

УДК 550.34

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ:
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**¹Копничев Ю.Ф., ²Соколова И.Н.¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия²Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Использована новая методика выделения зон подготовки сильных землетрясений, основанная на анализе неоднородностей поля поглощения S-волн в литосфере, а также кольцевых структур сейсмичности. Самое сильное землетрясение с $M_w \sim 7.5$, возможно, готовится в районе Южного Тянь-Шаня, к востоку от очага Хаитского землетрясения 1949 г. ($M=7.4$). Еще одно событие меньшей энергии ($M_w \sim 7.0$) может произойти в районе Кыргызского хр. Более слабое землетрясение ($M_w \sim 6.5$), вероятно, готовится к северу от оз. Иссык-Куль.

В [1 - 4] показано, что во внутриконтинентальных районах перед многими сильными землетрясениями в течение нескольких десятков лет формируются кольцевые структуры сейсмичности. Такие структуры образуются эпицентрами событий с $M \geq M_p$, где M_p – пороговые значения магнитуд. Установлено, что длины больших осей колец сейсмичности L , а также величины M_p закономерно растут с увеличением энергии главных землетрясений [2 - 4]. Кроме того, получены данные, свидетельствующие о существенной зависимости параметров L и M_p от механизма очага готовящегося сильного сейсмического события [4]. Это позволяет прогнозировать места и энергию будущих сильных землетрясений по характеристикам кольцевых структур [5]. В данной статье с этой целью исследуются характеристики сейсмичности в районе Центрального Тянь-Шаня.

В рассматриваемом районе, ограниченном координатами 39 - 44° N, 70 - 81° E, начиная с 1885 г., произошло 13 землетрясений с $M \geq 6.9$, включая сильнейшие события 1889 г. ($M=8.3$), 1902 г. ($M=8.1$) и 1911 г. ($M=8.2$). Анализ сейсмичности показал, что в конце XIX и XX веках здесь наблюдались эпизоды группирования сильных землетрясений (в 1885 - 1911, 1938 - 1955 и 1974 - 1992 гг.) [6]. Длительность таких эпизодов варьировалась от 17 до 26 лет, они разделялись промежутками относительного затишья продолжительностью около 27 и 19 лет. После Сусамырского землетрясения 1992 г. ($M=7.3$) в районе Тянь-Шаня в течение 20 лет не было событий с $M > 6.6$. Учитывая этот факт, можно предполагать, что в настоящее время здесь идут активные процессы подготовки сильных землетрясений.

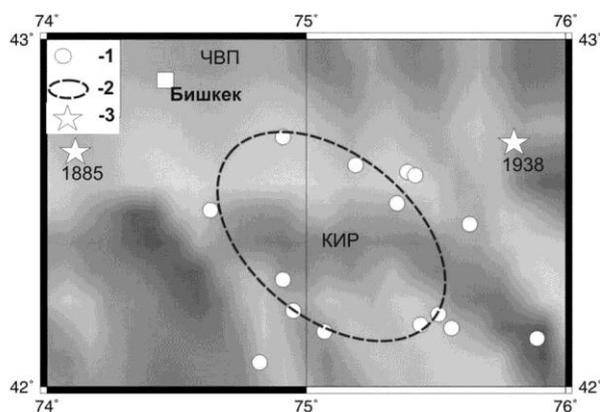
В [7 - 9] установлено, что очаговым зонам сильных землетрясений обычно соответствует высокое поглощение короткопериодных S-волн в литосфере. Данный эффект обусловлен концентрацией глубинных флюидов в нижней коре и верхах мантии таких районов. В связи с этим для более надежного выделения кольцевых структур, имеющих прогностическое значение, характеристики сейсмичности рассмотрены, в первую очередь, в зонах, с которыми

