



Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс және тұрғын-үй коммуналдық шаруашылық істері комитеті

Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан

Ministry of National Economy of the Republic Kazakhstan,  
the Committee for Construction and Housing and  
Communal Services

# ХАБАРШЫСЫ ВЕСТНИК THE HERALD

№1 (65) 2017

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

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

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

УДК 550.34

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

### АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ В ЛИТОСФЕРЕ ВОСТОЧНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

**АНДАТПА:** Жұмыста Шығыс Тянь-Шань ауданындағы кейбір сейсмикалық сипаттамалар қаралады. Сейсмикалық айналмалы құрылымдарды бөлуге негізделген әдістеме пайдаланылған.

2012 және 2016 жылдары болған  $M=6,3$  және  $5,9$  екі күшті жер сілкіністерінің алдында бірнеше ондаған жылдар ішінде магнитудалардың  $M_n$  шекті мәні тиісінше  $4,3$  және  $4,0$  тең терең емес айналмалы құрылымдар ( $h=0-33$  км) қалыптасқан. Осы құрылымдардың ( $L$ ) өлшемі және әсіресе  $M_n$  шамасы тиісті магнитудалары бар ығыстыру немесе ығыстыру жылжу түріндегі тетіктері бар ішкі континенталдық жағдайларға қарағанда анағұрлым жоғары. Сонымен қатар, бұл жерде сейсмикалықтың терең ( $h=34-70$  км) жолақтары пайда болды. Күшті жер сілкіністерінің эпицентрлері таяз құдық және сейсмикалық терең жолақты кесіп өту немесе едәуір жақындау облыстардың маңында орналасқан. 2016 жылғы 08 желтоқсандағы жер сілкінісі ( $M=5,9$ ) автормен бұрын көрсетілген (2012 ж) айналмалы құрылымның маңында болған. Терең емес айналмалы құрылымдар ( $M_n=4,5$ ) 1900 жылдан бастап  $M>6,5$  жер сілкінісі болмаған екі облыста болды. Сонымен қатар, осы облыстарда сондай-ақ сейсмикалық терең жолақтар көрсетілген. Ығыстыру түріндегі тетігі бар ішкі континенталды жер сілкіністеріне арналған бас жағдайлардың энергиясынан бастап бұрын алынған сейсмика айналымдары параметрлерінің корреляциялық тәуелділіктерінің негізінде күшті жағдайлардың магнитудасы бағаланған, олар айналмалы құрылым облыстарында дайындалуы мүмкін:  $M_w=6,6\pm 0,2$  және  $6,8\pm 0,1$ .  $M\sim 7$  болжамды жер сілкінісінің ошағы Үрімші мегаполисінің маңында орналасуы мүмкін. Айналмалы құрылымдардың және сейсмикалықтың терең жолақтардың қалыптасуы геологиялық жүйелердің өздігінен ұйымдасу процестерімен байланысады, оның нәтижесінде терең флюидтардың көшуі жүзеге асырылады.

**АННОТАЦИЯ:** В работе рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности в районе Восточного Тянь-Шаня. Использована методика, основанная на выделении кольцевых структур сейсмичности. Установлено, что перед двумя сильными землетрясениями с  $M=6,3$  и  $5,9$ , произошедшими в 2012 и 2016 гг., в течение нескольких десятков лет сформировались неглубокие кольцевые структуры ( $h=0-33$  км) с пороговыми значениями магнитуд  $M_n$ , равными  $4,3$  и  $4,0$  соответственно. Размеры этих структур ( $L$ ) и особенно величины  $M_n$  значительно выше, чем для внутриконтинентальных событий с механизмами типа взброса или взбрососдвига, имеющих соответствующие магнитуды. Кроме того, здесь проявились глубокие ( $h=34-70$  км) полосы сейсмичности. Показано, что эпицентры сильных землетрясений находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Существенно, что землетрясение 08.12.2016 г. ( $M=5,9$ ) произошло вблизи от кольцевой структуры, выделенной авторами ранее (в 2012 г.). Неглубокие кольцевые структуры ( $M_n=4,5$ ) проявились и в двух областях, где не было землетрясений с  $M>6,5$  по крайней мере с 1900 г. Кроме того, в этих областях также выделены глубокие полосы сейсмичности. На основании полученных ранее корреляционных зависимостей параметров колец сейсмичности от энергии главных событий для внутриконтин-

нентальных землетрясений с механизмами типа взброса оценены магнитуды сильных событий, которые могут готовиться в областях кольцевых структур:  $M_w=6,6\pm 0,2$  и  $6,8\pm 0,1$ . Очаг предполагаемого землетрясения с  $M\sim 7$  может располагаться вблизи от мегаполиса Урумчи. Формирование кольцевых структур и глубоких полос сейсмичности связывается с процессами самоорганизации геологических систем, в результате которых осуществляется миграция глубинных флюидов.

**ABSTRACT:** We have been studying some seismicity characteristics in the regions of the East Tien Shan. We used method based on identifying ring-shaped seismicity structures. It was established that shallow ( $h=0-33\text{km}$ ) ring-shaped structures have been formed during a few ten years prior two large earthquakes occurred in 2012 and 2016 ( $M=6,3$  and  $5,9$  correspondingly). Threshold magnitude values  $M_t$  were  $4,3$  and  $4,0$  for these events. Sizes of these structures were a few times larger than for intracontinental earthquakes with mechanisms of reverse and oblique-reverse types. Besides that, deep ( $h=34-70\text{ km}$ ) seismicity strips were identified there. It was shown that epicenters of large earthquakes are located near areas of crossing or closest rapprochement of shallow rings and deep strips. It is essential that the earthquake of 08.12.2016 ( $M=5,9$ ) occurred near the ring structure, which was identified by the authors earlier (in 2012). Shallow ring-shaped structures ( $M_t=4,5$ ) were identified in two areas, where no events of  $M>6,5$  occurred at least since 1900. Deep seismicity strips also were displayed there. We estimated magnitudes of large events, which can be prepared in the areas of the ring-shaped structures. The estimates are based on earlier obtained correlation dependences of seismicity ring parameters on energy of main earthquakes with mechanisms of reverse faulting type:  $M_w=6,6\pm 0,2$  and  $6,8\pm 0,1$ . Rupture zone of the future event with  $M_w\sim 7$  can be located near Urumqi city. The formation of ring-shaped structures is supposed to be connected with processes of geological systems self-organization, which result in deep-seated fluids migration.

## Введение

В последние 10 лет установлено, что перед многими сильными землетрясениями в течение нескольких десятилетий формируются кольцевые структуры (кольца) сейсмичности, оконтуривающие области относительного сейсмического затишья [1-14]. Эти структуры образованы эпицентрами событий с магнитудами  $M\geq M_p$ , где  $M_p$  – пороговые значения, которые растут с увеличением энергии главных землетрясений. Для ряда зон субдукции получены корреляционные зависимости  $L(M_w)$  и  $M_p(M_w)$ , где  $L$  – длины больших осей колец сейсмичности,  $M_w$  – магнитуды соответствующих им сильных событий [2, 8]. Аналогичные зависимости получены также для сильных землетрясений с различными механизмами очагов во внутриконтинентальных районах [7]. Использование этих зависимостей позволяет прогнозировать места и энергию готовящихся сильных событий по характеристикам кольцевых структур [4, 6, 8-16]. Ниже описываются некоторые результаты анализа характеристик сейсмичности в районе Восточного Тянь-Шаня.

