

УДК 550.34

## АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

<sup>1)</sup> Копничев Ю.Ф., <sup>2)</sup> Соколова И.Н.

<sup>1)</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

<sup>2)</sup> *Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности в районе Западного Кавказа, начиная с 1961 г. Установлено, что перед двумя сильными землетрясениями – Спитакским 07.12.1988 г. ( $M_w=6.8$ ) и Рачинским 29.05.1991 г. ( $M_w=7.0$ ) сформировались кольцевые структуры сейсмичности на глубинах 0 - 33 км. Кольца сейсмичности характеризуются пороговыми значениями магнитуд ( $M_p$ ) и длинами больших осей ( $L$ ). Ранее были получены корреляционные зависимости величин  $M_p$  и  $lgL$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбросодвига, преобладающими в районе Западного Кавказа. На основе этих зависимостей сделаны оценки магнитуд сильных событий, которые могли готовиться в областях кольцевых структур:  $M_w=6.5\pm 0.3$  и  $M_w=7.1\pm 0.4$  соответственно для зон Спитакского и Рачинского землетрясений. Эти величины достаточно близки к реальным магнитудам указанных событий. Выделены крупные кольцевые структуры, формирующиеся на западной окраине Большого Кавказа и в области Западной Грузии, где неизвестны сильные землетрясения по инструментальным и историческим данным. По характеристикам этих структур оценены магнитуды возможных сильных землетрясений:  $M_w=7.0\pm 0.5$  и  $M_w=7.0\pm 0.3$  в указанных областях, соответственно. Особую опасность может представлять сильное сейсмическое событие, которое, вероятно, готовится на крайнем западе Большого Кавказа, вследствие большой плотности населения и близости ряда крупных городов – Краснодара, Новороссийска, Сочи и др. Предполагается, что формирование кольцевых структур есть следствие процессов самоорганизации геологических систем, связанных с миграцией глубинных флюидов.

### ВВЕДЕНИЕ

В [1 - 4] показано, что перед многими сильными внутриконтинентальными землетрясениями в литосфере формируются кольцевые структуры сейсмичности. Такие структуры проявляются главным образом в диапазоне глубин 0 - 33 км, но в некоторых случаях (например, на границе Памира и Тянь-Шаня) – также на глубинах 34 - 70 км [5]. Такие структуры обычно имеют форму, близкую к эллипсам, они характеризуются пороговыми значениями магнитуд и длинами больших осей. Установлено, что эти величины коррелируются с магнитудами главных событий  $M_w$ , при этом корреляционные зависимости существенно различаются для разных типов механизмов в очаге [4]. Длительность формирования кольцевых структур  $T_p$ , как правило, не превышает 40 лет, в среднем она равна  $25\pm 5$  годам [3]. Имеющиеся данные показывают, что по параметрам кольцевых структур можно оценивать магнитуды готовящихся сильных землетрясений [2, 5]. Кроме того, текущие величины  $T_p$ , вероятно, могут быть использованы для целей среднесрочного прогноза сейсмических событий. В данной статье проводится изучение характеристик кольцевых структур в районе Западного Кавказа, как сформировавшихся перед двумя сильными землетрясениями конца XX-го века, так и проявившихся в последние годы в областях, где в историческое время не было сильных событий.

### ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Начиная с 1900 г. в исследуемом районе ( $40 - 46^\circ N$ ,  $37 - 45^\circ E$ ) произошло 9 землетрясений с  $M \geq 6.0$  (рисунок 1, таблица 1).

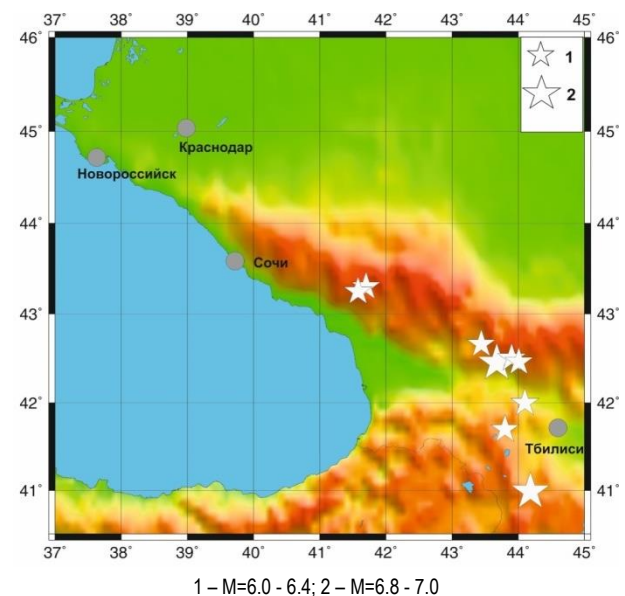


Рисунок 1. Сильные землетрясения в районе Западного Кавказа с начала XX-го века

Наиболее сильным было Рачинское землетрясение 29.04.1991 г. в районе Большого Кавказа ( $M_w=7.0$ ), которое сопровождалось двумя афтершоками с  $M_w > 6.0$ . Кроме того, к западу от очаговой зо-

