

УДК 550.344 + 550.34

# НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ S-ВОЛН И КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В ПАМИРО-ГИНДУКУШСКОМ РЕГИОНЕ: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ КОРОВЫХ 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*

Выполнено картирование поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Памиро-Гиндукушского региона. Использован метод, основанный на анализе отношений амплитуд волн  $S_n$  и  $P_n$ . Выделены области высокого поглощения в районах Афгано-Таджикской впадины, центрального Гиндукуша и Северного Памира. В этих районах, начиная с 1973 г. сформировались кольцевые структуры сейсмичности в диапазонах глубин 0 - 33 и 34 - 70 км. Такие структуры обычно формируются перед сильными землетрясениями в зонах субдукции. По характеристикам кольцевых структур оценены магнитуды готовящихся сильных землетрясений в указанных районах. По аналогии с зонами субдукции предполагается, что кольцевые структуры образуются в результате миграции глубинных флюидов.

В последние годы установлено, что перед многими сильными внутриконтинентальными землетрясениями в литосфере формируются зоны высокого содержания флюидов [1 - 3]. Таким зонам соответствуют области сильного поглощения короткопериодных поперечных волн в нижней коре и верхах мантии [1 - 6]; кроме того, с ними, как правило, связано формирование кольцевых структур сейсмичности [2, 3, 7, 8]. В связи с этим данные о поглощении S-волн, а также о кольцах сейсмичности могут быть использованы для выделения областей подготовки сильных коровых землетрясений. Исследования были выполнены, в частности, для районов Тянь-Шаня [4, 7] и Прибайкалья [9, 10]. Существенно, что одновременное использование данных о характеристиках поля поглощения и кольцевых структурах позволяет более надежно выделять области возможной подготовки сильных коровых землетрясений, поскольку при анализе одних характеристик сейсмичности возможно оконтуривание “ложных” колец сейсмичности, так же как и ложных зон затишья, не связанных с очагами готовящихся сильных сейсмических событий. Кроме того, по параметрам кольцевых структур можно оценивать магнитуды готовящихся сильных землетрясений, основываясь на данных, полученных в работах [2, 11].

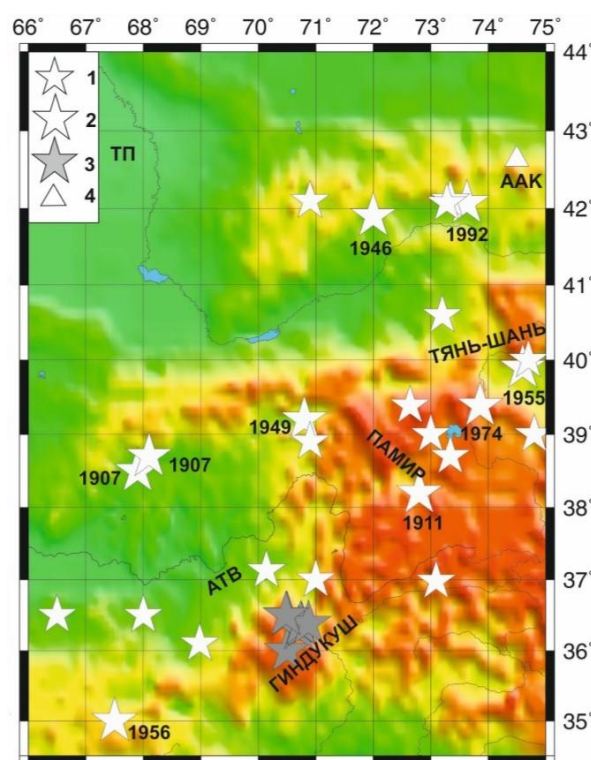
Ниже описываются результаты анализа характеристик полей поглощения S-волн и сейсмичности в регионе Памиро-Гиндукуша.

## ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

На рисунке 1 показаны эпицентры сильных коровых землетрясений ( $M \geq 6.5$ ), произошедших в рассматриваемом регионе в 1900 - 2014 гг. Из рисунка следует, что за более чем 110-летний период в районах Памира и Гиндукуша произошло всего три сильных события с  $M \geq 7.0$  (Сарезское землетрясение 1911 г. с  $M=7.4$ , Афганское 1956 г. с  $M=7.2$  и Маркансуйское 1974 г. с  $M=7.3$ ). Еще шесть землетрясений такой же силы, отмеченные на карте, относятся

к районам Западного и Центрального Тянь-Шаня. Существенно, что уровень коровой сейсмичности в регионе Памиро-Гиндукуша значительно ниже, чем в районе Центрального Тянь-Шаня [5].

Следует отметить, что в рассматриваемом регионе находится крупнейшая в Центральной Азии зона глубокофокусной сейсмичности, где достаточно часто происходят сильные землетрясения с  $M \geq 7.0$  на глубинах ~100 - 300 км (рисунок 1) [12].



