w по сравнению со средними величинами, полученными для внутриконтинентальных районов. Мы предположили, что наклоны графиков $\lg L(M_w)$ и $M_n(M_w)$ для рассматриваемого района отвечают зависимостям (1, 2) и (3, 4) для механизмов типа сдвига и сброса, соответственно, а уровни графиков смещены относительно них на

величины $C1 = \text{const}$ и $C2 = \text{const}$:

$$\lg L (\text{км}) = -1,12 + C1 + 0,49 M_w, \quad (5)$$

$$M_n = -0,17 + C2 + 0,64 M_w, \quad (6)$$

$$\lg L (\text{км}) = 0,40 + C1 + 0,28 M_w, \quad (7)$$

$$M_n = -0,19 + C2 + 0,64 M_w. \quad (8)$$

С использованием данных, полученных для пяти событий (таблица 2), найдены средние величины $C1$ и $C2$ (соответственно $-0,38 \pm 0,14$ и $-0,11 \pm 0,10$). Отметим, что среднее значение параметра $C1$ значительно выше аналогичной величины, полученной для района южной Калифорнии ($C1 = -0,66$ [11]). По формулам (5) и (6) для данных значений $C1$ и $C2$ оценена средняя величина M_w , которая может соответствовать кольцевой структуре, представленной на рисунке 5-а: $M_w = 7,3 \pm 0,1$ (для механизма типа сдвига, который должно иметь сильное землетрясение в зоне Северо-Анатолийского разлома). Существенно, что не учит только одного параметра $C1$ при использовании выражения (5) может привести к весьма большой погрешности в оценке магнитуды ($\sim 0,8$). Конечно, указанную величину M_w следует рассматривать лишь в качестве первого приближения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что на востоке Эгейского моря и в западной Турции, так же, как и во многих внутриконтинентальных районах [3, 6, 7, 13], а также в зонах субдукции [1, 2, 4, 5, 8, 10, 14] перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. В указанных работах отмечено, что образование кольцевых структур связано с процессами самоорганизации геологических систем [20], 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 рассматриваемом районе, как и в некоторых других континентальных районах, а также в зонах субдукции [10, 13] помимо неглубоких колец формируются также глубокие полосы сейсмичности (на глубинах 34–70 км). В [10, 13] показано, что эпицентры большинства сильных и сильнейших землетрясений в таких районах находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что на границах мелких колец происходит подъем глубинных флюидов [3]. Есть большие основания полагать, что в зонах глубоких полос сейсмичности происходят аналогичные процессы, которые связаны, в первую очередь, с дегидратацией пород нижней коры и верхов мантии на глубинах более 30 км [21–23]. Существенно, что при дегидратации выделяется свободная вода, которая служит одним из главных компонентов флюидов. Кроме того, при этом происходит охрупчивание дегидратированных пород, которое может приводить к генерации относи-

тельно сильных землетрясений. Глубокофокусные события, связанные с дегидратацией, облегчают подъем флюидов. В этом случае в областях пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности достигается наибольшая мощность двухфазного слоя с присутствием заметной доли флюидов. Важно отметить, что при формировании связанной сети флюидов на кровле такого слоя наблюдается концентрация напряжений, причем уровень избыточных напряжений пропорционален мощности слоя [24, 25]. Вероятность образования двухфазного слоя достаточно большой мощности возрастает при наличии глубокой полосы сейсмичности. Концентрация напряжений и может инициировать подвижку при сильном землетрясении [2–5, 7–9, 11, 12, 14].

В [7, 14] выдвинута гипотеза о пропорциональности энергии сильных землетрясений в межплитных областях потенциальной энергии флюидов, высвобождаемой при подготовке и реализации таких событий. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что величины $L(M_w)$ для колец сейсмичности на востоке Эгейского моря и в западной Турции существенно занижены относительно большинства внутриконтинентальных районов. Это может свидетельствовать о сравнительно высоком удельном содержании флюидов в земной коре рассматриваемого района, что компенсирует уменьшение размеров кольцевых структур. Ранее такой же вывод сделан в [11] для района южной Калифорнии. Отметим, что в обоих случаях кольцевые структуры находятся вблизи границ областей с континентальным и океаническим типами земной коры. Таким образом, существует тенденция к увеличению значений $L(M_w)$ при переходе от границ континентов к внутриконтинентальным районам, что должно соответствовать уменьшению содержания флюидов в литосфере. Отметим, что это заключение согласуется с закономерным уменьшением поглощения короткопериодных S-волн от зон субдукции к центральным районам континентов [26].