связаны аномалии поля поглощения S-волн. Это позволяет с большей вероятностью исключить из анализа “ложные” кольцевые структуры, не связанные с подготовкой сильных землетрясений. В [7] представлена карта поля поглощения короткопериодных S-волн в литосфере Тянь-Шаня, которая построена путем анализа записей местных землетрясений, зарегистрированных станцией MKAR (Маканчи). Использован метод, основанный на анализе отношений амплитуд волн S_n и P_n , распространяющихся в верхах мантии. Из [7] следует, что в районе Кыргызского хр. и прилегающих участков Чуйской и Илийской впадин выделяется обширная область высокого поглощения, расположенная в основном между 73° и 76° E. Аномалии меньшего масштаба обнаружены на границе Джунгарии с Илийской впадиной (между 77° и 78° E), к востоку и северо-востоку от оз. Иссык-Куль (в области 78° E), а также на границе Тянь-Шаня и Памира (между 71.5° и 73° E). Характеристики сейсмичности в зонах высокого поглощения и их близких окрестностях рассмотрены в настоящей статье исходя из вышеприведенных данных. Анализ сейсмичности проведен за период 01.01.1973 - 01.01.2012 гг. Из каталогов NEIC (National Event Information Center - каталог Геологической службы США) отобраны землетрясения с магнитудами $M \geq M_p$ в диапазонах глубин 0 - 33 и 34 - 70 км (по аналогии с зонами субдукции [5, 11, 12]). На рисунке 1 представлены данные о сейсмичности в восточной части Кыргызского хр. и его окрестностях (район Северного Тянь-Шаня, ограниченный координатами 42 - 43° N, 74 - 76° E).

Из рисунка 1 следует, что к 01.01.2012 г. в пределах рассматриваемой территории на глубинах 0 - 33 км сформировалась довольно крупная кольцевая структура с пороговой величиной магнитуды $M_p=4.5$. Кольцо сейсмичности имеет длину большей оси $L \sim 85$ км, оно вытянуто в направлении на северо-запад и расположено между очаговыми зонами Беловодского (1885 г., $M=6.9$) и Кемино-Чуйского (1938 г., $M=6.9$) землетрясений. Следует отметить, что последнее сильное событие ($M \sim 6.5$) произошло в данном районе еще в XV в; очаговой

зоне этого землетрясения соответствовала большая плотность палеосейсмодислокаций [10]. Построен и проанализирован график зависимости магнитуд событий, формирующих кольцевую структуру, от времени $M(T)$. График имеет U-образную форму, при этом скорость сеймотектонической деформации (СТД) была наибольшей в 1973 - 1978 и 2004 - 2010 гг. Максимальная магнитуда землетрясений в районе кольца сейсмичности - $M_{max}=5.1$.

На рисунке 2 показана область Илийской впадины и хр. Заилийского и Кунгей Алатау, ограниченная координатами $42.5 - 44^\circ N$, $76.5 - 78.5^\circ E$. Как следует из рисунка 2, начиная с 1983 г. в диапазоне глубин 0 - 33 км здесь проявилась кольцевая структура с относительно низкой величиной M_p (3.7), вытянутая в северо-западном направлении ($L \sim 85$ км). Внутри кольца сейсмичности попадает восточная часть Заилийского хр., небольшой участок хр. Кунгей Алатау, а также прилегающий участок Илийской впадины. В этом районе с конца XIX в. произошло несколько сильных землетрясений. К западу от кольца сейсмичности расположена очаговая зона Верненского землетрясения 1887 г. ($M=7.3$) а к юго-востоку – зоны Жаланаш-Тюпского (1978 г., $M=7.0$) и Байсорунского (1990, $M=6.4$) землетрясений. Южная часть кольцевой структуры попадает в очаговую зону сильнейшего Кеминского землетрясения 1911 г. ($M=8.2$). Зависимость $M(T)$, как и в предыдущем случае, имеет U-образную форму. Наибольшие скорости СТД отмечены в 1983 - 1988 и 2007 - 2011 гг., величина M_{max} равнялась 5.3.

