

УДК 550.344 + 550.34

# НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ S-ВОЛН В РАЙОНЕ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ МАУЛЕ (ЧИЛИ, 27.02.2010 г., $M_w=8.8$ ) И ИХ СВЯЗЬ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ И ВУЛКАНИЗМОМ РЕГИОНА

© 2011 г. Ю.Ф. Копничев<sup>1</sup>, И.Н. Соколова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> *Институт геофизических исследований НЯЦ РК, г. Алма-Ата, Казахстан*

Характеристики поля поглощения S-волн в районе очага землетрясения Мауле с магнитудой 8.8, произошедшего 27.02.2010 г. в Чили, рассматриваются в сопоставлении с сейсмичностью и вулканизмом региона. Использован метод, основанный на анализе отношения амплитуд волн  $S_n$  и  $P_n$ . Обработано более 160 записей местных землетрясений, полученных станцией *PLCA* на расстояниях от ~300 до 850 км.

Установлено, что в районе исследований, как и в других зонах субдукции, перед землетрясением Мауле сформировались две кольцевые структуры сейсмичности – мелкое кольцо на глубинах 0–33 км и глубокое на глубинах 34–70 км. Эпицентр главного события находился в области наибольшего сближения кольцевых структур. Мелкому кольцу соответствует пониженное поглощение S-волн, глубокому – высокое, вулканической области – промежуточное. Обсуждается природа кольцевых структур и их связь с миграцией глубинных флюидов.

**Ключевые слова:** поглощение, поперечные волны, кольцевые структуры сейсмичности, глубинные флюиды.

## Введение

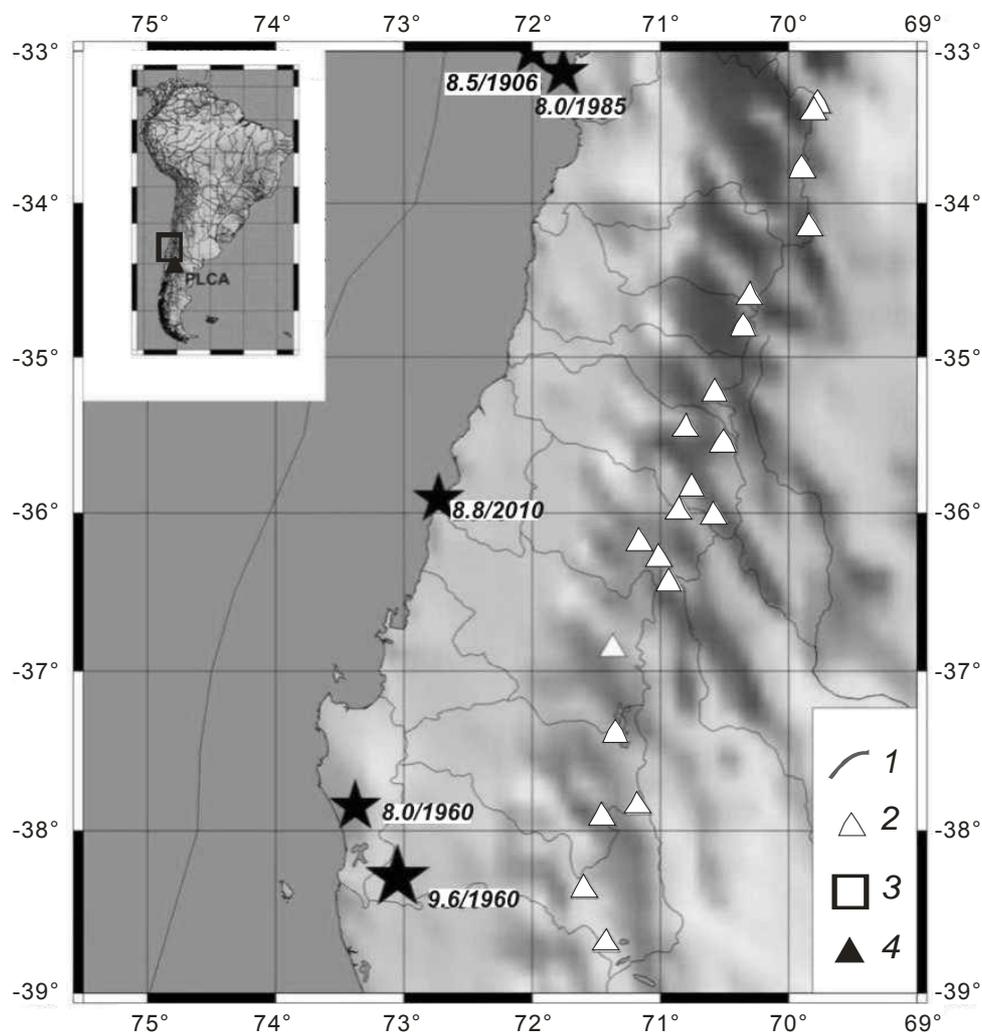
Характеристики поля поглощения короткопериодных поперечных волн несут важную информацию об особенностях строения земной коры и верхней мантии, в частности, о содержании в них глубинных флюидов или частично расплавленного материала [Molnar, Oliver, 1969; Копничев, 1985; Копничев, Соколова, 2003, 2007, 2010; Копничев, Гордиенко, Соколова, 2009]. В последнее десятилетие получены данные, свидетельствующие о присутствии заметной доли мантийных флюидов в очаговых зонах многих сильных неглубоких землетрясений [Копничев, Соколова, 2003, 2007, 2010; Копничев, Гордиенко, Соколова, 2009]. С неоднородностями поля поглощения коррелируются некоторые детали сейсмического процесса, в частности, формирующиеся перед сильными событиями в разных районах земного шара кольцевые структуры сейсмичности [Соболев, 1993; Копничев, Соколова, 2009а,б,в], природа которых пока до конца не выяснена. Кроме того, уже давно известно, что высокое поглощение S-волн наблюдается в литосфере вулканических областей [Molnar, Oliver, 1969].