ны Рачинского землетрясения зарегистрированы три события с  $M=6.0 - 6.4$  (в 1905, 1963 и 2009 гг.). Еще одно сильное землетрясение, сопровождавшееся наибольшими разрушениями и человеческими жертвами, произошло в районе Малого Кавказа (Спитакское, 07.12.1988 г.,  $M_w=6.8$ ). И, наконец, к западу от г. Тбилиси произошли Карглийское землетрясение 1920 г. ( $M=6.2$ ) и Табацкурское 1940 г. ( $M=6.0$ ). Все перечисленные события произошли в горных районах. Согласно палеосейсмическим данным, средний период повторяемости землетрясений с  $M_w \sim 7.0$  составляет на Северном Кавказе порядка 1.5 - 2 тыс. лет [6], а в зоне очага Спитакского землетрясения – от 6 до 10 тыс. лет [7].

*Таблица 1. Сильные землетрясения в районе Западного Кавказа с начала XX-го века*

| Дата |     |      | Координаты |           | M   |
|------|-----|------|------------|-----------|-----|
| год  | мес | день | широта°N   | долгота°E |     |
| 1905 | 10  | 21   | 43.3       | 41.7      | 6.4 |
| 1920 | 2   | 20   | 42         | 44.1      | 6.2 |
| 1940 | 5   | 7    | 41.7       | 43.8      | 6.0 |
| 1963 | 7   | 16   | 43.25      | 41.58     | 6.4 |
| 1988 | 12  | 7    | 40.99      | 44.19     | 6.8 |
| 1991 | 4   | 29   | 42.45      | 43.67     | 7.0 |
| 1991 | 4   | 29   | 42.50      | 43.89     | 6.1 |
| 1991 | 6   | 15   | 42.46      | 44.01     | 6.3 |
| 2009 | 9   | 7    | 42.66      | 43.44     | 6.0 |

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследованиях использовались главным образом каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS - United States Geological Survey), начиная с 1973 г. Кроме того, при изучении сейсмичности в очаговых зонах двух сильных землетрясений (Рачинского и Спитакского) и их окрестностях дополнительно привлекались данные из монографии [8] за 1961 - 1972 гг.

Методика выделения кольцевых структур имеет следующие особенности:

1. Длительность периода, в течение которого исследуются характеристики сейсмичности, составляет около 40 лет, что соответствует максимальным величинам, известным в настоящее время.

2. Рассматриваются параметры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км, в которых формируются кольцевые структуры. Для каждого диапазона отбираются события, магнитуда которых не меньше пороговой (соответственно  $M_{п1}$  и  $M_{п2}$ ), причем эти величины обычно на 2 - 3 единицы меньше, чем магнитуда главного землетрясения.

3. Проводится перебор пороговых величин магнитуд  $M_{п}$  (в обоих диапазонах глубин) с целью определения оптимальных значений, при которых кольцевые структуры выделяются наиболее четко.

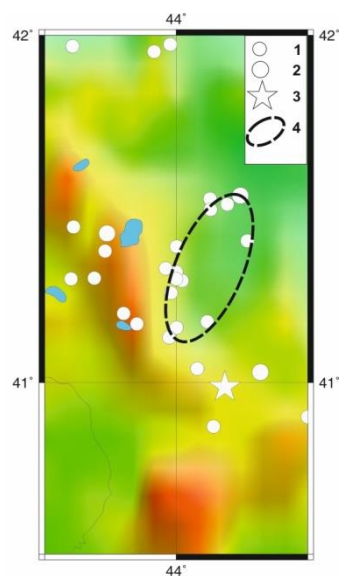
4. Кольцевые структуры аппроксимируются, как правило, эллипсами. Кольца сейсмичности строятся таким образом, чтобы примерно равное количество относительно слабых событий находилось по обе стороны контуров эллипсов. Принимается, что кольцо сейсмичности сформировалось, если максимальная ширина полосы эпицентров, формирующих его (сумма наибольших отклонений эпицентров, расположенных соответственно внутри и вне эллипса, от его контура), не превышает  $\frac{1}{4}$  длины малой оси эллипса (критерий качества кольцевой структуры).