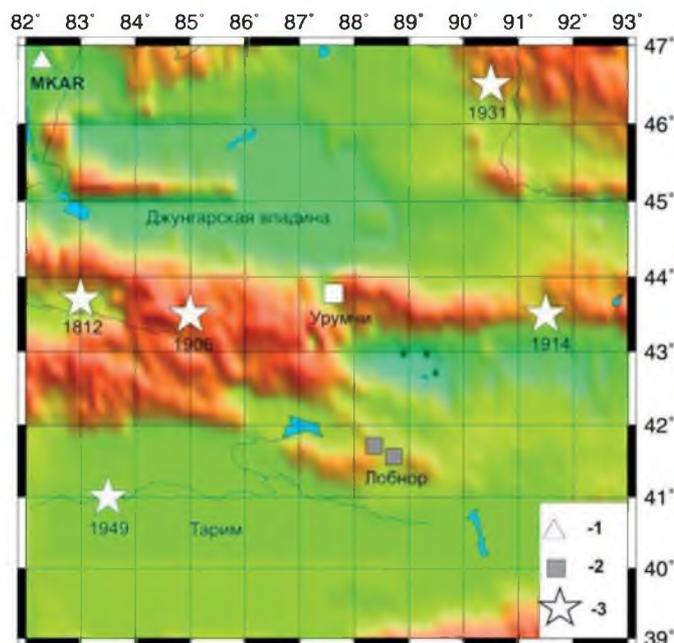
## Историческая сейсмичность

Начиная с 1812 г. в районе Восточного Тянь-Шаня (к востоку от  $82^\circ\text{ E}$ ) произошло 4 землетрясения с  $M\geq 7,0$  (таблица 1, рисунок 1).

Последнее достаточно сильное землетрясение в районе Восточного Тянь-Шаня произошло в 1949 г. После этого в течение более чем 65 лет здесь не было событий с  $M\geq 7,0$  и, по крайней мере, с 1966 г. – землетрясений с  $M\geq 6,5$ . Вместе с тем в период с 1969 г. по 1996 г. на полигоне Лобнор (рисунок 1) было произведено 22 подземных ядерных взрыва (ПЯВ) с  $m_b=4,5 - 6,5$  [16].

**Таблица 1. Сильные землетрясения в районе Восточного Тянь-Шаня**

Дата	° с.ш.	° в.д.	М
08.03.1812	43,70	83,00	7,5
22.12.1906	43,50	85,00	7,2
04.08.1914	43,50	91,50	7,2
23.02.1949	41,00	83,50	7,3



1 – сейсмическая станция, 2 – испытательный полигон Лобнор, 3 – эпицентры сильных землетрясений с  $M \geq 7,0$  (согласно таблице 1, дополнительно – эпицентр Монголо-Алтайского землетрясения 1931 г. с  $M_w=7,9$ ).

**Рисунок 1 – Восточный Тянь-Шань – район исследований.**

### Методика и использованные данные

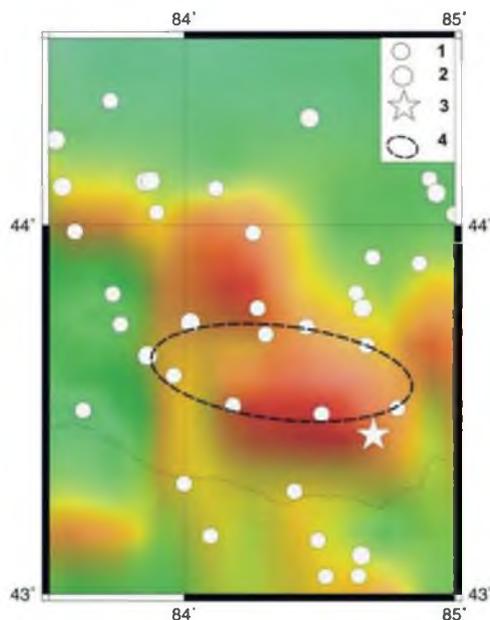
Методика исследований подробно описана в работах [8-14]. Здесь мы только отметим, что суть ее заключается в выделении кольцевых структур сейсмичности (на глубинах 0-33 км), характеризующихся пороговыми значениями магнитуд ( $M_p$ ) и длинами больших осей ( $L$ ). Кроме того, рассматриваются параметры сейсмичности на глубинах 34-70 км (в этом диапазоне выделяются либо кольцевые структуры, либо линейные полосы сейсмичности).

Использовались каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS - United States Geological Survey), начиная с 1973 г.

### Анализ данных

**Кольцевые структуры сейсмичности.** На рисунке 2а показаны эпицентры неглубоких землетрясений с  $M \geq 4,3$  для территории, ограниченной координатами  $43,0^\circ$  и  $44,5^\circ$  N,  $83,5^\circ$  и  $85,0^\circ$  E, за период 01.01.1973 - 28.06.2012 гг., перед землетрясением 29.06.2012 г. ( $M=6,3$ ). На рисунке выделяется узкая кольцевая структура, вытянутая в запад-северо-западном направлении ( $L=80$  км). Кольцо сейсмичности сформировалось в 1982-2008 гг., наиболее

сильные события в области структуры произошли в 1983 г. ( $M=5,0$  и  $5,1$ , см. рисунок 2б). Зависимость  $M(T)$  имеет U-образную форму, наибольшие скорости сеймотектонической деформации (СТД) имели место в 1982-1983 и 2002-2008 гг. Эпицентр главного землетрясения находится вблизи юго-восточной границы кольцевой структуры. На рисунке 2в представлены эпицентры относительно глубоких событий ( $h=34-70$  км,  $M=3.6-4.7$ ), произошедших в рассматриваемом районе. Здесь проявилась клинообразная структура, расположенная к северу от кольца сейсмичности и почти касающаяся его северо-восточной границы. Эпицентр землетрясения 29.06.2012 г. расположен на расстоянии  $\sim 25$  км от области наибольшего сближения кольцевой и клинообразной структур.



1- $5,0 > M \geq 4,3$ ; 2 –  $6,0 > M \geq 5,0$ ; 3 –  $M=6,3$ ; 4 –кольцевая структура.

Рисунок 2а – Характеристики неглубокой сейсмичности перед землетрясением с  $M=6,3$ .

