

УДК 550.34

## КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ИРАНА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

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

<sup>1)</sup> *Институт физики Земли Российской Академии наук, Москва, Россия*

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

Рассмотрен ряд характеристик сейсмичности, в том числе связанных с подготовкой сильных землетрясений, в районе Ирана. Установлено, что перед Эзгелехским землетрясением 12.11.2017 г. ( $M_w=7,3$ ) сформировалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0–33 км. На основе ранее установленных корреляционных зависимостей пороговых значений магнитуды ( $M_p$ ) и длины больших осей колец сейсмичности  $lgL$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига, преобладающими на большей части территории Ирана, сделана оценка магнитуды сильного события, которое могло готовиться в области кольцевой структуры:  $M_w=7,1\pm 0,1$  для зоны Эзгелехского землетрясения. Выделены крупные кольцевые структуры, формирующиеся на юго-западе, севере и востоке Ирана, в том числе в областях, где неизвестны сильные землетрясения по инструментальным и историческим данным, по крайней мере, с начала XX-го века. По характеристикам этих структур прогнозируются возможные сильные землетрясения с магнитудами  $M_w$ , равными  $7,2\pm 0,3$ ,  $7,1\pm 0,2$  и  $6,6\pm 0,1$  в указанных областях соответственно. Отмечается, что особую опасность может представлять сильное сейсмическое событие, которое, вероятно, готовится на юго-западе Ирана, вследствие близости его очага к АЭС «Бушер». Обсуждаются причины формирования кольцевых структур сейсмичности.

### ВВЕДЕНИЕ

Перед многими сильными внутриконтинентальными землетрясениями в литосфере формируются кольцевые структуры сейсмичности [1-5]. Такие структуры проявляются главным образом в диапазоне глубин 0–33 км, но в некоторых случаях (например, в районе Памира) – также на глубинах 34–70 км [6]. (Отметим, что в нескольких континентальных районах выделяются также глубокие полосы сейсмичности [4, 5]). Кольцевые структуры обычно имеют форму, близкую к эллипсам, они характеризуются пороговыми значениями магнитуд  $M_p$  и длинами больших осей ( $L$ ). Установлено, что эти величины коррелируются с магнитудами главных событий  $M_w$ , при этом корреляционные зависимости существенно различаются для разных типов механизмов в очаге [2]. Длительность формирования кольцевых структур  $T_p$ , как правило, не превышает 45 лет, в среднем она равна  $25\pm 5$  годам [2]. Имеющиеся данные показывают, что по параметрам кольцевых структур можно оценивать магнитуды готовящихся сильных землетрясений [4–7]. 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 Ирана, как сформировавшейся перед сильным землетрясением в начале XXI-го века, так и проявившихся в последние десятилетия в областях, где по историческим данным не отмечены события с  $M\geq 7,0$ .

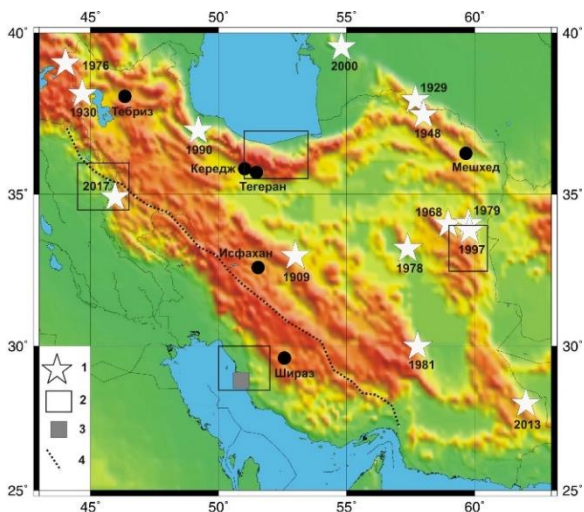
### ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Иран представляет одну из наиболее сейсмически активных внутриконтинентальных областей земного шара. Это связано с его положением в зоне шириной

~1000 км, расположенной между сталкивающимися Евразийской и Аравийской плитами. Начиная с 1900 г. здесь зарегистрировано 11 сильных землетрясений с  $M_w\geq 7,0$  [8, 9] (рисунок 1, таблица 1). Очаги этих событий связаны с активными разломами взбросового или сдвигового типов, расположенными главным образом на северо-западе, юге и востоке Ирана (самый крупный из них, Главный Загросский надвиг, представлен на рисунке 1). На рисунке 1 нанесены также эпицентры трех сильных землетрясений, произошедших в 1929, 1948 и 2000 гг. на территории Туркмении, вблизи от границ Ирана. Глубины гипоцентров сильных событий обычно не превышают 30 км, и лишь для землетрясения 16.04.2013 г. эта величина составила 80 км.