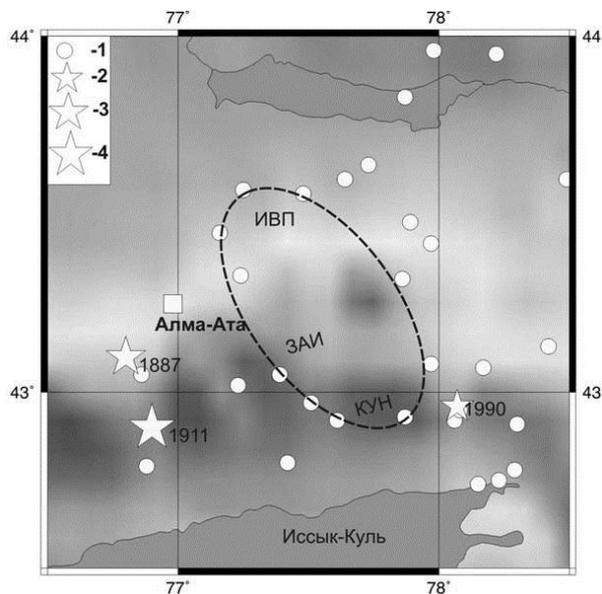


Эпицентры землетрясений: 1 – $4.5 \leq M \leq 5.1$, 3 – $M=6.9$ (указаны годы событий); 2 – кольцо сейсмичности. Главные хребты (на рисунках 1 - 3): КИР – Кыргызский, ЗАИ – Заилийский, КУН – Кунгей Алатау, АЛА – Алайский, ЗАА – Заалайский. Впадины: ЧВП – Чуйская, ИВП – Илийская, ФВП – Ферганская

Рисунок 1. Северный Тянь-Шань (восточная часть Кыргызско-го хр.). Кольцевая структура сейсмичности (глубины 0 - 33 км)

Следует отметить, что в рассмотренных областях сформировались только “мелкие” кольца сейсмичности; “глубокие” ($h=34 - 70$ км), которые практически всегда формируются перед сильными и сильнейшими землетрясениями с гипоцентрами на глубинах до 40 - 45 км в зонах субдукции [11 - 13], здесь не проявились даже для достаточно низких величин M_p .

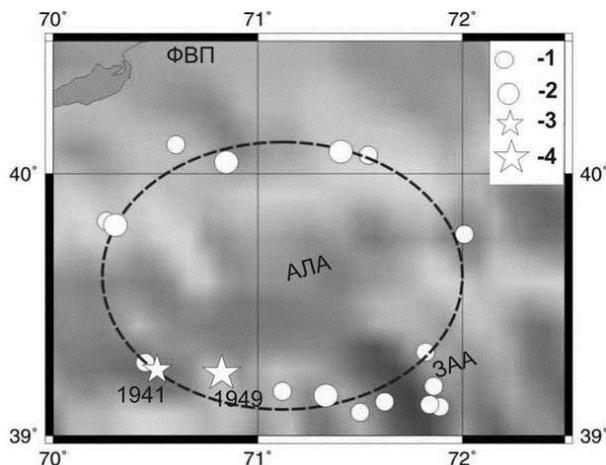
На рисунке 3 показаны характеристики сейсмичности в районе Южного Тянь-Шаня, ограниченном координатами $39.0 - 40.5^\circ N$, $70.0 - 72.5^\circ E$. Здесь начиная с 1976 г. сформировалась крупная неглубокая кольцевая структура с высоким пороговым значением магнитуды ($M_p=5.2$), вытянутая в субширотном направлении ($L \sim 150$ км). Внутри кольца сейсмичности попадает Алайский хр., его юго-восточная граница проходит по западной окраине Заалайского хр. Из рисунка 4 следует, что к юго-востоку от мелкого кольца также образовалось небольшое глубокое ($M_p=4.0$) с длиной большой оси $l \sim 40$ км. Кольцевые структуры пересекаются в области между 71.7° и $72.0^\circ E$. Следует отметить, что на южной границе мелкого кольца за несколько десятилетий до начала его формирования произошли два достаточно сильных землетрясения: Гармское 1941 г. ($M=6.4$) и Хаитское 1949 г. ($M=7.4$). Интересно также, что к областям пересечения мелкого и глубокого колец сейсмичности приурочена зона высокой плотности палеодислокаций, сохранившаяся после сильного землетрясения, произошедшего в голоцене [10].



Эпицентры землетрясений: 1 – $3.7 \leq M \leq 5.3$; 2 – $M=6.4$; 3 – $M=7.3$; 4 – $M=8.2$

Рисунок 2. Северный Тянь-Шань (область Илийской впадины и хр. Заилийского и Кунгей Алатау). Кольцевая структура сейсмичности (глубины 0 - 33 км)

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ:
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**



Эпицентры землетрясений: 1 – $5.2 \leq M < 6.0$;
2 – $6.0 \leq M \leq 6.2$; 3 – $M=6.4$; 4 – $M=7.4$

*Рисунок 3. Южный Тянь-Шань.
Мелкая кольцевая структура сейсмичности*

График $M(T)$ для мелкого кольца, как и в предыдущих случаях, имеет U-образную форму. Наибольшие скорости СТД наблюдались в 1976 - 1984 и 2002 - 2011 гг., когда произошли 4 события с $M=6.0 - 6.2$.