Особый интерес представляют данные о кольцевой структуре в области Мраморного моря, где достаточно давно не было сильных землетрясений. Из приведенных выше оценок следует, что в области к югу от мегаполиса Стамбул, возможно, готовится землетрясение с $M_w > 7,0$. Такое событие может привести к человеческим жертвам и большим разрушениям на территории с очень 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 5-в). При этом более вероятным представляется положение будущего эпицентра на севере, ближе к зоне высокой скорости накопления деформаций, выделенной по данным GPS, которая находится около северо-восточной границы кольцевой структуры [18]. Исходя из данных, полученных в [17], можно

ожидать, что очаг готовящегося землетрясения с максимальным размером $L_0 \sim 100$ км будет находиться в области между указанными выше долготами ($27,6^\circ$ E и $28,8^\circ$ E), ограничивающими зону относительного сейсмического затишья, выделяемую после 1766 г.

Ранее [27] была получена корреляционная зависимость размеров очагов сильных землетрясений (L_0) с механизмами типа сдвига от магнитуды:

$$\lg L_0 (\text{км}) = 0,62 M - 2,65. \quad (9)$$

По формуле (9) для $L_0=100$ км получаем соответствующую данному размеру максимальную магнитуду готовящегося землетрясения ($M_{\max}=7,5$), что хорошо согласуется с оценкой, полученной по параметрам кольца сейсмичности. Отметим, что во многих случаях наблюдается резкое увеличение скорости СТД в областях кольцевых структур за периоды вре-

мени не более 10–15 лет до сильных и сильнейших землетрясений, с которыми связано формирование этих структур [3, 8, 9, 11, 12], что видно также и на рисунках 2-б и 3-б. В связи с этим существует большая вероятность реализации в ближайшие несколько лет сильного землетрясения в области кольца сейсмичности, где в 2006–2017 гг. произошло 8 событий с $M=4,3-5,1$. Это позволяет значительно уменьшить длительность временного интервала, в котором следует ожидать сильное сейсмическое событие по сравнению с оценками, полученными чисто статистическими методами и основанными на величине среднего периода повторяемости землетрясений с $M \sim >7$ в данном районе [17]. По нашему мнению, здесь 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. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе южной Калифорнии: возможная подготовка сильного землетрясения в окрестностях Лос-Анжелеса / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2017. – Т. 16., № 1. – С. 42–54.
12. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в зоне субдукции Каскадия: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 92–102.
13. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в районе северной Греции: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. – 2017. – № 4(68). – С. 31–46.
14. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся перед сильными и сильнейшими землетрясениями на западе и востоке Тихого океана / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 109–124.
15. Соболев, Г.А. Основы прогноза землетрясений / Г.А. Соболев. – М.: Наука. – 1993. – 313 с.
16. Le Pichon, X. The North Anatolian Fault in the Sea of Marmara / X. Le Pichon, N. Rangin, C. Chamot-Rooke, A. Sengör // J. Geophys. Res. – 2003. – V. 108(B4). - doi:10.1029/2002JB001862.
17. Parsons, T. Recalculated probability of M 7 earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey / T. Parsons // J. Geophys. Res. – 2004. – V. 109. – B05304. doi:10.1029/2003JB002667.
18. Ergintav, S. Istanbul's earthquake hot spots: geodetic constraints on strain accumulation along faults in the Marmara seismic gap / S. Ergintav, R. Reilinger, R. Çakmak, M. Floyd, Z. Cakir, U. Doğan, R. King, S. McClusky, H. Özener // Geophys. Res. Lett. – 2014. – doi: 10.1002/2014GL060985.

19. Sengör, A. The North Anatolian fault: a new look / A. Sengör, O. Tuys, C. Imren, M. Sakıncı, H. Eyidogan, N. Gor, X. Le Pichon, C. Rangin // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* – 2005. – P. 37 – 112. – doi: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120415 2004.
20. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем / Ф.А. Летников. – Новосибирск: Наука. – 1992. – 229 с.
21. Raleigh, C. Experimental deformation of serpentine and its tectonic implications / C. Raleigh, M. Paterson // *J. Geophys. Res.* – 1965. – V. 70. – P. 3965–3985.
22. Yamazaki, T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T. Yamazaki, T. Seno // *J. Geophys. Res.* – 2003. – V. 108. – N B4. – doi: 10/1029/2002JB001918.
23. Jung, H. Intermediate-depth earthquake faulting by dehydration embrittlement with negative volume change / H. Jung, H. Green, L. Dobrzhinetskaya // *Nature*. – 2004. – V. 428 – P. 545–549.
24. Каракин, А.В. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы / А.В. Каракин, Л.И. Лобковский // *ДАН СССР*. – 1982. – Т. 268, № 2. – С. 324–329.
25. 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.
26. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР / Ред. Ю.К. Щукин, В.З. Рябой. – М.: Наука. – 1987. – 238 с.
27. Копничев, Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля / Ю.Ф. Копничев. – М. Наука: 1985. – 176 с.