5. Выбираются кольцевые структуры с наибольшими возможными пороговыми значениями  $M_{п1}$  и  $M_{п2}$ . При прочих равных условиях выбирается кольцо сейсмичности с максимальной длиной большой оси эллипса (соответственно L и l для мелкого и глубокого колец).

6. Регулярно (не реже, чем раз в полгода) необходимо контролировать параметры сейсмичности, поскольку известны случаи, когда за последние 1 - 2 года проявлялись новые кольцевые структуры с гораздо большими величинами  $M_{п}$ , как это было, например, перед Великим землетрясением Тохоку 11 марта 2011 г. [9].

### АНАЛИЗ ДАННЫХ

Рассмотрим сначала данные о сейсмичности перед двумя сильными землетрясениями – Спитакским 07.12.1988 и Рачинским 29.04.1991 гг. На рисунке 2 показаны характеристики неглубокой сейсмичности перед катастрофическим Спитакским землетрясением 7 декабря 1988 г., в результате которого, по официальным данным, погибли более 25 тыс. человек. Это событие произошло в районе Малого Кавказа.

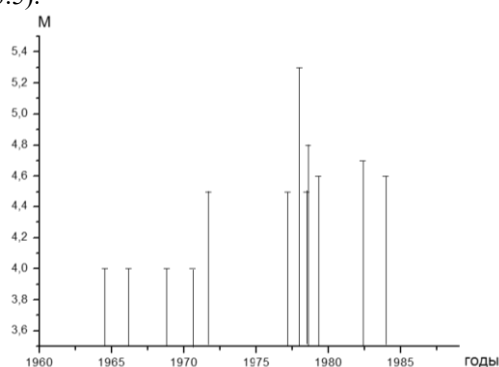


Эпицентры землетрясений: 1 –  $M=4.0 - 4.9$ ; 2 -  $M \geq 5.0$ ;  
3 – эпицентр Спитакского землетрясения; 4 – кольцевая структура

*Рисунок 2. Неглубокая сейсмичность в зоне очага Спитакского землетрясения и ее окрестностях*

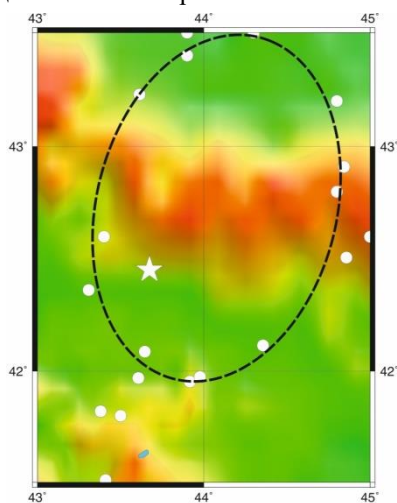
В 1964-1983 гг. в окрестностях будущего очага сформировалась узкая кольцевая структура ( $M_{п1}=4.0$ ,  $L\sim 50$  км), ориентированная в субмеридиональном направлении. Самое сильное событие в области кольца сейсмичности зарегистрировано в 1978 г. ( $M=5.3$ ). Эпицентр Спитакского землетрясения находился к югу от кольца сейсмичности, на расстоянии  $\sim 15$  км от его границы, что в несколько раз меньше длины большой оси.

Наибольшая скорость сейсмоструктурной деформации (СТД) наблюдалась в 1977 - 1983 гг., когда произошло 7 событий с  $M=4.5 - 5.3$  (рисунок 3). Отметим, что в рассматриваемом районе за указанный период времени не зарегистрировано ни одного глубокофокусного землетрясения ( $h=34 - 70$  км,  $M\geq 3.5$ ).



*Рисунок 3. Зона очага Спитакского землетрясения. Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры от времени*

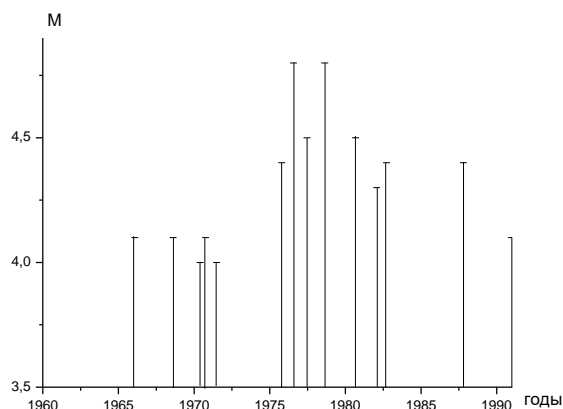
На рисунке 4 представлены данные о сейсмичности в области Северного Кавказа, ограниченной координатами  $41.5 - 43.5^\circ N$ ,  $43.0 - 45.0^\circ E$ , за период с 01.01.1964 по 28.04.1991 гг. Здесь перед Рачинским землетрясением четко проявилась крупная кольцевая структура ( $M_{п1}=4.0$ ,  $L\sim 180$  км), вытянутая в субмеридиональном направлении.