Таблица 1. Сильные землетрясения в районе Ирана

| Дата       | °N    | °E    | h, км | $M_w$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 23.01.1909 | 33,00 | 53,00 |       | 7,0   |
| 01.05.1929 | 37,96 | 57,69 | 25    | 7,1   |
| 06.05.1930 | 38,15 | 44,69 | 25    | 7,1   |
| 05.10.1948 | 37,50 | 58,00 |       | 7,2   |
| 31.08.1968 | 34,04 | 58,96 | 12    | 7,2   |
| 24.11.1976 | 39,08 | 44,03 | 9     | 7,0   |
| 16.09.1978 | 33,24 | 57,38 | 3     | 7,4   |
| 27.11.1979 | 34,06 | 59,76 | 7     | 7,1   |
| 28.07.1981 | 29,99 | 57,77 | 14    | 7,3   |
| 20.06.1990 | 37,01 | 49,21 | 18    | 7,4   |
| 10.05.1997 | 33,83 | 59,80 | 12    | 7,2   |
| 06.12.2000 | 39,57 | 54,80 | 30    | 7,0   |
| 16.04.2013 | 28,03 | 62,00 | 80    | 7,7   |
| 12.11.2017 | 34,91 | 45,96 | 19    | 7,3   |



1 –  $M_w \geq 7,0$  (с годом события). 2 – области, в которых выделены кольцевые структуры; 3 – АЭС «Бушер»; 4 – Главный надвиг Загроса. Указаны города с населением более 1 млн. чел.

Рисунок 1. Эпицентры сильных землетрясений района Ирана, начиная с 1900-го года

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

При анализе данных использовались главным образом каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey), начиная с 1973 г.

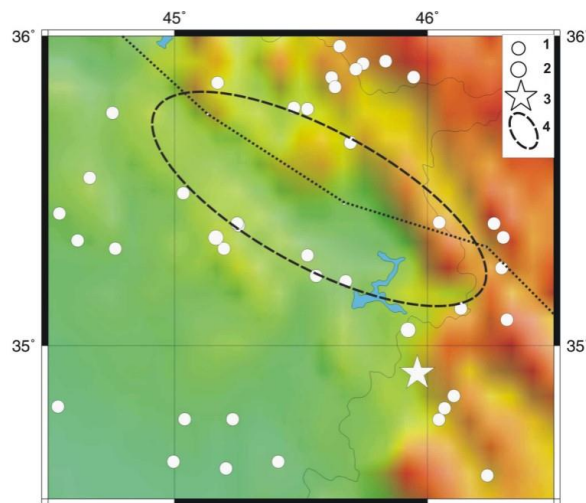
Методика выделения кольцевых структур описана ранее [2, 6, 10]. Здесь мы только заметим, что суть ее заключается в выделении таких структур в диапазоне глубин 0–33 км, которые характеризуются пороговыми значениями магнитуд ( $M_{p1}$ ) и длинами больших осей ( $L$ ). Кроме того, рассматриваются параметры сейсмичности на глубинах 34–70 км (в этом диапазоне выделяются либо кольцевые структуры (с пороговыми значениями магнитуд  $M_{p2}$  и длинами больших осей  $l$ ), либо линейные полосы сейсмичности).

**АНАЛИЗ ДАННЫХ**

**Северо-западная область**

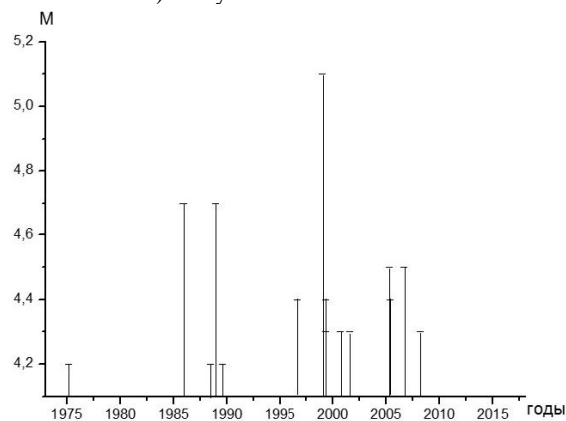
Рассмотрим сначала данные о сейсмичности перед сильным землетрясением 12.11.2017 г. ( $M_w=7,3$ ), которое произошло на ирано–иракской границе и привело к самым большим разрушениям в иранской провинции Керманшах. Наибольшие сотрясения (VIII баллов по шкале Меркалли) имели место в населенном пункте Эзгелех. Землетрясение ощущалось по всему Ближнему Востоку и в некоторых других регионах. В результате этого события, по меньшей мере, 600 человек погибли, более 10000 получили ранения (самое смертоносное землетрясение 2017 г. на всем земном шаре).