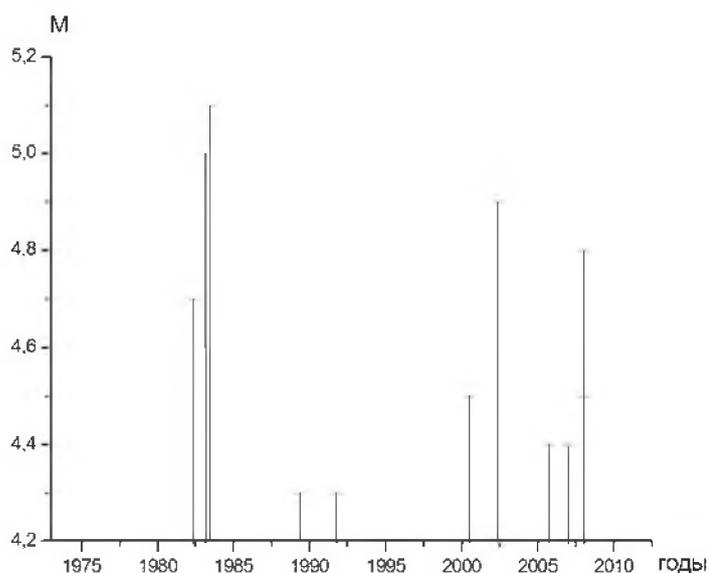
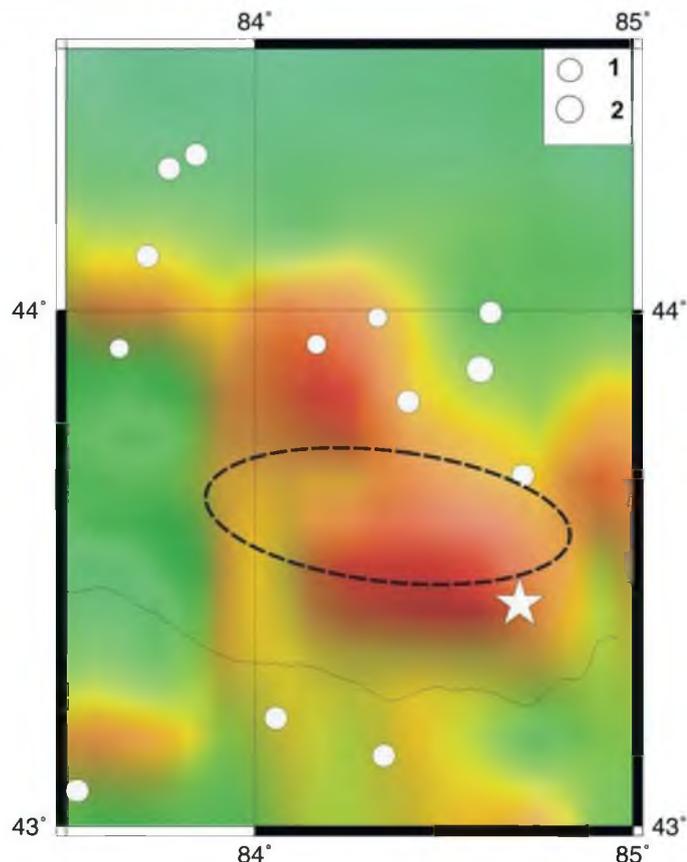


Рисунок 2б – Зависимость  $M(T)$  для неглубоких землетрясений.

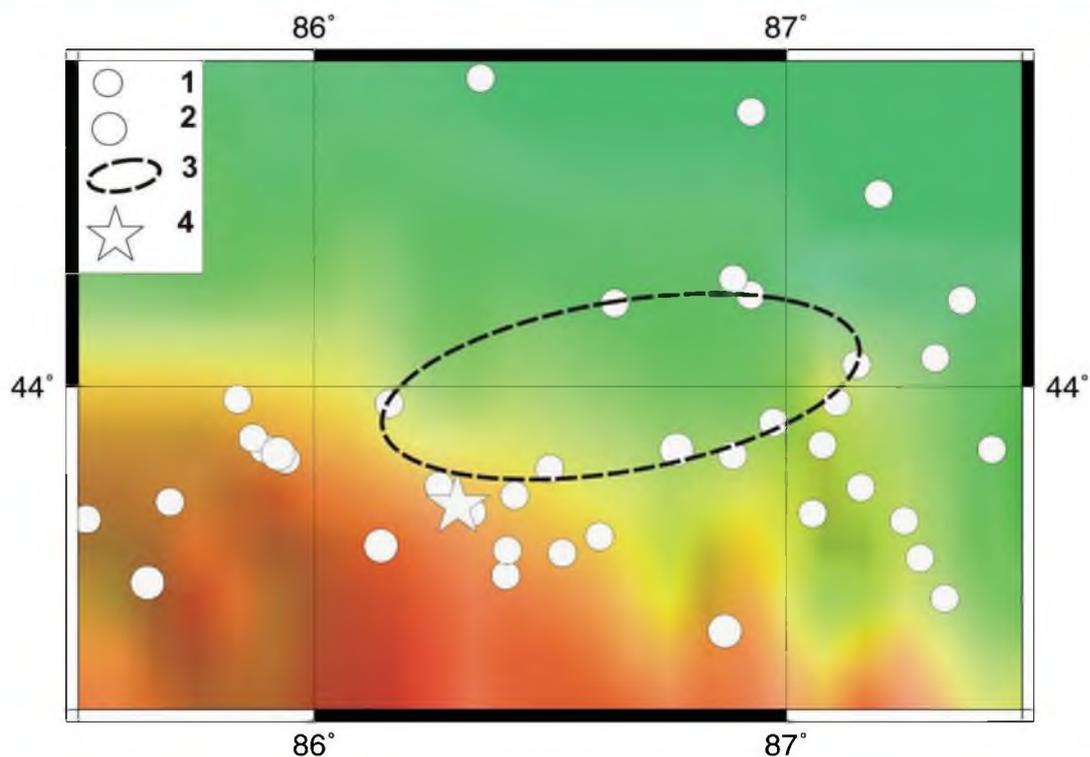


1-4,0>M≥3,6; 2 – 5,0>M≥4,0. Остальные обозначения – на рисунке 2а.

Рисунок 2в – Характеристики глубокой сейсмичности.

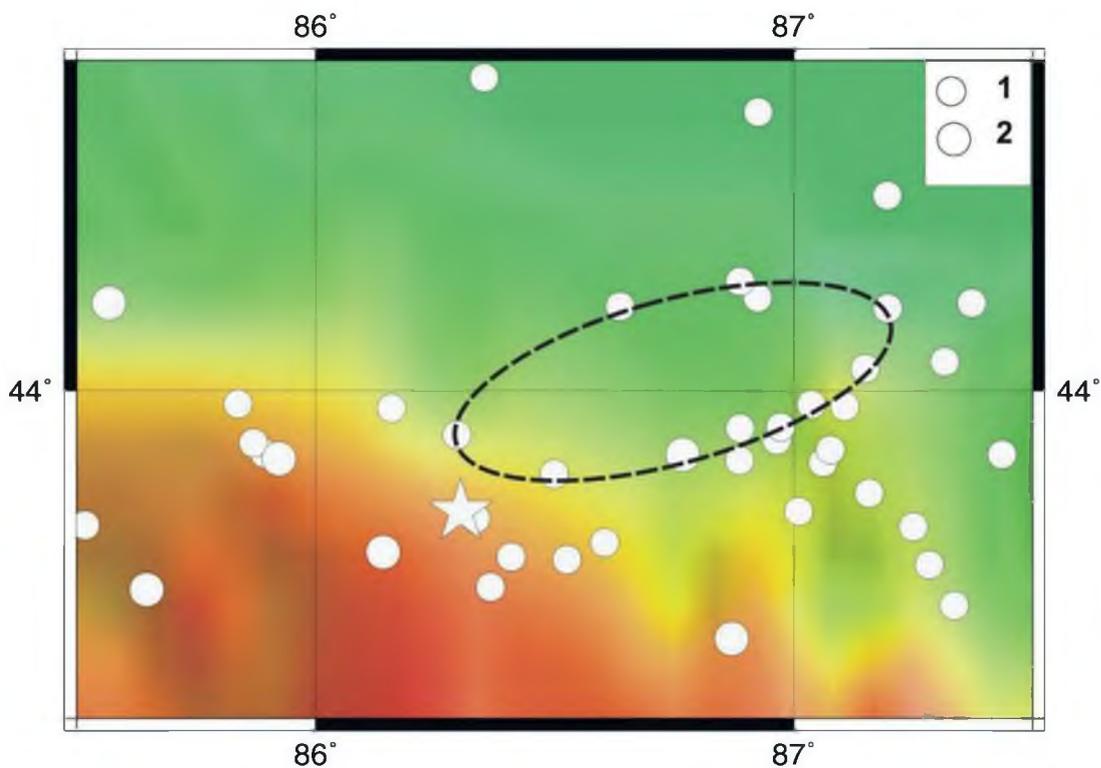
Рисунок 3а иллюстрирует характеристики неглубокой сейсмичности, проявившейся с 01.01.1973 до 01.10.2010 гг. к востоку от очага рассмотренного выше события, которые были рассмотрены в работах [15, 16]. В данном случае использовалась несколько видоизмененная методика, при которой рассматривались только сравнительно неглубокие землетрясения в одном диапазоне глубин ( $h=0-35$  км). Видно, что здесь образовалась кольцевая структура на глубинах 10-35 км, ориентированная в субширотном направлении ( $M_p=4,0$ ,  $L=80$  км).