Обозначения – на рисунке 2

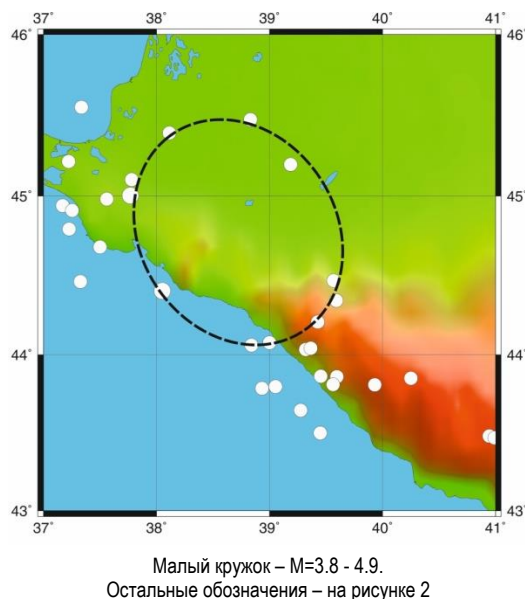
*Рисунок 4. Неглубокая сейсмичность в зоне очага Рачинского землетрясения и ее окрестностях*

Кольцо сейсмичности пересекает весь Большой Кавказ; внутрь него попадает одна из высочайших вершин этой горной системы – г. Казбек. Наибольшие магнитуды соответствуют событиям 1976 и 1978 гг. ( $M=4.8$ ). Эпицентр главного землетрясения находится внутри кольца сейсмичности, на расстоянии около 20 км от его границы. Из рисунка 5 следует, что наибольшая скорость СТД наблюдалась в 1976 - 1987 гг. В данном случае зарегистрировано только одно относительно глубокофокусное событие с  $M\geq 3.5$  ( $h=46$  км), так что заведомо не сформировалось глубокое кольцо в диапазоне  $h=34 - 70$  км.



*Рисунок 5. Зона очага Рачинского землетрясения. Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры от времени*

Рисунок 6 иллюстрирует характеристики сейсмичности на западной окраине Большого Кавказа. В этой области в период с 01.01.1973 по 01.01.2015 гг. образовалась мелкая кольцевая структура, ориентированная в направлении на северо-северо-запад ( $M_{п1}=3.8$ ,  $L\sim 170$  км).



Малый кружок –  $M=3.8 - 4.9$ .  
Остальные обозначения – на рисунке 2

*Рисунок 6. Неглубокая сейсмичность на западной окраине Большого Кавказа*

**АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА:  
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Большая часть кольца сейсмичности проходит по континентальной области (в Краснодарском крае), а южный край приходится на северную границу Черного моря. Северная часть кольца сейсмичности находится в Индоло-Кубанском краевом прогибе, а юго-западная – граничит с Туапсинским прогибом. Кольцевая структура на юго-востоке пересекает западный фланг Большого Кавказа (между 44.0 и 44.5° N, 39.1 и 39.6° E). Текущее время ее формирования Тп – около 37 лет. Самая большая магнитуда в области кольца сейсмичности соответствует событию 1978 г. (M=5.7). Из рисунка 7 видно, что максимальные скорости СТД имели место в 1978 - 1985 и 2002 - 2004 гг. На рисунке 8 показаны эпицентры глубоких землетрясений. В данном случае зарегистрировано только 5 таких событий (M=3.2 - 4.7, h=35 - 52 км), 4 из которых формируют субширотную полосу, пересекающую центральную часть мелкого кольца.