На рисунке 2-а представлены данные о сейсмичности в области на границе Ирака и Ирана, ограниченной координатами 34,5–36,0° N, 44,5–46,5° E, за

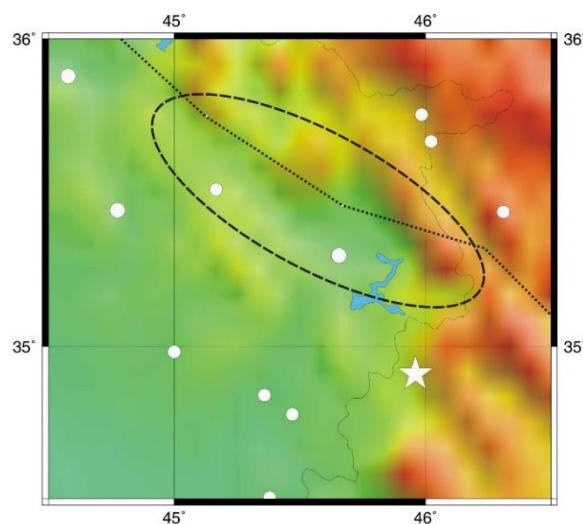


Эпицентры землетрясений: 1 –  $M=4,2-4,9$ , 2 –  $M=5,0-5,9$ ; 3 – эпицентр Эзгелехского землетрясения; 4 – кольцевая структура

а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры



Малый кружок –  $M=4,4-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунке 2-а; в) элементы глубокой сейсмичности

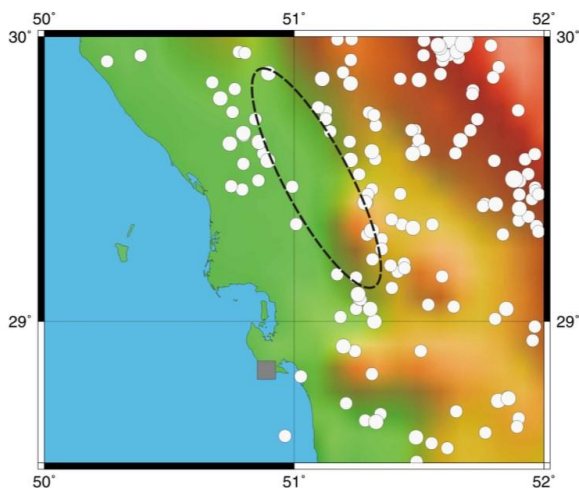
Рисунок 2. Зона очага Эзгелехского землетрясения (12.11.2017 г.,  $M_w=7,3$ ). Кольцевые структуры и зависимость магнитуд событий от времени

период с 01.01.1973 по 11.11.2017 гг. Здесь перед Эзгелехским землетрясением четко проявилась крупная кольцевая структура ( $M_{п1}=4,2$ ,  $L\sim 130$  км), вытянутая в северо-западном направлении, параллельно Главному надвигу Загроса. Структура сформировалась в 1975–2008 гг., величина  $T_{п}$  составляет около 42 лет (рисунок 2-б). При этом наибольшая магнитуда в области структуры соответствует событию 1999 г. ( $M_{max}=5,1$ ). Эпицентр главного землетрясения находится вне кольца сейсмичности, на расстоянии около 25 км от его южной границы, что в несколько раз меньше размеров кольца. В данном случае в 1974–2006 гг. проявилась полоса относительно глубоководных событий ( $h=34-70$  км,  $M=4,4-5,0$ ), простирающаяся в северо-северо-восточном направлении, которая пересекает мелкое кольцо и проходит на расстоянии около 40 км от эпицентра сильного землетрясения (рисунок 2-в).

В остальных трех областях рассматривались элементы сейсмичности за период с 01.01.1973 по 01.04.2018 гг.

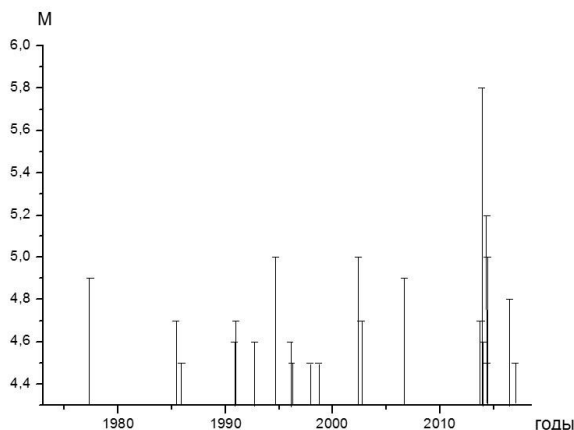
**Юго-западная область**

Рисунок 3-а иллюстрирует характеристики сейсмичности в области юго-западного Ирана, ограниченной координатами  $28,5-30,0^{\circ}$  N,  $50-52^{\circ}$  E, в которой находится важнейший энергетический объект страны – АЭС «Бушер». В этой области в период 1977–2016 гг. образовалась узкая мелкая кольцевая структура, ориентированная в направлении на северо-северо-запад ( $M_{п1}=4,5$ ,  $L\sim 95$  км). Текущее время ее формирования  $T_{п}$  – около 41 года (рисунок 3-б). Самая большая магнитуда в области кольца сейсмичности соответствует событию 2013 г. ( $M_{max}=5,8$ ).