В работах [4, 9] было отмечено, что при анализе кольцевых структур необходимо уточнять их характеристики не реже, чем раз в полгода, поскольку известны случаи, когда кольца сейсмичности резко перестраивались за 1-2 года до сильных землетрясений, перед которыми они формировались. На рисунке 3б представлены данные о неглубокой ( $h=0-33$  км) сейсмичности, полученные за период 01.01.1973-07.12.2016 гг. За указанный период проявилась кольцевая структура почти такого же размера с более низким пороговым значением магнитуды ( $L\sim 75$  км,  $M_p=3,9$ ), ориентированная в восток-северо-восточном направлении. Зависимость  $M(T)$  имеет слегка размытую U-образную форму, наибольшие скорости СТД в области структуры наблюдались в 1979 и 2003-2016 гг. (рисунок 3в). Эпицентр землетрясения 08.12.2016 г. расположен на расстоянии менее 10 км от юго-западного края кольца сейсмичности, что во много раз меньше его размеров. Таким образом, несмотря на некоторое изменение параметров кольца сейсмичности за последние 6 лет, очаг сильного землетрясения снова приурочен к кольцевой структуре.



1 –  $5,0 > M \geq 4,0$ ; 2 –  $M \geq 5,0$ ; 3 – кольцевая структура;  
4 – эпицентр землетрясения 08.12.2016 г. ( $M=5,9$ ).

Рисунок 3а – Характеристики неглубокой сейсмичности (до 01.10.2010)



1 –  $5,0 > M \geq 3,9$ , 2 –  $M \geq 5,0$ .

Остальные обозначения – на рисунке 3а.

Рисунок 3б – Характеристики неглубокой сейсмичности (до 07.12.2016)

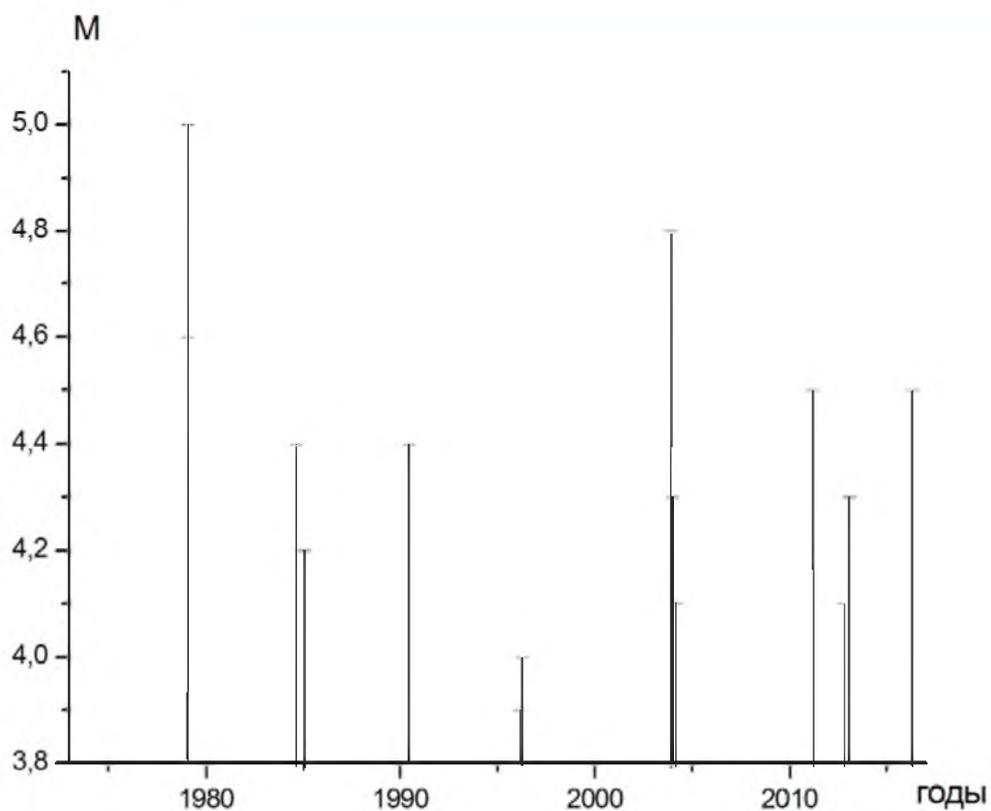
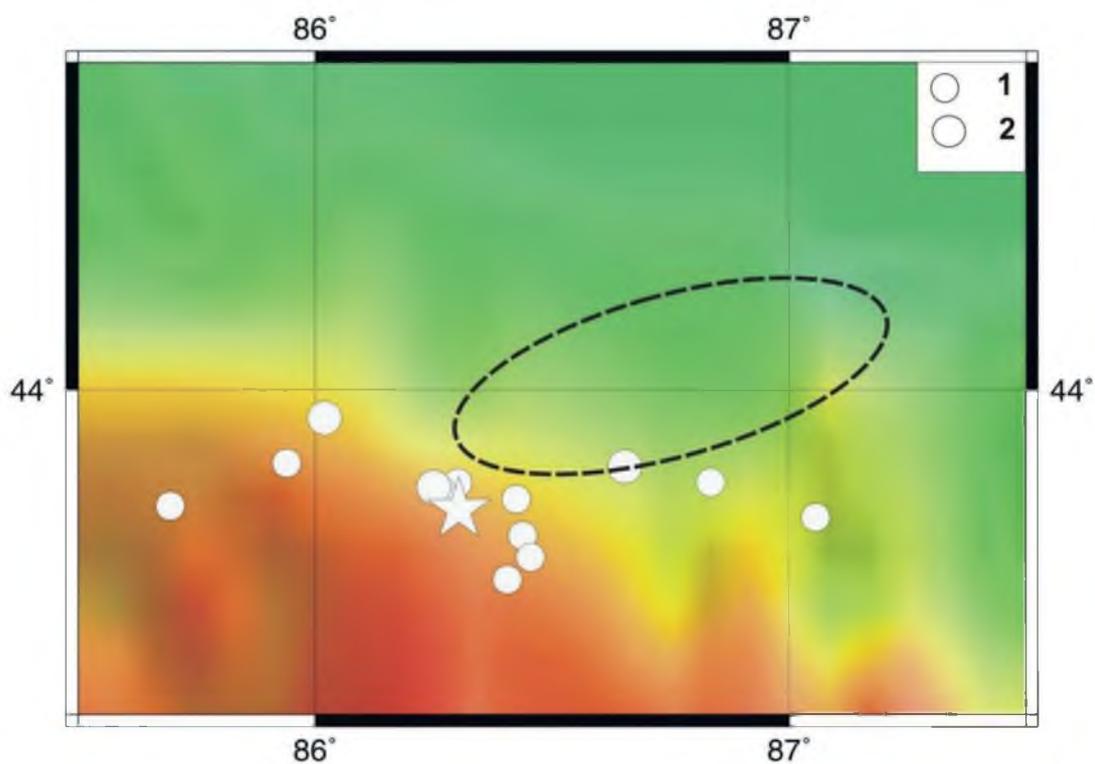