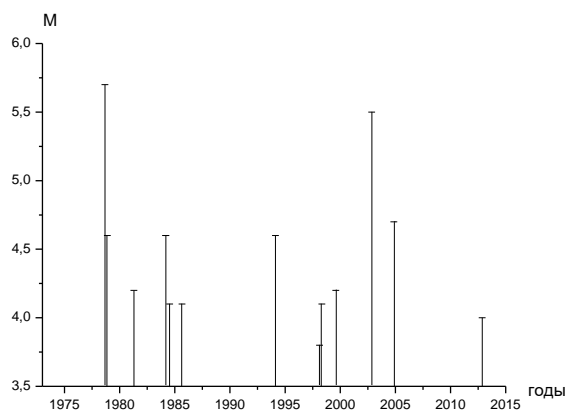


Рисунок 7. Западная окраина Большого Кавказа  
Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры от времени

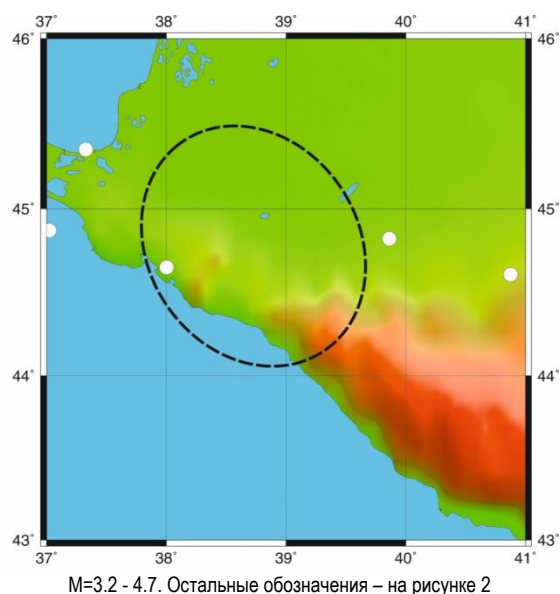
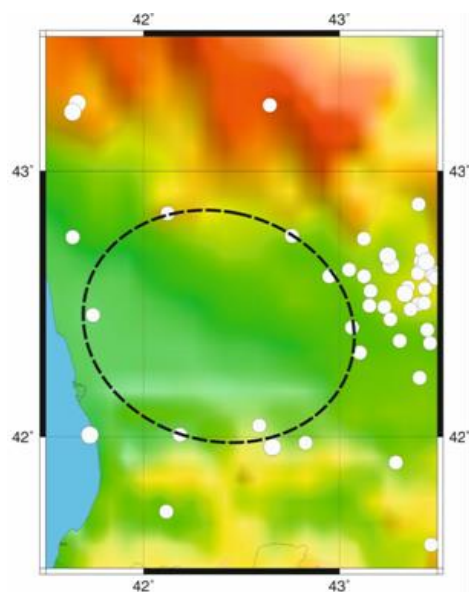


Рисунок 8. Глубокая сейсмичность на западной окраине Большого Кавказа

На рисунке 9 представлены характеристики сейсмичности к западу от очага Рачинского землетрясения. Здесь к 01.01.2015 г. сформировалась кольцевая структура, вытянутая в субширотном направлении. Кольцо сейсмичности расположено между Эгрисским хр. Большого Кавказа и Месхетским хр. Малого Кавказа; внутри него находится большая часть Рионского прогиба. Начало формирования кольцевой структуры относится к 1979 г., текущее время ее образования составляет около 36 лет. Наибольшая магнитуда (Mmax=5.2) соответствует землетрясению 2011 г., максимальные скорости СТД наблюдались в 2006 - 2014 гг. (рисунки 10).



Обозначения – на рисунке 2

Рисунок 9. Неглубокая сейсмичность к западу от очага Рачинского землетрясения

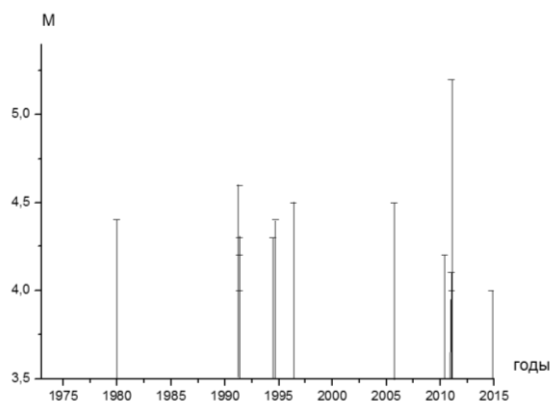
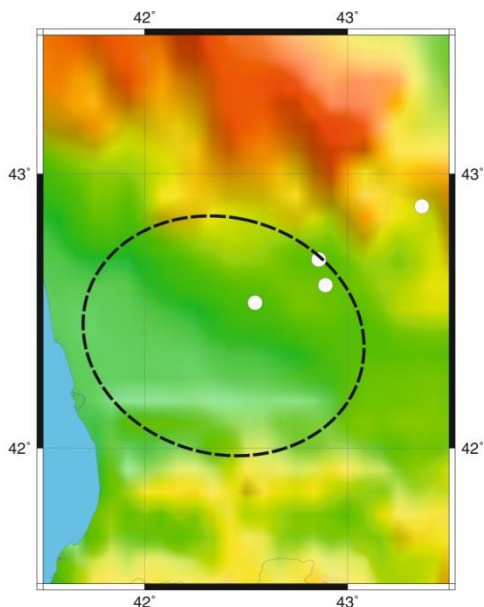