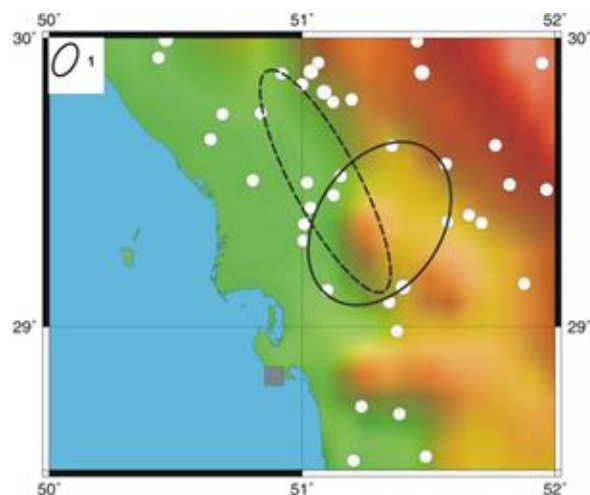


Кружки: малый -  $M=4,5-4,9$ , самый большой -  $M=6,0-6,7$ ; остальные обозначения – на рисунках 1 и 2-а.

а) неглубокая сейсмичность

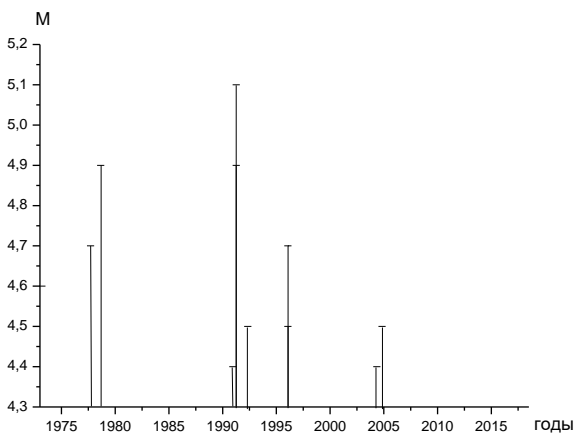


б) зависимость магнитуд событий от времени в области неглубокой кольцевой структуры



Малый кружок -  $M=4,4-4,9$ ; 1 - глубокая кольцевая структура; остальные обозначения – на рисунках 1 и 3-а

в) элементы глубокой сейсмичности



г) зависимость магнитуд событий от времени в области глубокой кольцевой структуры

Рисунок 3. Юго-западная область. Сейсмичность и зависимость магнитуды событий от времени

Отметим, что сумма магнитуд землетрясений в единицу времени может служить грубой мерой скорости сеймотектонической деформации (СТД).

Из рисунка 3-б видно, что наблюдается резкий рост скорости СТД в 2013–2016 гг. На рисунке 3-в показаны эпицентры глубоких землетрясений. В данном случае сформировалась кольцевая структура, вытянутая в северо-восточном направлении ( $M_p2=4,4$ ,  $L\sim 70$  км), которая пересекает южную часть мелкого кольца. Отметим, что западная область пересечения мелкого и глубокого колец сейсмичности находится на расстоянии около 60 км от АЭС «Бушер». Структура проявилась в 1977–2004 гг. (рисунок 3-г), наибольшая магнитуда в области глубокого кольца соответствует землетрясению 1991 г. ( $M_{max}=5,1$ ).

**Северная область**

На рисунке 4-а представлены характеристики неглубокой сейсмичности в области северного Ирана, расположенной к северо-востоку от Тегерана. Здесь в 1973–2018 гг. сформировалась кольцевая структура ( $M_p1=4,3$ ,  $L\sim 95$  км), вытянутая в северо-западном направлении. Минимальное расстояние от контура кольца до столицы Ирана составляет около 70 км. Наибольшая магнитуда в области структуры соответствует землетрясению 1990 г. ( $M_{max}=6,0$ ). Отметим, что на границу кольца сейсмичности попадает также эпицентр сильного землетрясения 02.07.1957 г. ( $M=6,6$ ). Из рисунка 4-б следует, что наблюдается небольшой рост скорости СТД, начиная с 2008 г. На рисунке 4-в показаны элементы глубокофокусной сейсмичности (отобраны все события с  $M\geq 4,0$ ). На карте выделяется полоса эпицентров северо-западного простирания ( $M=4,5-5,1$ ,  $h=36-48$  км), пересекающая неглубокое кольцо на севере и востоке.