Рисунок 3в – Зависимость М(Т)



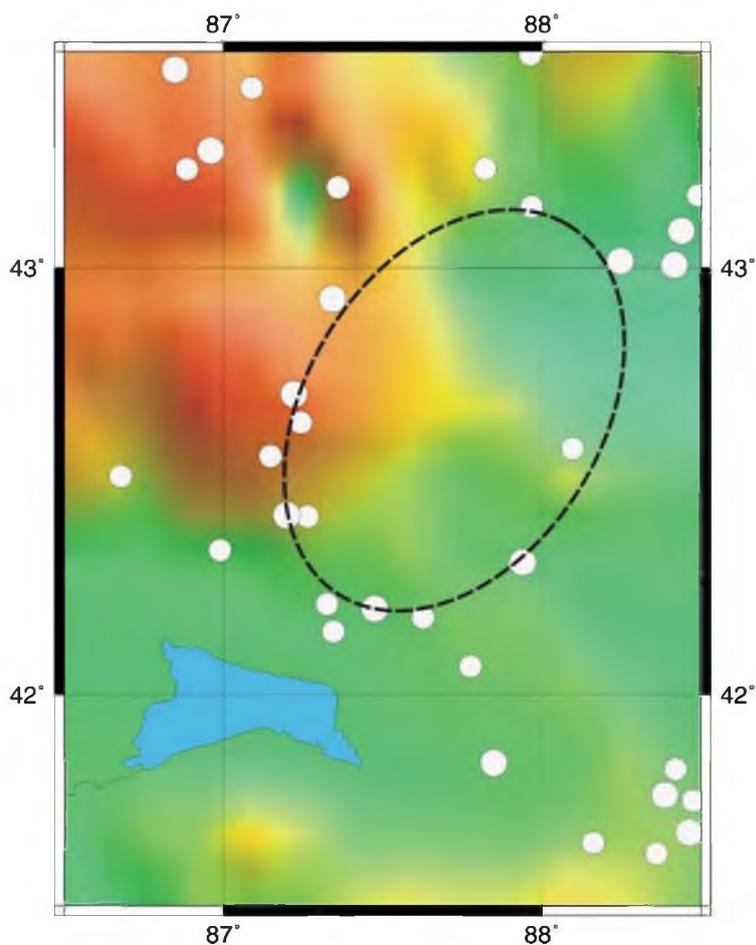
1 –  $5,0 > M \geq 4,1$ ; 2 –  $M \geq 5,0$ .

Остальные обозначения – на рисунке 3а.

Рисунок 3г – Характеристики глубокой сейсмичности (до 07.12.2016)

На рисунке 3г показаны данные об относительно глубокофокусной сейсмичности, полученные до 08.12.2016 г. ( $M \geq 4,1$ ). На рисунке проявилась линейная полоса эпицентров длиной  $\sim 65$  км, вытянутая в субширотном направлении. Эта структура сформировалась в 1982-2010 гг., наибольшая магнитуда соответствует событию 1983 г. ( $M=5,4$ ). Эпицентр землетрясения 08.12.2016 г. располагается вблизи западного края полосы, касающейся южной границы кольца сейсмичности.

Рассмотрим теперь некоторые характеристики сейсмичности (за период 01.01.1973-20.12.2016 гг.) в двух областях, в которых не зарегистрировано достаточно сильных событий ( $M > 6,5$ ) по меньшей мере в течение 50 лет. На рисунке 4а показаны эпицентры неглубоких землетрясений ( $M \geq 4,5$ ), которые расположены в области, ограниченной координатами  $41,5^\circ - 43,5^\circ$  N,  $86,5^\circ - 88,5^\circ$  E. Здесь выделяется довольно большая кольцевая структура ( $L \sim 110$  км), ориентированная в северо-северо-восточном направлении. Структура сформировалась в 1975-2012 гг., наибольшая магнитуда ( $M=5,3$ ) соответствует событию, произошедшему в 1983 г. (рисунок 4б). На рисунке 4в приведены данные о глубокофокусной сейсмичности ( $M \geq 4,1$ ). В данном случае сформировались две линейные полосы эпицентров, одна из которых ( $M=4,3-4,8$ ) вытянута в северо-западном направлении и проходит на расстоянии менее 10 км от северной границы кольца сейсмичности. Вторая полоса ( $M=4,1-5,0$ ) ориентирована в субмеридиональном направлении, ее северный край почти касается восточной границы кольца.



1 –  $5,0 > M \geq 4,5$ ; 2-  $M \geq 5,0$ .

Остальные обозначения – на рисунке 3а.

Рисунок 4а – Характеристики неглубокой сейсмичности (до 20.12.2016)

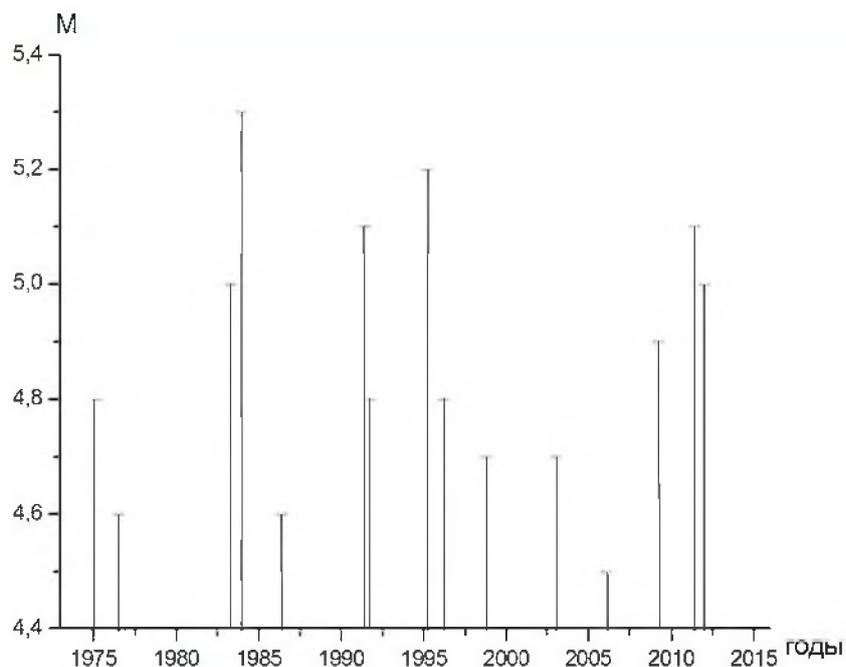
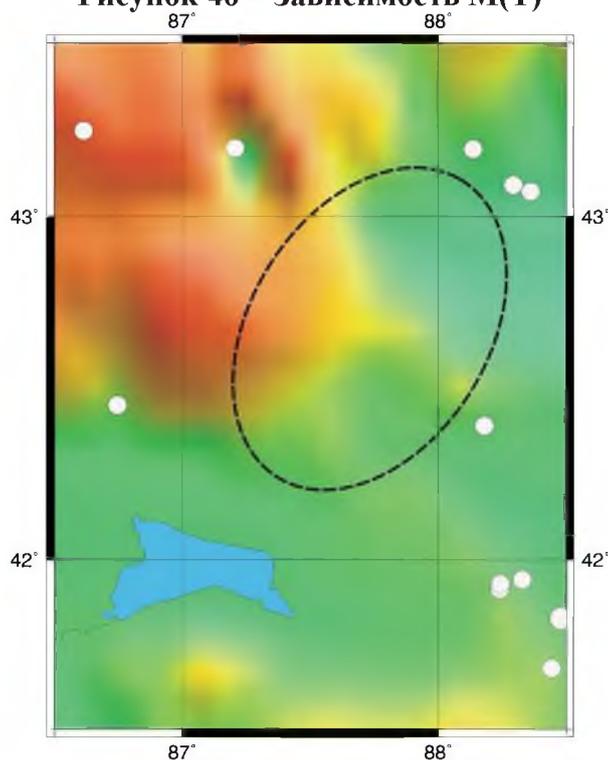