На основании полученных данных оценены магнитуды сильных землетрясений, которые могут произойти в областях кольцевых структур. При этом использованы корреляционные зависимости размеров кольцевых структур и пороговых величин M_p от магнитуд главных событий M_w для внутриконтинентальных землетрясений с разными механизмами очагов [4]. В [14] показано, что сильные землетрясения в районе Тянь-Шаня имеют механизмы типа взброса или взбрососдвига. Для таких типов механизмов в [4] получены следующие зависимости:

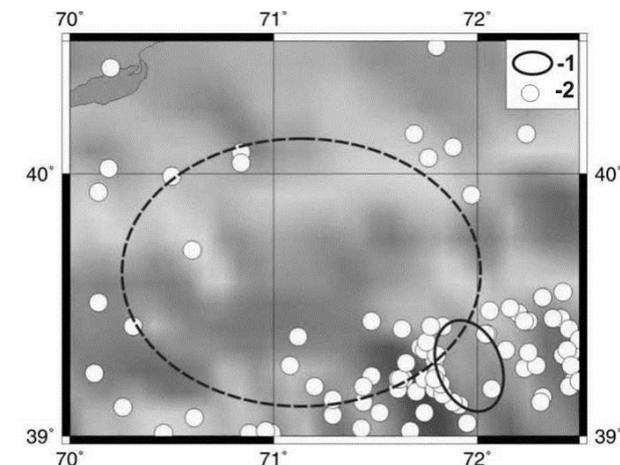
$$\lg L(\text{км}) \sim 0.45M_w - 1.11, \quad r = 0.85, \quad (1)$$

$$M_p \sim 0.73M_w - 0.92, \quad r = 0.77, \quad (2)$$

где r – коэффициент корреляции.

Оценки магнитуд возможных сильных землетрясений в трех рассматриваемых областях с использованием зависимостей (1) и (2) приведены в таблице.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Центрального Тянь-Шаня в областях высокого поглощения S-волн в нижней коре и верхах мантии или рядом с ними к началу 2012 г. сформировались три достаточно крупные кольцевые структуры сейсмичности. Как отмечено в [5, 12, 13], появление колец сейсмичности отражает процессы самооргани-



1 - кольцо сейсмичности; 2 - эпицентры землетрясений с $4.0 \leq M \leq 5.3$

*Рисунок 4. Южный Тянь-Шань.
Глубокая кольцевая структура сейсмичности*

зации геологических структур, обеспечивающие подъем глубинных флюидов, которые и обуславливают высокое поглощение поперечных волн. Образование нескольких крупных кольцевых структур в районе Центрального Тянь-Шаня, возможно, связано с подготовкой новой серии сильных землетрясений после эпизода относительного затишья, начавшегося после Сусамырского землетрясения.

Как следует из таблицы, в районе Северного Тянь-Шаня, вероятно, готовятся два землетрясения с $M_w \sim 7.1$ и 6.5 . При этом событие, соответствующее кольцевой структуре, которая расположена в районе Кыргызского хр., скорее всего, может произойти на ее северной границе. Именно в этой области наблюдается высокая плотность палеодислокаций, сохранившихся после землетрясения с $M \sim 6.5$, которое произошло несколько сотен лет назад [6, 10].

Сильное землетрясение в области кольцевой структуры к северу от оз. Иссык-Куль также может произойти в зоне высокой плотности палеодислокаций, приуроченной к области Заилийского хр. [10] (их возраст пока неизвестен). Другая возможность – область хр. Кунгей Алатау, к западу от очага Байсорунского землетрясения 1990 г. Эпицентр сильнейшего события ($M_w = 7.8 \pm 0.6$), которое ожидается в районе Южного Тянь-Шаня, скорее всего, должен располагаться вблизи областей пересечения мелкой и глубокой кольцевых структур, как это обычно наблюдается в зонах субдукции [5, 11, 12].