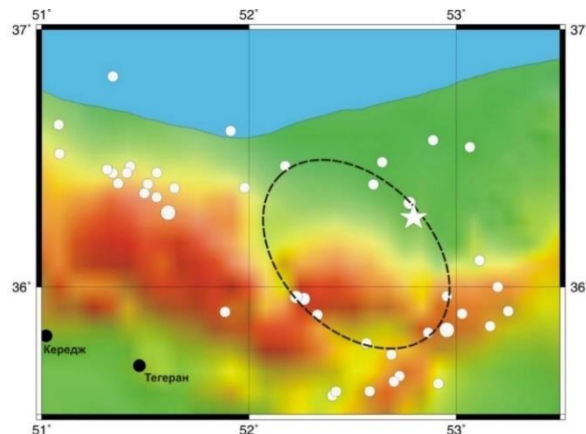
**Восточная область**

Рисунок 5-а иллюстрирует элементы неглубокой сейсмичности в области восточного Ирана, ограниченной координатами  $32,5-34,0^\circ N$ ,  $59,0-60,5^\circ E$ . Здесь выделяется четко выраженная кольцевая структура ( $M_p1=4,1$ ,  $L\sim 110$  км), ориентированная в северо-западном направлении и расположенная к югу от очагов сильных землетрясений 1979 ( $M_w=7,1$ ) и 1997 гг. ( $M_w=7,2$ ). Начало формирования кольцевой структуры относится к 1983 г., текущее время ее образования составляет около 35 лет. Наибольшая магнитуда ( $M_{max}=5,8$ ) соответствует землетрясению 2012 г., максимальные скорости СТД наблюдались в 2008–2017 гг. (рисунок 5-б). В рассматриваемой области поблизости от мелкого кольца начиная с 1973 г. не зарегистрировано глубоких событий с  $M\geq 3,5$ , так что заведомо не сформировалось ни полос эпицентров, ни тем более кольцевых структур.

**Оценка магнитуд возможных сильных землетрясений по характеристикам кольцевых структур**

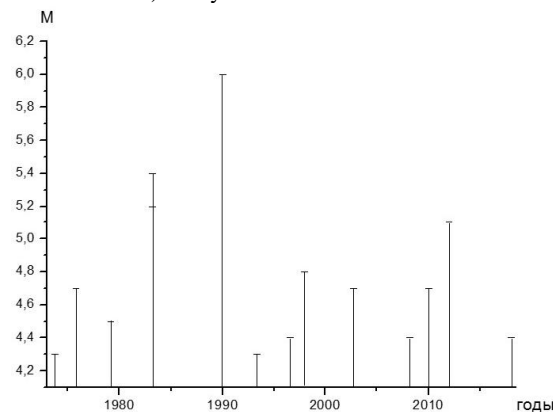
В [2] получены корреляционные зависимости величин  $L$  и  $M_p1$  от магнитуды главных событий для

внутриконтинентальных землетрясений с различными типами подвижек в очаге. В рассматриваемых областях преобладают события с механизмами типа взброса или взбрососдвига (на западе, юго-западе и севере Ирана), а также сдвига (на востоке Ирана) [9, 11].

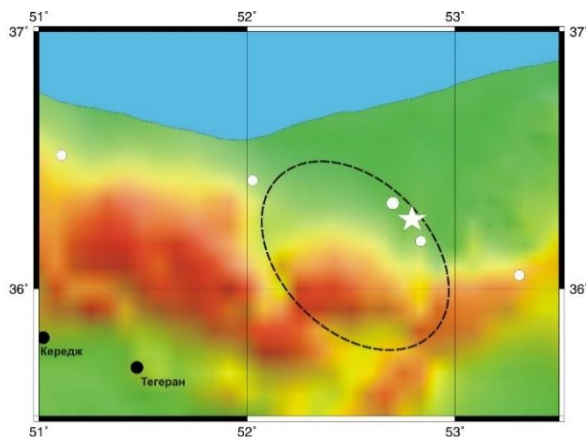


Малый кружок -  $M=4,3-4,9$ ; звездочка - эпицентр землетрясения 02.07.1957 г. ( $M=6,6$ ); остальные обозначения – на рисунках 2-а и 3-а.

а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры

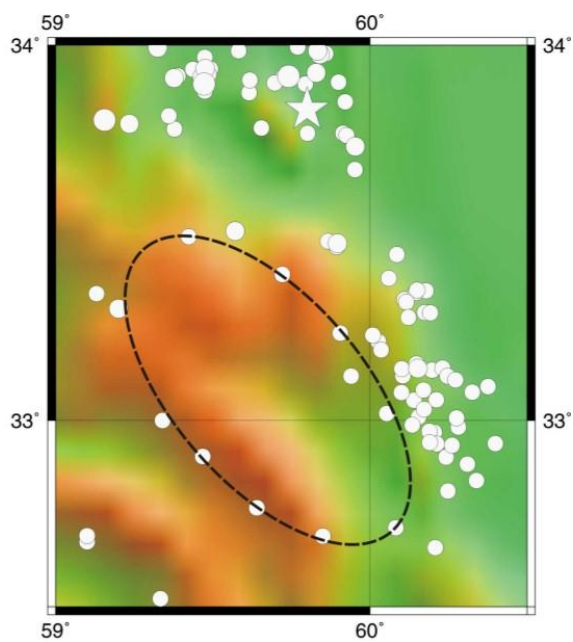


Малый кружок -  $M=4,5-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунке 4-а