Рисунок 4б – Зависимость  $M(T)$

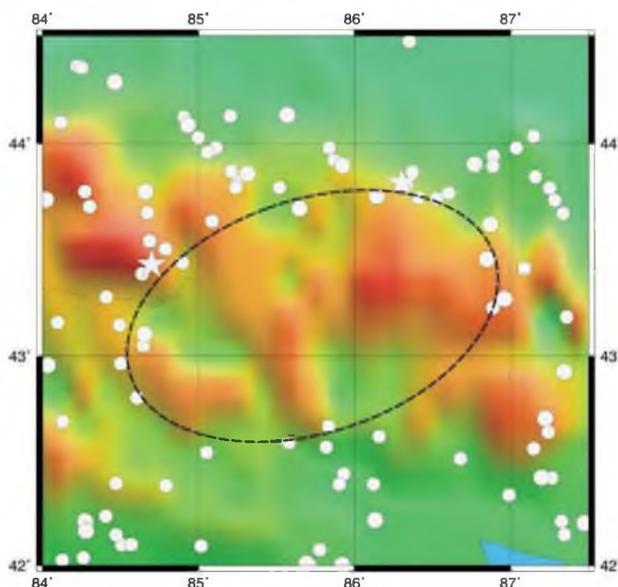


Обозначения – на рисунке 3а.

Рисунок 4в – Характеристики глубокой сейсмичности (до 20.12.2016)

Рисунок 5а иллюстрирует характеристики неглубокой сейсмичности в относительно большой области, ограниченной координатами  $42,0^{\circ}$ - $44,5^{\circ}$ N,  $84,0^{\circ}$ - $87,5^{\circ}$  E ( $M \geq 4,5$ ). На рисунке выделяется крупная кольцевая структура ( $L \sim 200$  км), ориентированная в восток-северо-восточном направлении. Структура образовалась в 1975-2016 гг., наибольшая магни-

туда соответствует землетрясению 2012 г. ( $M=6,3$ ). На границу кольца попадает также эпицентр землетрясения 08.12.2016 г. ( $M=5,9$ ). Следует отметить, что скорость СТД в области кольцевой структуры резко выросла в 2012-2016 гг. (рисунок 5б). На рисунке 5в представлены элементы глубокофокусной сейсмичности ( $M \geq 4,1$ ). На карте четко проявилась субширотная полоса эпицентров длиной  $\sim 150$  км, которая касается северной границы кольца сейсмичности. Полоса сформировалась в 1983-2016 гг., наибольшая магнитуда соответствует событию 1983 г. ( $M=5,4$ , см. рисунок 5г). В данном случае скорость СТД резко выросла с 2008 г. Кроме того, на рисунке выделяется восточная часть клинообразной структуры, проявившейся перед землетрясением 2012 г., которая удлинилась к югу благодаря афтершокам этого события и стала касаться северо-западной границы кольца сейсмичности в области его эпицентра.



Малый кружок  $-5,0 > M \geq 4,5$ . Остальные обозначения – на рисунке 3а.  
Рисунок 5а – Характеристики неглубокой сейсмичности (до 20.12.2016)

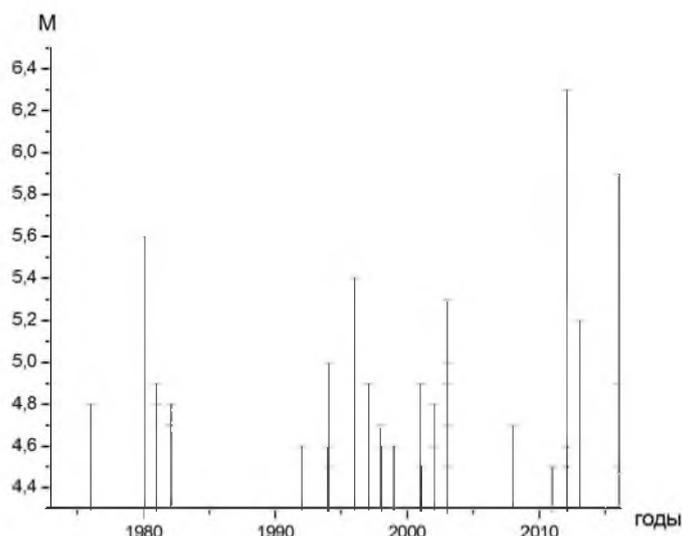
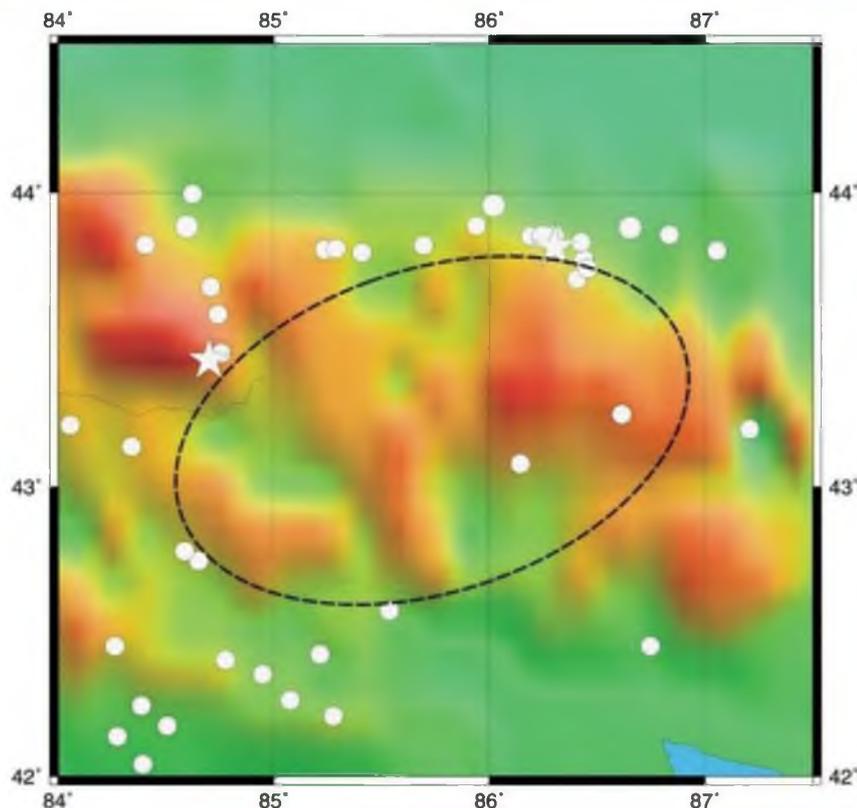


Рисунок 5б – Зависимость  $M(T)$



Малый кружок –  $5,0 > M \geq 4,0$ .

Звездочки – эпицентры землетрясений 29.06.2012 и 08.12.2016 гг.