Рисунок 10. Зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры к западу от очага Рачинского землетрясения

Из рисунка 11 следует, что эпицентры глубоких событий в данном случае образуют полосу северо-восточного простирания (M=3.4 - 4.4, h=34 - 38 км), пересекающую мелкое кольцо на северо-востоке.





M=3.4 - 4.4. Остальные обозначения – на рисунке 2

Рисунок 11. Глубокая сейсмичность к западу от очага Рачинского землетрясения

В [4] получены корреляционные зависимости величин  $L$  и  $M_{п1}$  от магнитуды главных событий для внутриконтинентальных землетрясений с различными типами подвижек в очаге. Для механизмов типа взброса и взбрососдвига, которые преобладают у сильных событий в районе Кавказа [7, 10, 11], получены следующие зависимости:

$$\lg L(\text{км}) = -1.11 + 0.45M_w, \quad r=0.85. \quad (1)$$

$$M_{п1} = -0.92 + 0.73M_w, \quad r=0.77, \quad (2)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

По формулам (1) – (2) были оценены магнитуды сильных землетрясений, которые могут соответствовать описанным выше кольцевым структурам (таблица 2).

Таблица 2. Оценки величин  $M_w$  по параметрам кольцевых структур

| Область                      | $L$ , км | $M_{п1}$ | $T_p$ , лет | $M_w(L)$ | $M_w(M_{п1})$ | $M_w$   |
|------------------------------|----------|----------|-------------|----------|---------------|---------|
| 40.5-42.0° N<br>43.5-44.5° E | 50       | 4.0      | 27          | 6.2      | 6.7           | 6.5±0.3 |
| 41.5-43.5° N<br>43.0-45.0° E | 180      | 4.0      | 23          | 7.5      | 6.7           | 7.1±0.4 |
| 43.0-46.0° N<br>37.5-40.0° E | 170      | 3.8      | 37*         | 7.4      | 6.5           | 7.0±0.5 |
| 41.5-43.5° N<br>41.5-43.5° E | 130      | 4.0      | 36*         | 7.2      | 6.7           | 7.0±0.3 |

Примечание \* – для этих областей указаны текущие величины  $T_p$

Из таблицы 2 следует, что по параметрам колец сейсмичности, сформировавшихся перед Спитакским и Рачинским землетрясениями, можно было спрогнозировать подготовку событий с  $M_w=6.5±0.3$  и  $7.1±0.4$ , соответственно. Полученные оценки достаточно близки к реальным магнитудам этих событий.

Двум другим кольцевым структурам соответствуют близкие средние величины  $M_w$  для событий, которые могут готовиться в этих областях. Отметим, что для всех колец сейсмичности, сформировавшихся в районе Большого Кавказа, получены существенно более низкие величины  $M_w(M_{п1})$  по сравнению с  $M_w(L)$ . В то же время для кольца сейсмичности, сформировавшегося перед Спитакским землетрясением, величина  $M_w(M_{п1})$  значительно выше, чем  $M_w(L)$ .

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Западного Кавказа, как и во многих других континентальных районах [1 - 4], перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. Вместе с тем, здесь не проявляются глубокие кольцевые структуры (на глубинах 34 - 70 км), которые образуются перед большинством сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции [9, 12 - 14]. В [1, 13] показано, что кольцевые структуры сейсмичности коррелируются с аномалиями высокого поглощения короткопериодных  $S$ -волн в литосфере, в том числе в районах, где отсутствует современный вулканизм, что говорит о связи таких структур с относительно высоким содержанием глубинных флюидов. Можно полагать, что кольца сейсмичности служат отражением процессов самоорганизации геологических систем [15], в конечном счете ведущих к уменьшению потенциальной энергии Земли в результате подъема легкой жидкой фазы. Отсутствие глубоких колец сейсмичности в большинстве континентальных районов, скорее всего, связано со значительно меньшим содержанием свободных флюидов в литосфере континентов по сравнению с зонами субдукции [16].