в) глубокая сейсмичность

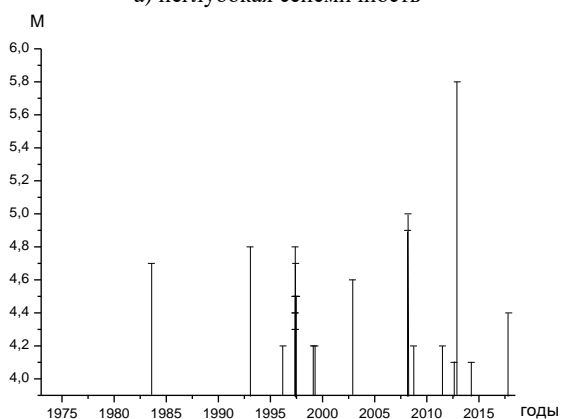
Рисунок 4. Северная область. Сейсмичность и зависимость магнитуд событий от времени





Малый кружок -  $M=4,1-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунках 1, 2-а и 3-а

а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры

Рисунок 5. Восточная область. Сейсмичность и зависимость магнитуд событий от времени

Для этих типов подвижек в очаге получены соответственно следующие зависимости:

$$\lg L(\text{км}) = -1,11 + 0,45M_w, r=0,85 \quad (1)$$

$$M_{п1} = -0,92 + 0,73M_w, r = 0,77 \quad (2)$$

$$\lg L(\text{км}) = -1,12 + 0,49 M_w, r=0,94 \quad (3)$$

$$M_{п1} = -0,17 + 0,64M_w, r=0,67, \quad (4)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

По формулам (1)–(4) были оценены магнитуды сильных землетрясений, которые могут соответствовать описанным выше неглубоким кольцевым структурам (таблица 2).

Из таблицы 2 следует, что по параметрам кольца сейсмичности, сформировавшегося перед Эзгелехским землетрясением, можно было спрогнозировать подготовку события с  $M_w=7,1\pm 0,1$ .

Таблица 2. Оценки магнитуд землетрясений, соответствующих параметрам кольцевых структур

| Область   |           | L, км | M <sub>п1</sub> | M <sub>w</sub> (L) | M <sub>w</sub> (M <sub>п1</sub> ) | M <sub>w</sub> |
|-----------|-----------|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|----------------|
| N         | E         |       |                 |                    |                                   |                |
| 34,5-36,0 | 44,5-46,5 | 130   | 4,2             | 7,2                | 7,0                               | 7,1±0,1        |
| 28,5-30,0 | 50,0-52,0 | 95    | 4,5             | 6,9                | 7,4                               | 7,2±0,3        |
| 35,5-37,0 | 51,5-53,5 | 95    | 4,3             | 6,9                | 7,2                               | 7,1±0,2        |
| 32,5-34,0 | 59,0-60,5 | 110   | 4,1             | 6,5                | 6,7                               | 6,6±0,1        |

Полученная оценка достаточно близка к реальной магнитуде этого землетрясения. Для двух областей: на юго-западе и севере Ирана, – (механизмы типа взброса или взбрососдвига) можно ожидать событие с  $M_w$  около 7, а на востоке (для сдвигового типа подвижки) – несколько более слабое землетрясение.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Ирана, как и во многих других континентальных районах [1–5], перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. Кроме того, здесь в некоторых случаях проявляются глубокие кольцевые структуры или полосы сейсмичности (на глубинах 34–70 км). Ранее [1, 12] было 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 [13], ведущих, в конечном счете, 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, где происходит дегидратация пород океанической коры [14].

Проведенный анализ показывает, что перед разрушительным Эзгелехским землетрясением, которое в очередной раз оказалось совершенно неожиданным для сейсмологов, сформировалась неглубокая кольцевая структура. Существенно, что оценка магнитуды этого события, полученная по параметрам кольца сейсмичности, близка к реальной величине, соответствующей данному событию (ранее пример соответствия магнитуды недавнего сильного события параметрам кольцевых структур был продемонстрирован также для Памирского землетрясения 07.12.2015 г. ( $M_w=7,2$ ) [6]). Длительность формирования кольца сейсмичности близка к максимальным величинам, полученным для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига ( $T_p \sim 45$  лет [2, 4]). В связи с этим есть основания полагать, что своевременное использование информации о кольцевой активности могло быть полезным

для среднесрочного прогноза этого сильного сейсмического события.