ТП – Туранская плита; АТВ – Афгано-Таджикская впадина. Эпицентры сильных землетрясений (с 1900 г.): 1 –  $M=6.5 - 6.9$ ; 2 –  $M \geq 7.0$  (указаны годы этих событий); 3 – эпицентры сильных глубокофокусных землетрясений ( $M \geq 7.0$ ); 4 – сейсмическая станция

Рисунок 1. Карта района исследований

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Картирование поля поглощения** проводилось путем анализа отношений максимальных амплитуд в волнах Sn и Pn (параметра  $Ig(Asn/Arn)$ , который мы для краткости будем обозначать как Sn/Pn). Ранее было установлено, что группа Sn формируется поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в верхней мантии [13]. Путем анализа записей S-коды близких землетрясений показано, что в сейсмически активных районах Центральной Азии наиболее сильное поглощение короткопериодных S-волн наблюдается, как правило, в нижней коре и верхах мантии, в слое, расположенном на глубинах ~30 - 70 км [14]. Оценки показывают, что для источников, расположенных на нулевой глубине, снос лучей в этом слое для группы Sn составляет ~30 - 100 км. В этом случае основное поглощение S-волн приходится на самые верхи мантии. Параметр Sn/Pn использовался для нормировки, так как волны Sn и Pn распространяются близкими трассами. Для учета вариаций диаграммы направленности излучения в очагах проводилось осреднение величин Sn/Pn в небольших областях с линейными размерами, как правило, несколько десятков км. Поскольку поглощение очень сильно зависит от частоты, при анализе записей использовалась узкополосная частотная фильтрация (фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы [15]).

**Выделение кольцевых структур сейсмичности.** Анализ характеристик сейсмичности проведен, как и ранее [2, 3, 7, 8, 11], для двух диапазонов глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км. Использовались каталоги землетрясений NEIC за период с 01.01.1973 по 01.10.2014 гг. Для выделения кольцевых структур обработаны данные о событиях, которые произошли в районе, ограниченном координатами 35.5° - 39.5° N, 68° - 75° E. Кольца сейсмичности характеризовались пороговыми значениями магнитуд ( $M_{p1}$  и  $M_{p2}$ ), а также длинами больших осей ( $L$  и  $l$ ), соответственно для верхнего и нижнего диапазонов глубин.

#### АНАЛИЗ ДАННЫХ

**Картирование поля поглощения.** На рисунке 2-а приведена зависимость параметра Sn/Pn от эпицентрального расстояния  $\Delta$ . Несмотря на осреднение данных, наблюдается очень большой разброс величин Sn/Pn (от 0.79 до -0.33). В целом значения Sn/Pn уменьшаются с расстоянием, как и для подавляющего большинства других континентальных районов [4, 9], уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$Sn/Pn = 0.58 - 0.00053\Delta \text{ (км)} \quad (1)$$

На рисунке 2-б для сравнения приведены линии регрессии для аналогичных зависимостей, полученных в других районах Центральной Азии [9].

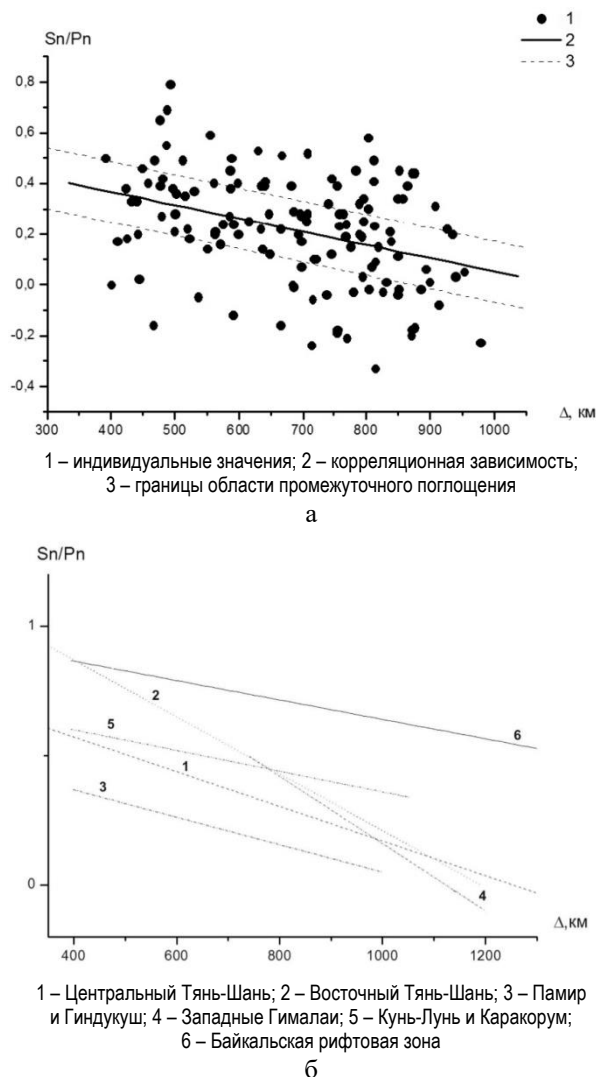


Рисунок 2. Корреляционные зависимости параметра Sn/Pn от эпицентрального расстояния для:  
а – Памиро-Гиндукушского региона;  
б – разных районов Центральной Азии

Видно, что в диапазоне расстояний 400 - 1000 км средний уровень величин Sn/Pn в Памиро-Гиндукушском регионе значительно ниже, чем в других районах. На рисунке 3 представлена карта поля поглощения S-волн в литосфере рассматриваемого региона [16].