ЭГЕЙ ТЕҢІЗІНІҢ ШЫҒЫСЫНДА ЖӘНЕ БАТЫС ТҮРКИЯДА САҚИНАЛЫ СЕЙСМИКАЛЫҒЫ: СТАМБУЛДАН ОҢТҮСТІККЕ ҚАРАЙ КҮШТІ ЖЕР СІЛКІНУІ ДАЙЫНДАЛУ МҮМКІНДІГІ

¹⁾ Ю.Ф. Копничев, ²⁾ И.Н. Соколова

¹⁾ *Ресей Ғылым Академиясының Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей*

²⁾ *Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Эгей теңізінің шығысында және Батыс Түркияда сейсмикалықтың кейбір сипаттамалары қарастырылады. Сейсмикалықтың сақиналы құрылымдарын бөлуге негізделген әдістеме қолданылды. 1995–2017 жылдары болған $M_w=6,4-7,6$ бес күшті жер сілкінулердің алдында бірнеше он жыл ішінде 3,8–4,5 диапазонында M_l магнитудының шекті мәні бар таяз сақиналық құрылымдар ($h=0-33$ км) қалыптасты. Осы құрылымдардың мөлшерлері тиісті магнитудалары бар жылжу және түсіру типті механизмдерімен құрлықшілік оқиғаларға қарағанда бірнеше есе аз. Бұл жерде сейсмикалықтың терең ($h=34-70$ км) жолақтары пайда болды. Қатты жер сілкінулерінің эпиорталықтары көбінесе ұсақ сақиналар мен сейсмикалықтың терең жолақтарының қиылысу немесе неғұрлым жақындау аймақтарына жақын орналасатыны көрсетілген. $M_w \geq 7,0$ -мен жер сілкінуі болмаған Мәрмәр теңізі ауданында терең емес сақиналы құрылым ($M_l=4,3$) айқындалған. Бас оқиғалардың энергиясынан сейсмикалықтың сақиналары параметрлерінің бұрын корреляциялық тәуелділіктері негізінде жылжу үлгісіндегі тетіктермен құрлықшілік жер сілкінулері үшін қатты оқиғаның магнитудасы бағаланды, ол асақиналы құрылым аймағында дайындалуы мүмкін: $M_w=7,3 \pm 0,1$. Сақиналы құрылымдар мен сейсмикалықтың терең жолақтарын қалыптастыру геологиялық жүйелердің өзіндік ұйымдастыру процестерімен байланыстырылады, соның нәтижесінде терең флюидтердің жылыстауы жүзеге асырылады.

RING-SHAPED SEISMICITY IN THE REGIONS OF THE EASTERN AEGEAN SEA AND WESTERN TURKEY: POSSIBLE PREPARATION FOR LARGE EARTHQUAKE TO THE SOUTH OF ISTANBUL

¹⁾ Yu.F. Kopnichev, ²⁾ I.N. Sokolova

¹⁾ *Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²⁾ *Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

We have been studying some seismicity characteristics in the regions of the eastern Aegean Sea and Western Turkey. We used a method based on identification of ring-shaped seismicity structures. It was established that shallow ($h=0-33$ km) ring-shaped structures with threshold magnitude values of M_l in the range of 3,8–4,5 have been formed during a few decades prior to five large earthquakes ($M_w=6,4-7,6$) that occurred in 1995–2017. The sizes of these structures were a few times less than for intracontinental earthquakes with mechanisms of strike-slip and normal faulting types that have corresponding magnitudes. Besides that, deep ($h=34-70$ km) seismicity strips were identified there. It was shown that epicenters of large earthquakes are often located near areas of crossing or the closest rapprochement of shallow rings and deep strips. Shallow ring-shaped structure ($M_l=4,3$) was identified in the area of the sea of Marmara, where no events with $M_w \geq 7,0$ occurred at least since 1900. Moreover, deep seismicity strips also were displayed here. We estimated magnitude of the large event, which can prepare in the area of the ring-shaped structure. The estimate is based on earlier obtained correlation dependences of seismicity ring parameters on energy of main earthquakes with mechanisms of strike-slip type: $M_w=7,3 \pm 0,1$. The formation of ring-shaped structures and deep seismicity strips is supposed to be connected with processes of geological systems self-organization, which result in deep-seated fluids migration.