Проведенный анализ показывает, что перед двумя печально известными кавказскими землетрясениями, которые оказались совершенно неожиданными для сейсмологов, сформировались неглубокие кольцевые структуры. Существенно, что оценки магнитуд этих событий, полученные по параметрам колец сейсмичности, близки к реальным величинам для Спитакского и Рачинского землетрясений. Кроме того, длительности их формирования хорошо согласуются со средними величинами, полученными для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига ( $T_p \sim 24 \pm 5$  лет [3]). В связи с этим есть основания полагать, что своевременное использование информации о кольцевой активности могло бы быть полезным в целях среднесрочного прогноза этих сильных сейсмических событий.

Важно подчеркнуть, что нами выделены четко выраженные кольцевые структуры в двух областях Западного Кавказа, где в историческое время не зарегистрировано сильных землетрясений с  $M \geq 6.0$  [8]. Текущая длительность их формирования близка к максимальным величинам, известным в настоящее

время (~40 лет [4]). В связи с этим в указанных областях необходимо проводить постоянный мониторинг геодинамических процессов геофизическими и геохимическими методами с целью среднесрочного прогноза возможных сильных землетрясений. Особую опасность будет представлять событие, которое может произойти на западном фланге Большого Кавказа, в связи с высокой плотностью населения и близостью нескольких крупных городов (Краснодара, Новороссийска, Сочи и др.).

Выделенные нами неглубокие кольца сейсмичности имеют относительно большие размеры, поэтому для уточнения положения очагов возможных сильных землетрясений необходимо проводить дополнительные исследования. Вместе с тем, по аналогии с зонами субдукции, где эпицентры сильных и сильнейших землетрясений, как правило, располагаются вблизи точек пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких кольцевых структур сейсмичности [9, 12 - 14], можно предположить, что в районе Западного Кавказа эпицентры таких событий,

вероятно, будут находиться в областях пересечения мелких колец с полосами, сформированными эпицентрами глубоких землетрясений (как отмечено в [9, 12 - 14], данный эффект связан с наибольшей мощностью двухфазного слоя с заметной долей флюидов, вследствие чего на кровле такого слоя наблюдается максимальная концентрация напряжений [17]). Кроме того, по аналогии с положением очагов сильных землетрясений, произошедших в XX веке (рисунок 1), можно предполагать, что эпицентры возможных событий должны быть приурочены к горным областям. Учитывая эти данные, можно сделать вывод, что наиболее вероятное положение двух очагов возможных сильных землетрясений в рассматриваемом районе – это соответственно северный (в Краснодарском крае) и южный склон Большого Кавказа. Для уточнения положения возможных очаговых зон целесообразно привлечение палеосейсмических данных (в том числе получаемых методом тренчинга [6, 7]).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Копничев, Ю.Ф. Характеристики поля поглощения S-волн в очаговых зонах двух сильных землетрясений Южной Азии и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2014. – Вып. 1. – С. 79 – 85.
5. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районах Центрального Тянь-Шаня и Джунгарии: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2014. – № 3. – С. 65 – 73.
6. Рогожин, Е.А. соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе / Е.А. Рогожин [и др.] // Физика Земли, 2005. – № 3. – С. 33 – 46.
7. Рогожин, Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия // Рос. журнал наук о Земле, 2000. – Т. 2. – № 1.
8. Кондорская, Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин (ред.). - М.: Наука, 1977. – 535 с.
9. 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 // ДАН, 2011. – Т. 440, № 2. – С. 246 – 249.
10. Арефьев, С.С. Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты сейсмологических наблюдений / С.С.Арефьев [и др.] // Физика Земли, 1993. – № 3. – С. 53 - 63.
11. Белоусов, Т.П. Рачинское землетрясение 1991 г. и его проявление в рельефе Большого Кавказа / Т.П. Белоусов // М.: Светоч Плюс, 2009. – 208 с.
12. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // ДАН, 2009. – Т. 429, № 1. – С. 106 – 109.
13. 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, 2011. – Т.12, № 3. – С.22 - 33.
14. 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.
15. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем / Ф.А. Летников // Новосибирск: Наука, 1992. – 229 с.
16. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / Gold T., Soter S. // Pure Appl. Geophys, 1984/1985. – V. 122. – P. 492 – 530.
17. 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.