На карте показаны значения параметра Sn/Pn с учетом поправки за эпицентрального расстояния (отклонения от средней зависимости (1)). Все значения параметра разбиты на три группы по уровню, соответствующему пониженному ( $\Delta Sn/Pn > 0.12$ ), промежуточному ( $-0.12 \leq \Delta Sn/Pn \leq 0.12$ ) и повышенному ( $\Delta Sn/Pn < -0.12$ ) поглощению. Из рисунка 3 следует, что поле поглощения короткопериодных поперечных волн в исследуемом регионе характеризуется большой неоднородностью. Наиболее сильное поглощение наблюдается в южной части региона.

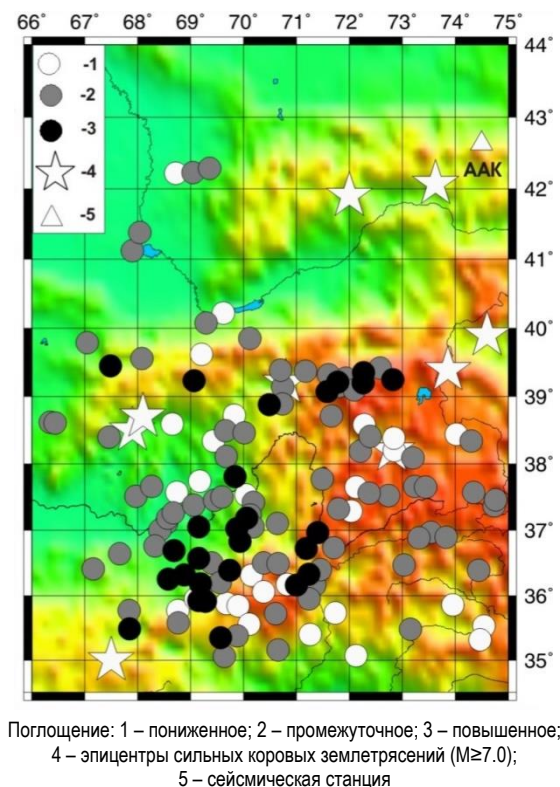


Рисунок 3. Неоднородности поля поглощения в изучаемом регионе

Выделяется яркая аномалия низких величин  $S_n/P_n$  в районе Афгано-Таджикской впадины, примыкающей к гиндукушской зоне глубокофокусной сейсмичности. Узкая область высокого поглощения, простирающаяся в северо-северо-восточном направлении, наблюдается на восточной границе гиндукушской зоны. Еще одно "пятно" сильного поглощения, ориентированное в субширотном направлении, выделено на границе Памира и Тянь-Шаня (к югу от Алайского хр.). Самая большая область промежуточного поглощения находится в районе Южного Памира и к югу от него.

Для сравнения рассмотрены характеристики поля поглощения в районах Западного Тянь-Шаня и востока Туранской плиты (по небольшому числу данных). Из рисунка 3 видно, что поглощение здесь относительно слабое, выделяются только два маленьких пятна низких величин  $S_n/P_n$ .

**Кольцевые структуры сейсмичности.** Исходя из полученных данных, рассмотрены характеристики сейсмичности в относительно больших областях высокого поглощения. На рисунке 4-а представлены данные о сейсмичности в районе Афгано-Таджикской впадины (в диапазоне глубин 0 - 33 км). Четко выделяется кольцевая структура с пороговым значением  $M_{p1}=5.1$  и длиной большой оси  $L \sim 180$  км, вытянутая в северо-восточном направлении, которая сформировалась в 1973 - 2008 гг. На рисунке 4-б показана зависимость магнитуд событий в области кольца сейсмичности от времени. Наблюдается су-

щественное увеличение скорости сейсмоструктурной деформации (СТД) в 1998 - 2008 гг., наибольшая магнитуда  $M_{max}$  равна 5.7.

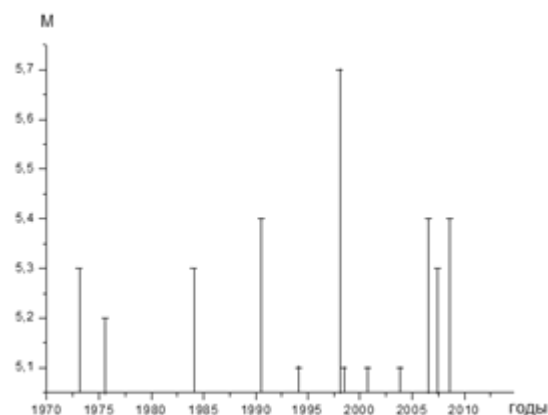
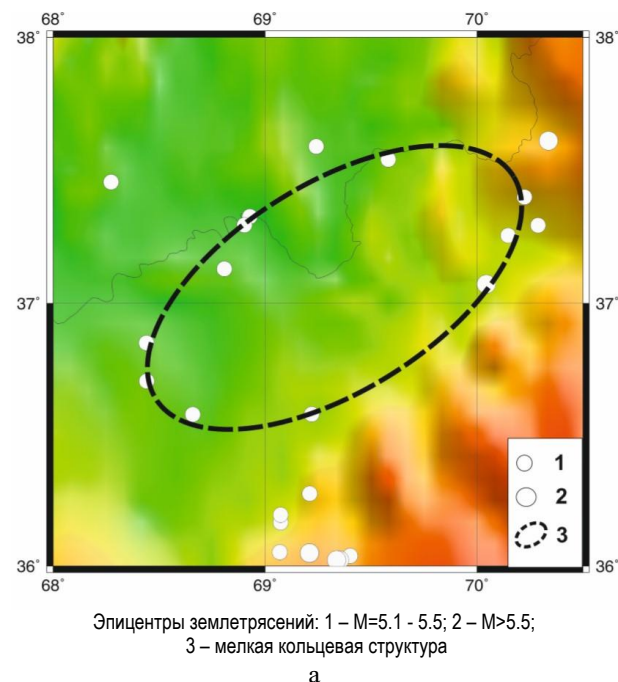