Необходимо подчеркнуть, что нами выделены четко выраженные кольцевые структуры в области на юго-западе Ирана, где в историческое время не проявилось сильных землетрясений с  $M \geq 6,5$ . Текущая длительность формирования неглубокой структуры в этой области снова близка к максимальным величинам  $T_p$ , полученным в [2, 4]). Важно отметить, что поблизости от этих структур находится крупнейший энергетический объект Ирана – АЭС «Бушер». Несмотря на то, что АЭС строилась с учетом высокой сейсмичности территории Ирана, следует иметь в виду возможность реализации в этой области достаточно сильного события в ближайшие годы.

В двух других областях зарегистрированы сильные землетрясения во второй половине XX-го века. В северной области такое событие произошло в 1957 г. ( $M=6,6$ ), а в восточной – в 1997 г. ( $M_w=7,2$ ). В одной из этих областей (на севере) проявилась полоса глубокой сейсмичности, как и в некоторых других континентальных районах, в частности, на Балканах и в Восточном Тянь-Шане [4, 5]. Ранее [2, 4, 5, 10, 12, 15, 16,] было показано, что эпицентры многих сильных землетрясений (в том числе и в зонах субдукции) располагаются вблизи областей пересечения или касания мелких колец с глубокими кольцами сейсмичности или с полосами сейсмичности. По нашему мнению, данный эффект объясняется наибольшей мощностью двухфазного слоя с заметной долей флюидов в таких областях. В случае, если флюиды формируют связную сеть, на кровле двухфазного слоя наблюдается концентрация напряжений, причем величина избыточных напряжений пропорциональна мощности слоя [17, 18]. Это может служить триггерным эффектом, приводящим к подвижкам при сильном землетрясении. По аналогии с другими районами [4, 5] можно ожидать, что эпицентры готовящихся событий будут находиться вблизи областей пересечения мелких колец с глубокими кольцами или полосами сейсмичности. Для уточнения положения возможных очаговых зон целесообразно также привлечение палеосейсмических данных (в том числе получаемых методом тренчинга [19, 20]).

Учитывая полученные данные, в исследованных областях целесообразно проводить постоянный мониторинг геодинамических процессов геофизическими и геохимическими методами с целью среднесрочного прогноза возможных сильных землетрясений.

#### 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 // Вулканонология и сейсмология. – 2010. – № 6. – С. 34–51.
2. 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.
3. 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.

Особую опасность будет представлять событие, которое может произойти на юго-западе Ирана вблизи крупнейшего энергетического объекта – АЭС «Бушер». Можно полагать, что в ближайшие годы наиболее вероятны сильные землетрясения в юго-западной и восточной областях, поскольку здесь в последнее десятилетие особенно резко выросли скорости СТД, аналогично данным, полученным перед рядом сильных событий в различных районах [1, 3–5, 16].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение некоторых характеристик сейсмичности в районе Ирана позволило установить, что перед разрушительным Эгзелехским землетрясением 12.11.2017 г. ( $M_w=7,3$ ) сформировалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0–33 км. Как и в других районах, неглубокие кольца сейсмичности характеризуются пороговыми значениями магнитуд ( $M_{p1}$ ) и длинами больших осей ( $L$ ). Ранее были получены корреляционные зависимости величин  $M_{p1}$  и  $IgL$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с подвижками типа взброса (взбрососдвига) и сдвига, преобладающими на большей части территории Ирана. На основе этих зависимостей сделана оценка магнитуды сильного события, которое могло готовиться в области кольцевой структуры:  $M_w=7,1 \pm 0,1$  для зоны Эгзелехского землетрясения (с механизмом типа взбрососдвига). Эта оценка достаточно близка к реальной магнитуде указанного события. Выделены крупные кольцевые структуры, формирующиеся на юго-западе, севере и востоке Ирана, в том числе в тех областях, где неизвестны сильные землетрясения по инструментальным и историческим данным, по крайней мере, с начала XX-го века. По параметрам этих структур оценены магнитуды возможных сильных землетрясений:  $M_w=7,2 \pm 0,3$ ,  $M_w=7,1 \pm 0,2$  и  $M_w=6,6 \pm 0,1$  в указанных областях соответственно. Особую опасность может представлять сильное сейсмическое событие, которое, вероятно, готовится на юго-западе Ирана, вследствие близости его очага к АЭС «Бушер». Предполагается, что формирование кольцевых структур есть следствие процессов самоорганизации геологических систем, связанных с подъемом глубинных флюидов. Полученные данные свидетельствуют о том, что методы анализа кольцевых структур могут быть использованы для прогноза мест и магнитуд сильных землетрясений в других континентальных районах.