**БАТЫС КАВКАЗДЫҢ АУДАНЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚТЫҢ АЙНАЛМАЛЫ ҚҰЛЫМДАРЫН  
ТАЛДАУ: БОЛАТЫН ҚАТТЫ ЖЕРСІЛІНУЛЕРДІ ДАЙЫНДАУ**

<sup>1)</sup> Ю.Ф. Копничев, <sup>2)</sup> И.Н. Соколова

<sup>1)</sup> *РФА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Москва, Ресей*

<sup>2)</sup> *Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Батыс Кавказдың ауданында, 1961 жылдан бастап сейсмикалықтың кейбір сипаттамалары қарастырылады. Екі қатты жерсілкіністердің алдында – Спитактікінің 1988ж.12.07-сіндегі ( $M_w=6.8$ ) және Рачинскінің 1991ж.05.29-ындағы ( $M_w=7.0$ ) 0-33 км. тереңдікте сейсмикалықтың айналмалы құрылымдары қалыптасқаны белгілі болды. Сейсмикалықтың айналымдары магнитуданың ( $M_p$ ) шекті көрсеткіштерімен және үлкен остің ұзындықтарымен сипатталады. Бұрын Батыс Кавказдың ауданында басымды орын алатын, ығыстыру және ығыстырып жылжыту түріндегі механизмдері бар құрлықаралық жерсілкіністері үшін басты оқиғалардың магнитудаларынан  $M_w$ ,  $M_p$  и  $lgL$  көлемдерінің корреляциялық тәуелділіктері алынған болатын. Осы тәуелділіктердің негізінде айналмалы құрылымдардың аумақтарында дайындалып жатуы мүмкін қатты оқиғалардың магнитудаларының бағалауы жүргізілді:  $M_w=6.5\pm 0.3$  және  $M_w=7.1\pm 0.4$ , осыған сәйкес Спитак және Рачинск аймақтарының желсілкіністеріне. Осы көлемдер көрсетілген оқиғалардың нақты магнитудаларына едәуір жақын. Үлкен Кавказдың батыс төңірегінде және Батыс Грузия аумағында қалыптасып жатқан үлкен айналмалы құрылымдар белгіленді, бұл жерлерде аспаптық және тарихи деректер бойынша қатты жерсілкіністер болмағандығы белгілі. Осы құрылымдардың сипаттамалары бойынша, көрсетілген аумақтарда болатын қатты жерсілкіністердің магнитудалары бағаланды:  $M_w=7.0\pm 0.5$  және  $M_w=6.9\pm 0.2$ . Үлкен Кавказдың батыстағы шеткі төңірегінде дайындалып жатылуы мүмкін қатты сейсмикалық оқиға, ерекше қауіп болуы мүмкін, бұған себеп осы жерде халықтың тығыз орналасуы және осы жерге Краснодар, Новороссийск, Сочи және т.б. ірі қалалардың жақын орналасуы. Айналмалы құрылымдардың қалыптасуы, тереңдегі флюидтардың көшуіне байланысты, геологиялық жүйелердің өзін-өзі ұымдастыру үдерістерінің салдарынан болды деген болжам бар.

**ANALYSIS OF RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES IN THE REGION OF WESTERN CAUCASUS:  
POSSIBLE PREPARATION FOR LARGE EARTHQUAKES**

<sup>1)</sup> Yu.F. Kopnichev, <sup>2)</sup> I.N. Sokolova

<sup>1)</sup> *Institute of the Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2)</sup> *Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

We have been studying some seismicity characteristics in the region of Western Caucasus since 1961. It was established that ring-shaped seismicity structures have been formed within depth range of 0-33 km prior to large earthquakes – Spitak of 07.12.1988 ( $M_w=6.8$ ) and Racha of 29.05.1991 ( $M_w=7.0$ ). Seismicity rings are characterized by threshold magnitude value ( $M_t$ ) and big axis length ( $L$ ). Earlier we have obtained correlation dependences of  $M_t$  and  $lgL$  values on magnitudes of main events  $M_w$  for intracontinental earthquakes with mechanisms of reverse and oblique-reverse faulting, prevailing in the region of Western Caucasus. Using these dependences we estimated magnitudes of large events which could be prepared in the areas of ring structures:  $M_w=6.5\pm 0.3$  and  $M_w=7.1\pm 0.4$  for zones of the Spitak and Racha earthquakes respectively. These values are close enough to real magnitudes of the events mentioned. Big ring structures were identified at western outskirts of Great Caucasus and in a region of West Georgia, where large earthquakes are not known according to instrumental and historical data. We estimated magnitudes of possible large earthquakes by characteristics of these structures:  $M_w=7.0\pm 0.5$  and  $M_w=7.0\pm 0.3$  in the regions mentioned respectively. Large seismic event, which probably is prepared at the westernmost part of the Great Caucasus, can represent a special danger due to great density of population and nearness of a few big cities: Krasnodar, Novorossiysk, Sochi etc. It is supposed that ring structures formation is a consequence of geologic system self-organization, connected with deep-seated fluids migration.