Рисунок 4. Район Афгано-Таджикской впадины: а – характеристика сейсмичности (глубины 0 - 33 км); б – зависимость магнитуд событий от времени в области мелкой кольцевой структуры

Рисунок 5-а иллюстрирует характеристики сейсмичности в нижнем диапазоне глубин. Здесь сформировалась кольцевая структура ( $M_{p2}=4.4$ ,  $l \sim 65$  км), ориентированная в северо-западном направлении. Из рисунка 5-б следует, что в данном случае наблюдался рост скорости СТД до 1984 г., далее она падала до 2004 г. Последнее относительно сильное событие ( $M=5.3$ ) произошло в 2011 г. Наибольшая магнитуда ( $M_{max}=6.4$ ) соответствует землетрясению 1984 г. Мелкое и глубокое кольца пересекаются в областях с координатами  $\sim 69.2^\circ$  и  $69.5^\circ$  Е.

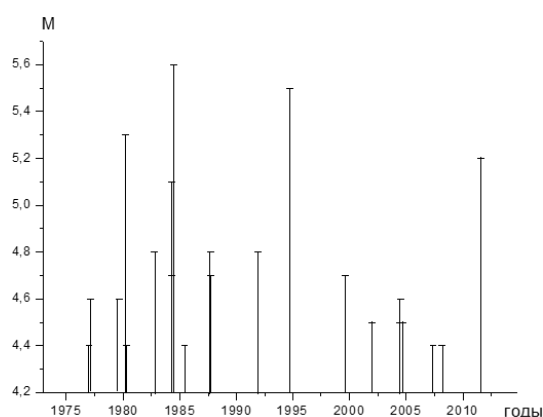
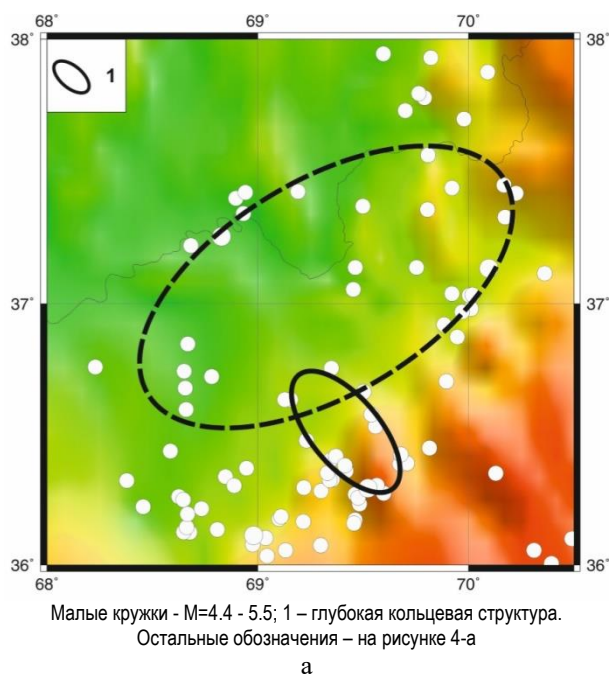


Рисунок 5. Район Афгано-Таджикской впадины: а – характеристика сейсмичности (глубины 34 - 70 км); б – зависимость магнитуд событий от времени в области глубокой кольцевой структуры

Данные о сейсмичности в районе центрального Гиндукуша представлены на рисунках 6-а и 6-б. Из рисунка 6а видно, что здесь в 1983 -1994 гг. сформировалось небольшое мелкое кольцо сейсмичности ( $M_{п1}=4.5$ ,  $L \sim 55$  км), вытянутое в субмеридиональном направлении. Полученная зависимость  $M(T)$  имеет асимметричный вид, наибольшая скорость СТД наблюдалась в 1983 - 1989 гг. (рисунок 6-б). Максимальная магнитуда  $M_{max}$  равна 5.0.