Таблица. Параметры неглубоких кольцевых структур в районе Центрального Тянь-Шаня

Координаты		L, км	M _p	M _{max}	ΔT, лет	M _w	Район
с.ш.	в.д.						
42.0-43.0	74.0-76.0	85	4.5	5.1	38	7.1±0.6	Сев. Тянь-Шань
42.5-44.0	76.5-78.5	85	3.7	5.3	28	6.5±0.2	Сев. Тянь-Шань
39.0-40.5	70.0-72.5	150	5.2	6.2	35	7.8±0.6	Юж. Тянь-Шань

Примечание: ΔT – текущая длительность формирования кольцевой структуры.

Очаговая зона такого события может поместиться между очагами Хаитского и Дараут-Курганского (1978, $M=6.8$) землетрясений. Здесь также выделена зона высокой плотности палеодислокаций, возраст которых неизвестен [10].

Из таблицы следует, что текущее (на начало 2012 г.) время формирования рассматриваемых неглубоких кольцевых структур ΔT варьируется от 28 до 38 лет. Существенно, что оценки величин ΔT для двух колец сейсмичности в районах Северного и Южного Тянь-Шаня (35 - 38 лет), близки к верхней границе вариаций этого параметра, известных в настоящее время (около 40 лет [4, 5]). Отсюда может следовать, что в ближайшие годы соответствующие этим кольцевым структурам события наиболее вероятны. В то же время менее вероятно сильное землетрясение в области к северу от оз. Иссык-Куль, для которого величина ΔT составляет 28 лет. Отметим, что характерная U-образная форма графиков $M(T)$ в областях кольцевых структур наблюда-

лась перед несколькими сильными и сильнейшими землетрясениями, произошедшими после 2000 г. [4, 5]. Возможно, что такая форма графиков также может служить прогностическим признаком.

Таким образом, анализ характеристик колец сейсмичности, выделенных в зонах высокого поглощения S-волн в районе Центрального Тянь-Шаня, позволяет прогнозировать сильные землетрясения, которые могут произойти здесь в ближайшие годы. Наибольшую опасность будут представлять события, которые, по нашим данным, готовятся в районе Северного Тянь-Шаня, поскольку их очаги могут находиться на сравнительно небольших расстояниях от крупных городов – столицы Кыргызстана Бишкека и южной столицы Казахстана - мегаполиса Алматы. Предложенный метод может быть использован для среднесрочного прогноза сильных сейсмических событий в других внутриконтинентальных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев, Г. А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. - 313 с.
2. Копничев, Ю. Ф. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань) / Ю. Ф. Копничев, Н. Н. Михайлова // ДАН, 2000. - Т. 373, № 1. - С. 93 - 97.
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, формирующиеся перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов в континентальных районах / Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова // Геофизические исследования, 2012. - Т. 13. (в печати).
5. 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 // ДАН. 2011- Т. 440, № 2. - С. 246 - 249.
6. Кондорская, Н. В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР / Н. В. Кондорская, Н. В. Шебалин // М.: Наука, 1977. - 535 с.
7. Копничев, Ю. Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в литосфере Тянь-Шаня и Джунгарии и их связь с сейсмичностью / Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова // ДАН, 2010. - Т. , № 6- С. 808 - 812.
8. Копничев, Ю. Ф. Картирование поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхах мантии Алтая / Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2010. - Вып. 1. - С. 93 - 99.
9. Копничев, Ю. Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в литосфере Центральной и южной Азии и их связь с сейсмичностью / Ю. Ф. Копничев, О. К. Кунакова, И. Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2012. - Вып. 1. - С. 147 - 152.
10. Крестников, В. Н. Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня / В. Н. Крестников, Т. П. Белоусов, В. И. Ермилин и др. - М.: Наука, 1979. - 115 с.
11. Копничев, Ю. Ф. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции / Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова // ДАН, 2009а. - Т. 425, № 4. - С. 539 - 542.
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. Характеристики сейсмичности в разных диапазонах глубин в регионе Южной Америки / Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2010 - Вып. 1. - С. 100 - 110.
14. Tapponnier, P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia and Baykal regions / P. Tapponnier, P. Molnar // J. Geophys. Res., 1979. - V. 84, P. - 3425 - 3459.