Остальные обозначения – на рисунке 3а.

Рисунок 5в – Характеристики глубокой сейсмичности (до 20.12.2016)

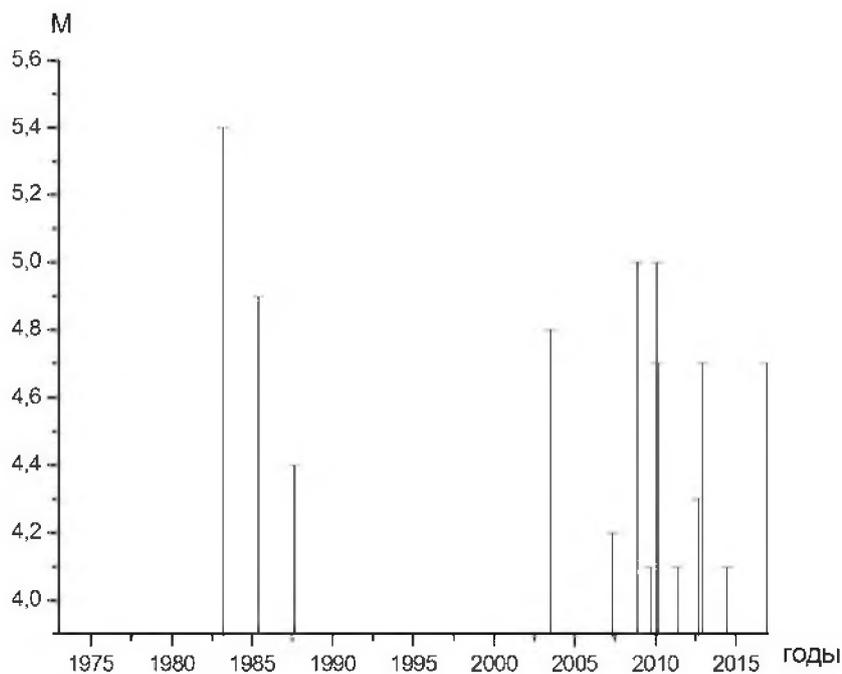


Рисунок 5г – Зависимость  $M(T)$  для глубоких землетрясений.

Оценка магнитуд землетрясений, соответствующих кольцевым структурам. В работе [7] получены корреляционные зависимости  $L(M_w)$  и  $M_p(M_w)$  для сильных землетрясений с различными механизмами очагов, произошедших во внутриконтинентальных районах. Как известно, в районе Тянь-Шаня, находящегося в условиях субмеридионального сжатия, сильные землетрясения характеризуются механизмами типа взброса и взбрососдвига. Для таких событий получены следующие зависимости (рисунки ба, бб):

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

$$M_p = -0,92 + 0,73 M_w, r=0,77, \quad (2)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

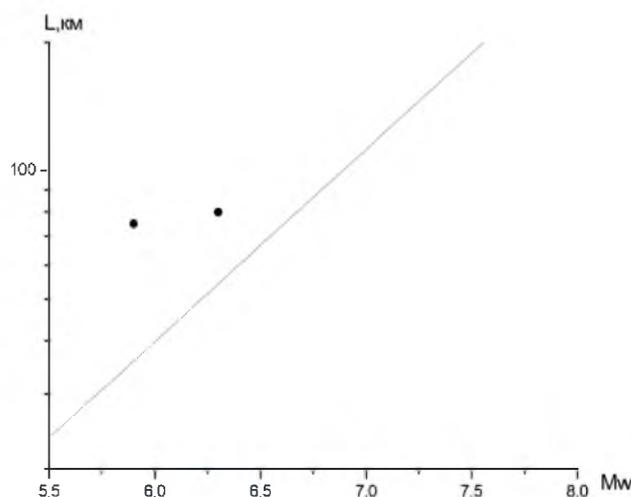
Мы использовали эти зависимости для оценки магнитуд сильных землетрясений, которые могут готовиться в областях кольцевых структур, представленных на рис.4,5. Из рисунков ба,б следует, что величины  $L$  и особенно  $M_p$  для двух рассмотренных событий существенно завышены для данной  $M_w$  по сравнению со средними величинами, полученными для внутриконтинентальных районов. Отметим, что в работах [11,14] было показано, что в районах южной Калифорнии и Эгейского моря значения указанных параметров, наоборот, занижены относительно средних величин.

Мы предположили, что наклоны графиков  $\lg L(M_w)$  и  $M_p(M_w)$  для рассматриваемого нами района соответствуют зависимостям (1) и (2), а уровни графиков смещены относительно них на величины  $C_1 = \text{const}$  и  $C_2 = \text{const}$ :

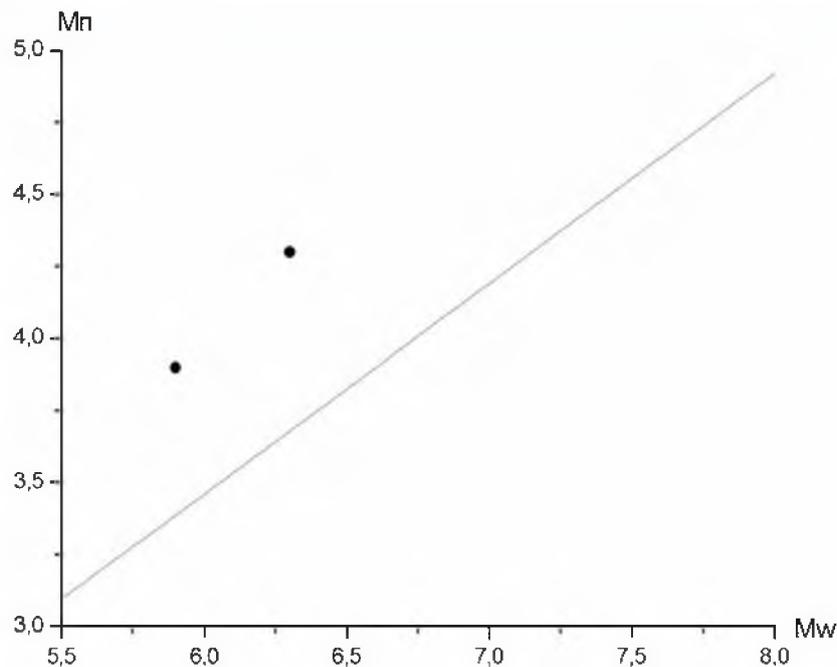
$$\lg L(\text{ км}) = -1,11 + C_1 + 0,45M_w, \quad (3)$$

$$M_p = -0,92 + C_2 + 0,73 M_w. \quad (4)$$

Используя данные, полученные для двух событий (рисунки ба, бб), мы нашли средние величины  $C_1$  и  $C_2$  (соответственно  $0,29 \pm 0,07$  и  $0,55 \pm 0,05$ ). По формулам (3) и (4) для данных значений  $C_1$  и  $C_2$  мы оценили средние величины  $M_w$ , которые могут соответствовать кольцевым структурам, представленным на рисунках 4 и 5:  $M_w = 6,6 \pm 0,2$  и  $6,8 \pm 0,1$  соответственно. Конечно, эти величины следует рассматривать лишь в качестве первого приближения.