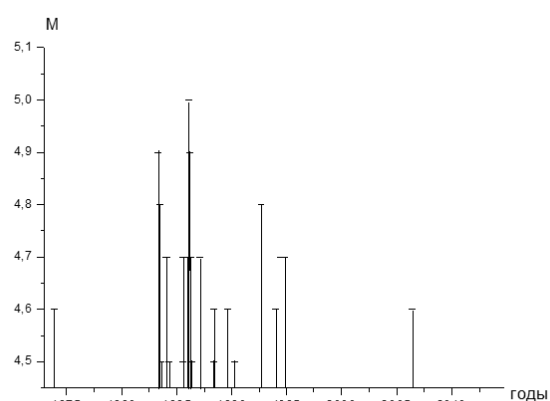
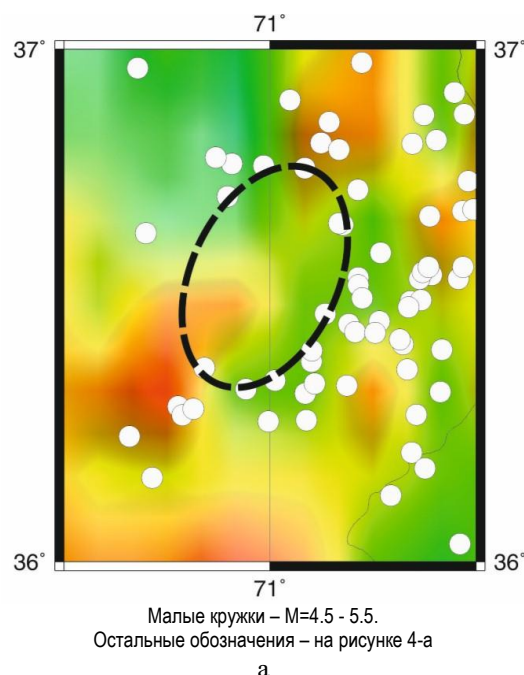
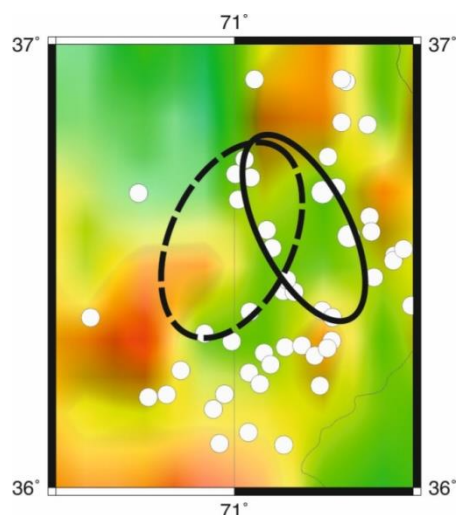


Рисунок 6. Район центрального Гиндукуша: а – характеристики сейсмичности (глубины 0 - 33 км); б – зависимость магнитуд событий от времени в области мелкой кольцевой структуры

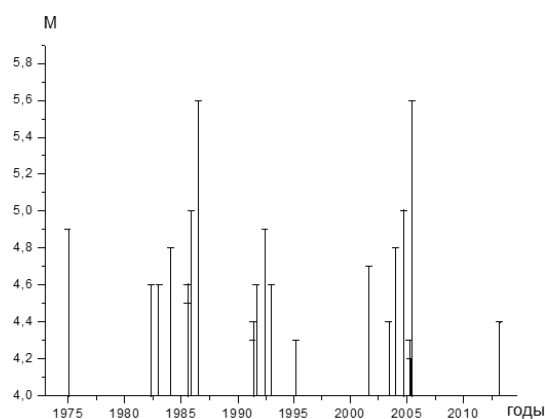
В диапазоне глубин 34 - 70 км в 1974 - 2013 гг. также сформировалась кольцевая структура ( $M_{п2}=4.2$ ,  $l \sim 50$  км), ориентированная в направлении на северо-северо-запад (рисунок 7-а). В отличие от мелкого кольца, зависимость  $M(T)$  имеет U-образную форму, наибольшие скорости СТД наблюдались в 1982 - 1986 и 2001 - 2013 гг. (рисунок 7-б). Самые сильные землетрясения имели магнитуду 5.6 (в 1986 и 2005 гг.). Мелкое и глубокое кольца пересекаются в области между  $71.0^\circ$  и  $71.2^\circ$  Е.