4. 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.
5. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в районе северной Греции: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. – 2017. – № 4. – С. 31–46.
6. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в областях Сарезского и Нурекского водохранилищ (Таджикистан): адаптация литосферы к дополнительной нагрузке / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2016. – Т. 15. – № 4. – С. 64–76.
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. Shoja-Taheri, J. Seismicity of the Iranian plateau and bordering regions / J. Shoja-Taheri, M. Niazi // Bull. Seism. Soc. Am. 1981. – V. 71. – P. 477–489.
9. Ekström, G. The global CMT project 2004-2010: centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes / G. Ekström, M. Nettles, A. Dziewonski // Phys. Earth Planet. Inter. – 2012. – V. 200. – P. 1–9. doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002.
10. 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. 64–76.
11. Dziewonski, A. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity / A. Dziewonski, T.-A. Chou, J. Woodhouse // J. Geophys. Res. – 1981. – V. 86. – P. 2825–2852. – Doi:10.1029/JB086iB04p02825.
12. 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.
13. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем. / Ф.А. Летников. – Новосибирск: Наука. – 1992. – 229 с.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Каракин, А.В. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы / А.В. Каракин, Л.И. Лобковский // ДАН СССР. – 1982. – Т. 268, № 2. – С. 324–329.
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. Рогожин, Е.А. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе / Е.А. Рогожин, А.Г. Гурбанов, А.В. Мараханов, А.Н. Овсяченко, А.В. Спиридонов, Е.Е. Бурканов // Физика Земли. – 2005. – № 3. – С. 33–46.
20. Рогожин, Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия / Е.А. Рогожин // Рос. журнал наук о Земле. – 2000. – Т.2. – № 1.

## ИРАН АУДАНЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚТЫҢ САҚИНАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫ: ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ЫҚТИМАЛ ДАЙЫНДАЛУЫ

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

<sup>1)</sup>Ресей Ғылыми академиясының жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

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

Сейсмикалылықтың бір қатар сипаттамалары қарастырылған, соның ішінде Иран ауданында қатты жерсілкінулер дайындаумен байланыстылары. 2017 ж. 11.12-сіндегі Эзгелех жерсілкінуі (Mw=7,3) алдында 0–33 км тереңдіктерінде сейсмикалылықтың сақиналы құрылымы қалыптастырылғаны анықталған. Иран аумағының көп жағында басым болатын қаусырма және қаусырма-ығыспа түріндегі механизмдерімен континент ішіндегі жерсілкінулер үшін магнитуданың табалдырық мәндері (M<sub>p</sub>) мен эллипстердің үлкен өсінің ұзындықтары басты оқиғалардың магнитудаларынан Mw бұрын анықталған корреляциялық тәуелдіктері негізінде, сақиналы құрылым облысында дайындалуы мүмкін, қатты оқиғаның магнитудасын бағалауы жасалған: Mw=7,1±0,1 Эзгелех жерсілкіну зонасы үшін. Иранның оңтүстік-батысы, солтүстігі мен шығысында, соның ішінде, жоқ дегенде XX ғасырдың басынан инструменталды және тарихи деректері бойынша қатты жерсілкінулер беймәлім облыстарында, қалыптастырылып жатқан ірі сақиналы құрылымдар айқындалған. Бұл құрылымдардың сипаттамалары бойынша айтылған облыстарына сәйкес магнитудасы Mw=7,2±0,3, Mw=7,1±0,2 және Mw=6,6±0,1 қатты жерсілкінулеріне болжам жасалады. Иранның оңтүстік-батысында, оның ошағы «Бушер» АЭС жақын болуына байланысты, ықтимал дайындалудағы қатты сейсмикалық оқиға ерекше қауіпті болуы мүмкін. Сейсмикалылықтың сақиналы құрылымдары қалыптастырылу себептері талқыланады.

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

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

<sup>1)</sup> *O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

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

We have been studying some seismicity characteristics in the region of Iran including those connected with preparation for large earthquakes. It was established that ring-shaped seismicity structure have been formed within depth range of 0-33 km prior to large Ezgeleh earthquake of 12.11.2017 ( $M_w=7,3$ ). Shallow seismicity rings are characterized by threshold magnitude values ( $M_{t1}$ ) and big axis lengths ( $L$ ). Earlier we have obtained correlation dependences of  $M_{t1}$  and  $\lg L$  values on magnitudes of main events  $M_w$  for intracontinental earthquakes with mechanisms of reverse and oblique-reverse faulting, prevailing in the region of Iran. Using these dependences we estimated magnitude of large event which could be prepared in the area of ring structure:  $M_w=7,1\pm 0,1$  for the zone of the Ezgeleh earthquake. Big ring structures were identified at the south-west, north and east of Iran, where large earthquakes are not known according to instrumental and historical data. We estimated magnitudes of possible large earthquakes by characteristics of these structures:  $M_w=7,2\pm 0,3$ ,  $M_w=7,1\pm 0,2$  and  $M_w=6,6\pm 0,1$  in the regions mentioned respectively. Large seismic event, which probably is being prepared within the south-western part of Iran, can represent a special danger due to nearness of it's source to the nuclear power plant "Busher". We discuss the reasons of ring structures formation.