**Показаны индивидуальные данные для Восточного Тянь-Шаня.  
Рисунок ба – Общая зависимость  $L(M_w)$  для взбросов и взбрососдвигов**



Показаны индивидуальные данные для Восточного Тянь-Шаня.  
Рисунок 66 – Общая зависимость  $M_p(M_w)$  для взбросов и взбрососдвигов

### Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Восточного Тянь-Шаня, так же, как и во многих других континентальных районах [3, 6, 7], а также в зонах субдукции [1-5, 8, 9, 12, 13] перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. В указанных работах отмечено, что образование кольцевых структур связано с процессами самоорганизации геологических систем [17], проявляющимися в миграции глубинных флюидов в земной коре и верхах мантии. Вследствие малой плотности флюидов эти процессы, в конечном счете, ведут к уменьшению потенциальной энергии Земли.

В [1-5, 8, 9] показано, что эпицентры большинства сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких ( $h=34-70$  км) кольцевых структур сейсмичности. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что мелкие кольца оконтуривают жесткие блоки литосферы, а глубокие – относительно маловязкие блоки [3, 5]. На границах обоих типов блоков происходит подъем глубинных флюидов. При этом в областях пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких колец сейсмичности достигается наибольшая мощность двухфазного слоя с присутствием заметной доли флюидов. В случае, если флюиды формируют связную сеть, на кровле такого слоя наблюдается концентрация напряжений, причем уровень избыточных напряжений пропорционален мощности слоя [18]. Концентрация напряжений и может приводить к подвижке при сильном землетрясении [1-5, 8, 9].

Вместе с тем в рассматриваемом районе, в отличие от большинства зон субдукции, на глубинах 34-70 км формируются не кольцевые структуры, а линейные полосы эпицентров. В работах [12, 13] показано, что линейные полосы сейсмичности образуются также в двух зонах субдукции (Каскадия и южная Мексика), где происходит погружение молодых плит. Можно предполагать, что в указанных районах формирование линейных полос сейсмичности вместо глубоких колец энергетически более выгодно, вероятно, вследствие меньшей до-

ли флюидов в верхах мантии по сравнению с большинством зон субдукции. В этой связи отметим, что в литосфере океанических плит Хуан-де-Фука и Кокос, погружающихся соответственно в зоне субдукции Каскадия и в южной Мексике, имеет место пониженное содержание гидратированных пород [12, 33]. При дегидратации таких пород в процессе субдукции выделяется свободная вода, которая и служит одним из главных компонентов глубинных флюидов.

Интересно, что линейные полосы глубокофокусной сейсмичности формируются также на севере Эгейского и в Мраморном море [11]; можно полагать, что и в этих районах имеет место относительно низкое содержание флюидов по сравнению с большинством зон субдукции.

В работе [8] выдвинута гипотеза о пропорциональности энергии сильных землетрясений в межплитных областях потенциальной энергии флюидов, высвобождаемой при подготовке и реализации таких событий. Принятие этой гипотезы позволяет объяснить, в частности, заниженные величины  $L$  (для данной  $M_w$ ) для кольцевых структур, формирующихся в зонах субдукции, а также в области южной Калифорнии и на севере Эгейского моря по сравнению с внутриконтинентальными районами [2-14]. Можно полагать, что этот эффект связан с относительно низким содержанием флюидов в литосфере континентов по сравнению с указанными областями [19].

Особенности кольцевых структур в районе Восточного Тянь-Шаня состоят в значительно завышенных величинах  $L(M_w)$  и особенно  $M_p(M_w)$ . Это может свидетельствовать о достаточно низком содержании флюидов в земной коре Восточного Тянь-Шаня по сравнению с большинством внутриконтинентальных районов. Можно полагать, что завышенные величины магнитуд событий в областях кольцевых структур необходимы для обеспечения подъема флюидов (в условиях их пониженного содержания) и формирования достаточно толстых слоев двухфазного материала с сообщающимися порами и трещинами.

Данный вывод хорошо согласуется с данными, приведенными в работах [15,16], в которых показано, что поглощение короткопериодных S-волн в литосфере Восточного Тянь-Шаня гораздо слабее, чем в районе Центрального Тянь-Шаня. Этот эффект может объяснять также очень низкие скорости деформации земной коры Восточного Тянь-Шаня по сравнению с Центральным Тянь-Шанем [16], поскольку уменьшение доли флюидов приводит к увеличению вязкости горных пород.

Из рисунков 2 и 3 следует, что эпицентры двух относительно сильных землетрясений находятся поблизости от областей касания или наибольшего сближения мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Аналогичные данные получены ранее для зоны субдукции, расположенной в области южной Мексики, а также для севера Эгейского моря [11, 13]. Близость эпицентров сильных землетрясений к указанным областям позволяет предполагать, что в них также достигается наибольшая мощность двухфазного слоя, которая приводит к концентрации напряжений.

В работах [15, 16] был предложен прогноз места возможного сильного землетрясения по данным о неоднородностях поля поглощения S-волн и кольцевой структуре, представленной на рисунке 3а. Этот прогноз оправдался благодаря относительно сильному событию 08.12.2016 г. ( $M=5,9$ ). Ранее успешные прогнозы мест и магнитуд сильнейших землетрясений Тохоку (2011 г., Япония,  $M_w=9,0$ ) и Икике (2014 г., Чили,  $M_w=8,2$ ) по параметрам кольцевых структур были сделаны авторами в работах [4, 9]. Это позволяет использовать методику, связанную с анализом колец сейсмичности, для прогнозирования мест подготовки и энергии сильных неглубоких землетрясений.

Данные, приведенные на рисунках 4 и 5, могут свидетельствовать о подготовке довольно сильных событий в области между  $84^\circ$  и  $88,5^\circ$  Е. В работах [3, 4, 8, 9] показано, что непосредственно перед многими сильными землетрясениями, как правило, за период менее 10

лет наблюдается резкое увеличение скорости СТД в областях соответствующих кольцевых структур. Учитывая это обстоятельство, можно предполагать, что в ближайшие годы наиболее вероятно сильное сейсмическое событие с  $M \sim 7$  в области крупного кольца сейсмичности, представленного на рисунке 5а. При этом эпицентр такого события, скорее всего, будет находиться вблизи области касания мелкого кольца и глубокой полосы, между  $85,5^\circ$  и  $86,5^\circ$  Е (рисунок 5в). Следует подчеркнуть, что очаг прогнозируемого землетрясения может распространяться в сторону мегаполиса Урумчи, в котором проживает более 2.5 млн человек. В связи с этим целесообразно активизировать здесь геофизические и геохимические исследования с целью возможного среднесрочного прогноза сильного сейсмического события.

### 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. 2009а. 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. 2009б. 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. 2011а. 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. 2011б. 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, 2013а. Т. 14, № 1. – С. 5-15.
8. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся перед сильными и сильнейшими землетрясениями на северо-западе и востоке Тихого океана /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2013б. Вып. 2. – С.131-140.
9. 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.
10. 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.
11. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районах Эгейского и Мраморного морей: возможная подготовка сильного землетрясения к югу от Стамбула /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. 2016. № 12.

12. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в зоне субдукции Каскадия: возможная подготовка сильных землетрясений /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып. 4.
13. 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.
14. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе южной Калифорнии: возможная подготовка сильного землетрясения в окрестностях Лос-Анджелеса /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. 2017 (в печати).
15. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения S-волн в литосфере Восточного Тянь-Шаня и их связь с сейсмичностью /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2012. Вып. 1. С. 131-136.
16. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Восточного Тянь-Шаня и их связь с сейсмичностью /Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2012. Т.442. № 6. С.821-824.
17. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука. 1992. 229 с.
18. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T.Gold, S.Soter // Pure Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P. 492-530.
19. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР / Ред. Ю.К. Щукин, В.З. Рябой. М.: Наука. 1987. 238 с.