Малые кружки –  $M=4.2 - 5.5$ .  
Остальные обозначения – на рисунке 4-а

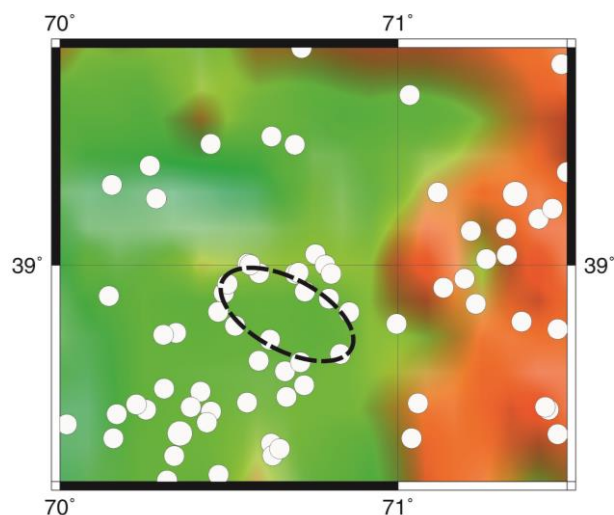
а



б

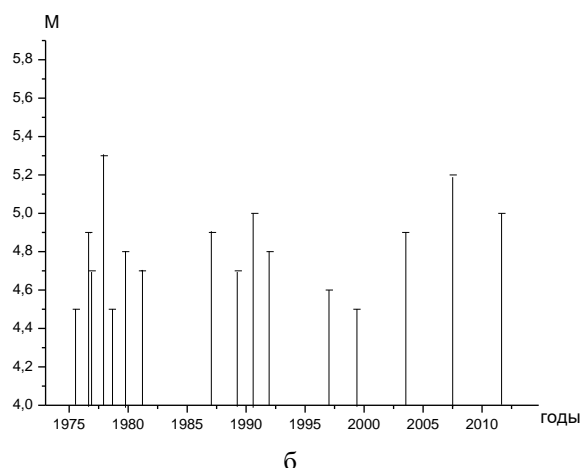
Рисунок 7. Район центрального Гиндукуша:  
а – характеристики сейсмичности (глубины 34 - 70 км);  
б – зависимость магнитуд событий от времени  
в области глубокой кольцевой структуры

На рисунке 8-а показаны характеристики сейсмичности в районе Северного Памира. Видно, что здесь в 1975-2011 гг. образовалось небольшое мелкое кольцо, вытянутое в запад-северо-западном направлении ( $M_{п1}=4.5$ ,  $L \sim 35$  км). Зависимость магнитуд событий от времени имеет U-образную форму, наибольшие скорости СТД зарегистрированы в 1975 - 1981 и 2003 - 2011 гг. (рисунок 8-б). Самое сильное землетрясение имело магнитуду 5.3 (1977 г.).



Малые кружки –  $M=4.5 - 5.5$ .  
Остальные обозначения – на рисунке 4-а

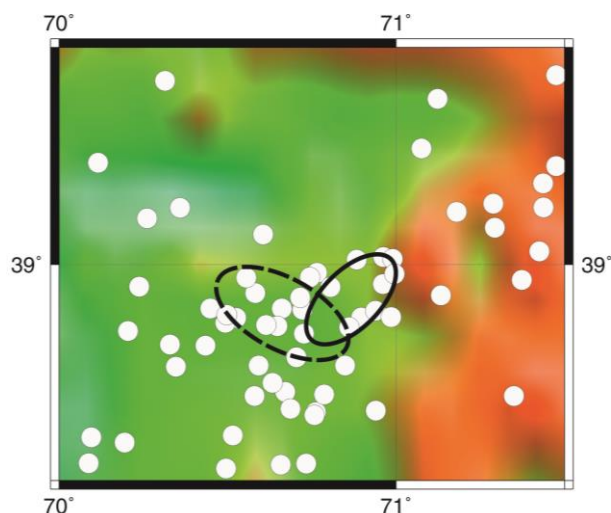
а



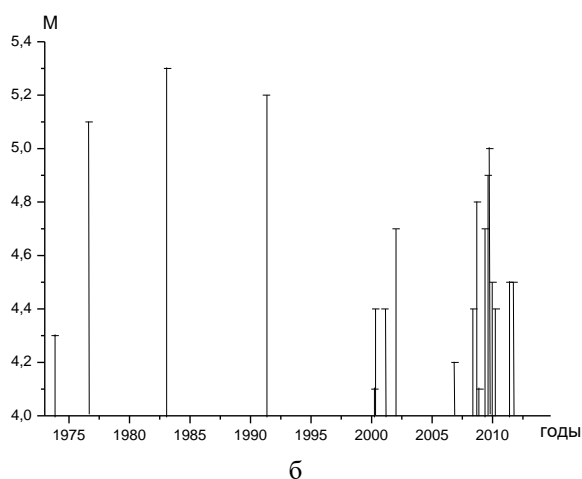
б

Рисунок 8. Район Северного Памира:  
а – характеристики сейсмичности (глубины 0 - 33 км);  
б – зависимость магнитуд событий от времени в  
области мелкой кольцевой структуры

На рисунке 9-а представлены характеристики сейсмичности в нижнем диапазоне глубин. Здесь в 1973-2011 гг. сформировалась малая кольцевая структура, ориентированная в северо-восточном направлении ( $M_{п2}=4.1$ ,  $l \sim 30$  км). Как и для мелкого кольца, график  $M(T)$  имеет U-образный вид, самые высокие скорости СТД наблюдались в 1976 - 1991 и 2006 - 2011 гг. (рисунок 9-б). Наибольшая магнитуда ( $M=5.3$ ) соответствует землетрясению, произошедшему в 1983 г. Кольца сейсмичности пересекаются в области между  $38.8^\circ$  и  $39.0^\circ$  N.



Малые кружки –  $M=4.1 - 5.5$ .  
Остальные обозначения – на рисунке 4-а  
а



б

Рисунок 9. Район Северного Памира:  
а – характеристики сейсмичности (глубины 34 - 70 км);  
б – зависимость магнитуд событий от времени  
в области глубокой кольцевой структуры

Оценки магнитуд возможных сильных землетрясений сделаны на основании результатов [8], в которой получены корреляционные зависимости параметров  $L$  и  $M_{p1}$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с различными типами подвижек в очагах. Для взбросов и взбрососдвигов, которые преобладают в рассматриваемом регионе [17], такие зависимости имеют вид:

$$\lg L \text{ (км)} = -1.13 + 0.45 M_w, r=0.85 \quad (2)$$

$$M_{p1} = -0.92 + 0.73 M_w, r=0.77, \quad (3)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

По формулам (2) и (3) получены следующие оценки величин  $M_w$  (таблица 1):

Таблица. Оценки величин  $M_w$  для возможных сильных землетрясений в регионе Памиро-Гиндукуша

° N	° E	$M_{p1}$	$L$ , км	$M_w(M_{p1})$	$M_w(L)$	$M_w$
36-38	68.0-70.5	5.1	180	8.2	7.5	$7.8 \pm 0.4$
36-37	70.5-71.5	4.5	55	7.4	6.4	$6.9 \pm 0.5$
38.5-39.0	70.5-71.5	4.5	35	7.4	5.9	$6.7 \pm 0.8$

Отметим, что во всех трех случаях получены значительно более высокие оценки  $M_w(M_{p1})$  по сравнению с  $M_w(L)$ .

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Из рисунка 2-б следует, что поглощение S-волн в верхах мантии Памира и Гиндукуша значительно сильнее, чем в других районах Центральной Азии. Это свидетельствует о большем содержании жидкой фазы в литосфере Памиро-Гиндукушского региона. Поскольку в этих районах отсутствуют проявления молодого вулканизма [18], можно сделать вывод, что сильное поглощение поперечных волн связано не с присутствием частично расплавленного материала, а с относительно высоким содержанием глубинных флюидов. Большее содержание жидкой фазы приводит к понижению вязкости литосферы и, следовательно, к увеличению скорости ее деформации, основной причиной которой служит смещение Индийской плиты на север относительно Азии [19]. Полученные данные позволяют объяснить, почему литосфера Памира и Гиндукуша деформируется как единое целое [20], в отличие от более вязкой литосферы Центрального Тянь-Шаня, деформация которой происходит в основном дискретно, в результате скольжения по разломным зонам [21].

Из рисунка 3 видно, что самые большие (по площади) области высокого поглощения расположены в районах Афгано-Таджикской впадины, Гиндукуша и Северного Памира. В этих районах нами выделены кольцевые структуры сейсмичности. В [2, 3] показано, что появление таких структур связано с миграцией глубинных флюидов. Формирование колец сейсмичности служит отражением процессов самоорганизации геологических систем [22], в конечном счете ведущих к уменьшению потенциальной энергии Земли.

В Памиро-Гиндукушском регионе, в отличие от большинства континентальных районов, выделены кольцевые структуры в двух диапазонах глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км. Аналогичные данные получены для подавляющего большинства сильных и сильнейших землетрясений в различных зонах субдукции [3, 11, 23]. В то же время во внутриконтинентальных районах кольца сейсмичности формируются, как правило, только в верхнем диапазоне глубин [2, 7, 8]. Можно полагать, что это связано с большей мощностью двухфазного слоя в регионе Памиро-Гиндукуша и в зонах субдукции по сравнению с большинством континентальных районов. Отметим, что в зонах субдукции флюиды выделяются в результате де-

гидратации материала погружающихся океанических плит [24]. В последнее время получены указания на то, что аналогичные процессы могут наблюдаться и в верхах мантии в гиндукушской зоне глубокофокусной сейсмичности [12].

В [7, 11, 23] показано, что в зонах субдукции эпицентры сильных и сильнейших землетрясений, как правило, располагаются вблизи областей пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких колец сейсмичности. Скорее всего, это связано с наибольшей мощностью двухфазных слоев в таких областях, на кровле которых наблюдается концентрация напряжений (известно, что величина избыточных напряжений пропорциональна толщине насыщенного флюидами слоя [25]). Указанный эффект облегчает проведение исследований по среднесрочному прогнозу землетрясений в тех областях, где выделяются пары кольцевых структур [7, 11, 23], в том числе и в Памиро-Гиндукушском регионе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в верхней мантии сейсмически активных и слабосейсмичных районов / Ю.Ф. Копничев, Д.Д. Гордиенко, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2009. – № 1. – С. 49 - 64.
2. 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.
3. 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.
4. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных сейсмических волн в литосфере Центрального Тянь-Шаня / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2007. – № 5. – С. 54 - 70.
5. 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.433. – № 6. – С. 808 - 812.
6. 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.
7. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районах Тянь-Шаня и Джунгарии: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2014. – № 3. – С. 65 - 73.
8. 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.
9. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе Байкальской рифтовой зоны и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2014. – № 5.
10. 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.
11. 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.
12. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в районе Гиндукуша и их связь с глубокофокусной сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2012. – Вып. 4. – С. 53 - 61.
13. Копничев, Ю.Ф. О природе короткопериодных сейсмических полей на расстояниях до 3000 км / Ю.Ф. Копничев, А.Р. Аракелян // Вулканология и сейсмология, 1988. – № 4. – С. 77 - 92.
14. Бакиров, А.Б. (ред.). Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. - Бишкек: Илим, 2006. - 115 с.
15. Копничев, Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985. – 176 с.
16. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Центральной Азии и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // ДАН, 2011. – Т. 437. – № 1. – С. 97 - 101.
17. Abers, G. Thrusting of the Hindu Kush over the southeastern Tadjic basin, Afghanistan: evidence from two large earthquakes / G.Abers, C.Bryan, S.Roecker, R.McCaffrey // Tectonics, 1988. – V.7 - N 1. – P. 41 - 56.
18. Буртман, В.С. Геодинамика Памир-Пенджабского синтаксиса // Геотектоника, 2013. – № 1. – С. 36 - 58.
19. Molnar, P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision / P.Molnar, P.Tapponnier // Science, 1975. – V. 189. – P. 419 - 426.

Из таблицы следует, что самое сильное землетрясение может готовиться в районе Афгано-Таджикской впадины, где находится наибольшая по площади аномалия высокого поглощения S-волн. Отметим, что в этом районе за последние 35 лет зарегистрированы два достаточно сильных события с  $M=6.7$  (в 1982 и 1998 гг., рисунок 1). Более слабые землетрясения могут готовиться в области центрального Гиндукуша и на северной границе Памира.

В [2, 3, 8] показано, что наибольшая известная длительность формирования мелких кольцевых структур составляет около 40 лет; кроме того, наблюдается увеличение скорости СТД на заключительном этапе подготовки сильного сейсмического события. Исходя из этого, можно предполагать, что в ближайшие годы наиболее вероятны сильные землетрясения в районах Афгано-Таджикской впадины и Северного Памира; менее вероятны такие события в области центрального Гиндукуша.

20. Mohajer, S. Partitioning of India-Eurasia convergence in the Pamir-Hindu Kush from GPS measurements / S. Mohajer, R. Bendick, A. Ischuk et al. // *Geophys. Res. Lett.*, 2010. – V. 37. – L04305, doi: 10.1029/2009GL041737.
21. Zubovich, A. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions / A. Zubovich, X. Wang, Yu. Scherba [et al.] // *Tectonics*, 2010. – V. 29. – TC6014, doi: 10.1029/2010TC002772.
22. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем / Ф.А. Литников. – Новосибирск: Наука, 1992. – 229 с.
23. 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.
24. 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.
25. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // *Pure Appl. Geophys.*, 1984/1985. – V. 122. – P. 492 - 530.

### **ПАМИРО-ГИНДУКУШ АЙМАҒЫНДАҒЫ S-ТОЛҚЫНДАРЫНЫҢ ЖҰТЫЛУ ӨРІСІНІҢ БІР ТЕКТІ ЕМЕСТІГІ ЖӘНЕ СЕЙСМИКАЛЫҚТЫҢ АЙНАЛМАЛЫ ҚҰРЫЛЫМЫ: БОЛАТЫН ҚАТТЫ ҚЫРТЫСТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ДАЙЫНДАЛУЫ**

<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, Құрчатов, Қазақстан*

Памиро-Гиндукуш аймағы үшін литосферадағы қысқа кезеңді көлденең толқындардың жұтылу өрісінің карталауы орындалды. Sn және Pn толқындары амплитудаларының қатынастығының талдауына негізделген әдіс қолданылды. Ауған-Тажік шұңғымасының, орталық Гиндукуш және Солтүстік Памир аудандарындағы жоғары жұтылу аудандары белгіленді. Осы аудандарда, 1973 жылдан бастап 0 - 33 и 34 - 70 км тереңдіктерінің диапазонында сейсмикалықтың айналмалы құрылымдары қалыптасқан. Әдетте осындай құрылымдар қатты жерсілкінулер алдында, субдукция зоналарында қалыптасады. Көрсетілген аудандарда айналмалы құрылымдардың сипаттамалары бойынша дайындалып жатқан қатты жерсілкінулердің магнитудалары бағаланды. Субдукция зоналарының аналогиясы бойынша, тереңдегі флюидтардың орындарын ауыстырып көшуінің нәтижесінде айналмалы құрылымдар пайда болады деп болжам жасалды.

### **HETEROGENEITIES OF S WAVE ATTENUATION FIELD AND RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES IN THE PAMIR-HINDU KUSH REGION: POSSIBLE PREPARATION FOR LARGE CRUSTAL 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 mapping short-period shear wave attenuation field in the lithosphere of the Pamir-Hindu Kush region. We used a method based on an analysis of amplitude ratio of Sn and Pn waves. Areas of high attenuation were identified in the regions of Afghan-Tadjic basin, Central Hindu Kush and North Pamir. Ring-shaped seismicity structures have been formed in these regions in the depth ranges of 0-33 and 34-70 km since 1973. Such structures are being formed usually in subduction zones prior to large earthquakes. We estimated magnitudes of large earthquakes, possibly been preparing in these regions using characteristics of ring structures. By analogy with subduction zones we suppose that ring-shaped seismicity structures are being formed due to deep-seated fluid migration.