Авторы настоящей статьи выполнили картирование поля поглощения в очаговой зоне сильнейшего землетрясения Мауле, произошедшего в Чили 27.02.2010 г. ( $M_w=8.8$ ), и ее окрестностях. Неоднородности поля сопоставлены с характеристиками сейсмичности и вулканизма района Южной Америки, расположенного между 39° и 33° ю.ш.

### Геолого-геофизическая характеристика района исследований

В исследуемом районе океаническая плита Наска, возраст которой составляет ~25–30 млн. лет [Haberland *et al.*, 2009], погружается под континент Южной Америки со скоростью 6.6 см/год под углом около 15°. В области между 39° и 37° ю.ш. мощность континентальной коры постепенно возрастает в восточном направлении от глубоководного желоба, достигая максимума (~50 км) под береговыми хребтами на расстоянии около 100 км от побережья. Здесь начинается континентальный мантийный клин, кровля которого резко поднимается от ~50 до ~30 км. Имеются указания на частичную серпентинизацию материала мантийного клина, связанную с высвобождением флюидов из погружающейся океанической коры [Haberland *et al.*, 2009].

*Историческая сейсмичность.* С 1900 г. по настоящее время в районе исследований произошли пять сильных землетрясений с  $M_w \geq 8.0$ , положение эпицентров которых представлено на рис. 1; основные характеристики этих землетрясений приведены в таблице.



**Рис. 1.** Карта района исследований. Звездочки – эпицентры сильных землетрясений с указанием магнитуды  $M_w$  и года события; 1 – глубоководный желоб, 2 – вулканы, 3 – границы района исследований (на врезке), 4 – положение станции *PLCA* (на врезке)

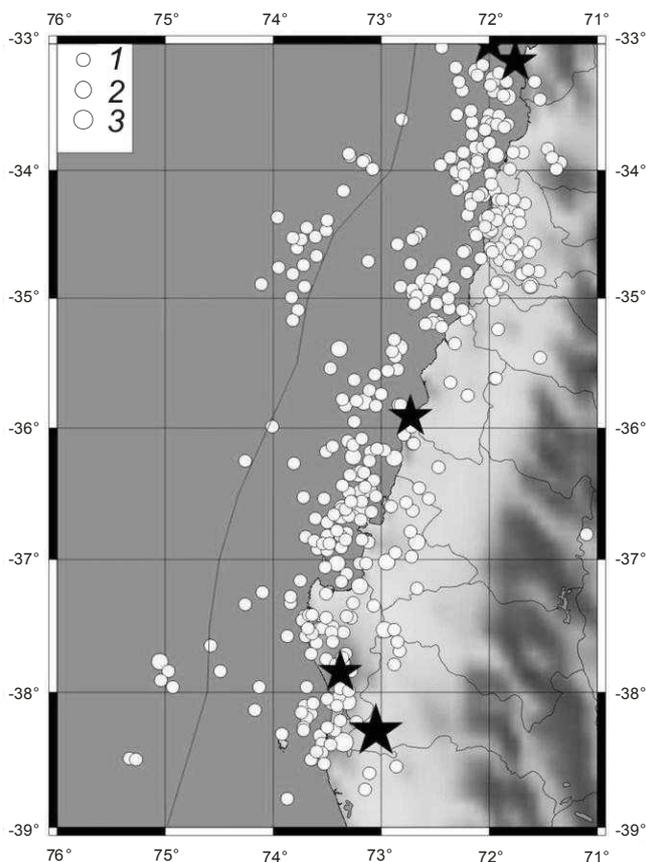
Сильнейшие землетрясения, произошедшие в рассматриваемом районе  
за период с 1900 г. по настоящее время

Дата события	Координаты эпицентра		Глубина очага $h$ , км	Магнитуда $M_w$	Принятое название
	$\varphi$ , °ю.ш.	$\lambda$ , °з.д.			
17.08.1906 г.	33.00	72.00	–	8.5	Землетрясение Вальпараисо
21.05.1960 г.	37.85	73.38	12	8.2	
22.05.1960 г.	38.29	73.05	35	9.6	Великое Чилийское землетрясение
03.03.1985 г.	33.14	71.76	35	8.0	
27.02.2010 г.	35.91	72.73	35	8.8	Землетрясение Мауле

Среди указанных событий особое место занимает Великое Чилийское землетрясение 22.05.1960 г. с  $M_w=9.6$ , самое сильное из инструментально зарегистрированных на земном шаре. Очаговая зона этого грандиозного события простиралась к югу от эпицентра примерно на 1 тыс. км. Землетрясение предвлялось сильным форшоком с  $M_w=8.2$ . Землетрясение Мауле с  $M_w=8.8$ , произошедшее 27.02.2010 г., стало вторым по силе для района исследований за 110 лет наблюдений. Область его афтершоков с магнитудами от 5 до 7 и более, фиксируемых в течение года после основного толчка, имела протяженность около 650 км (рис. 2). Оба этих события (особенно первое) сопровождались мощными цунами.

Еще два сильных землетрясения произошли на северной границе рассматриваемого района – в 1906 г. с магнитудой 8.5 и в 1985 г. с магнитудой 8.0.

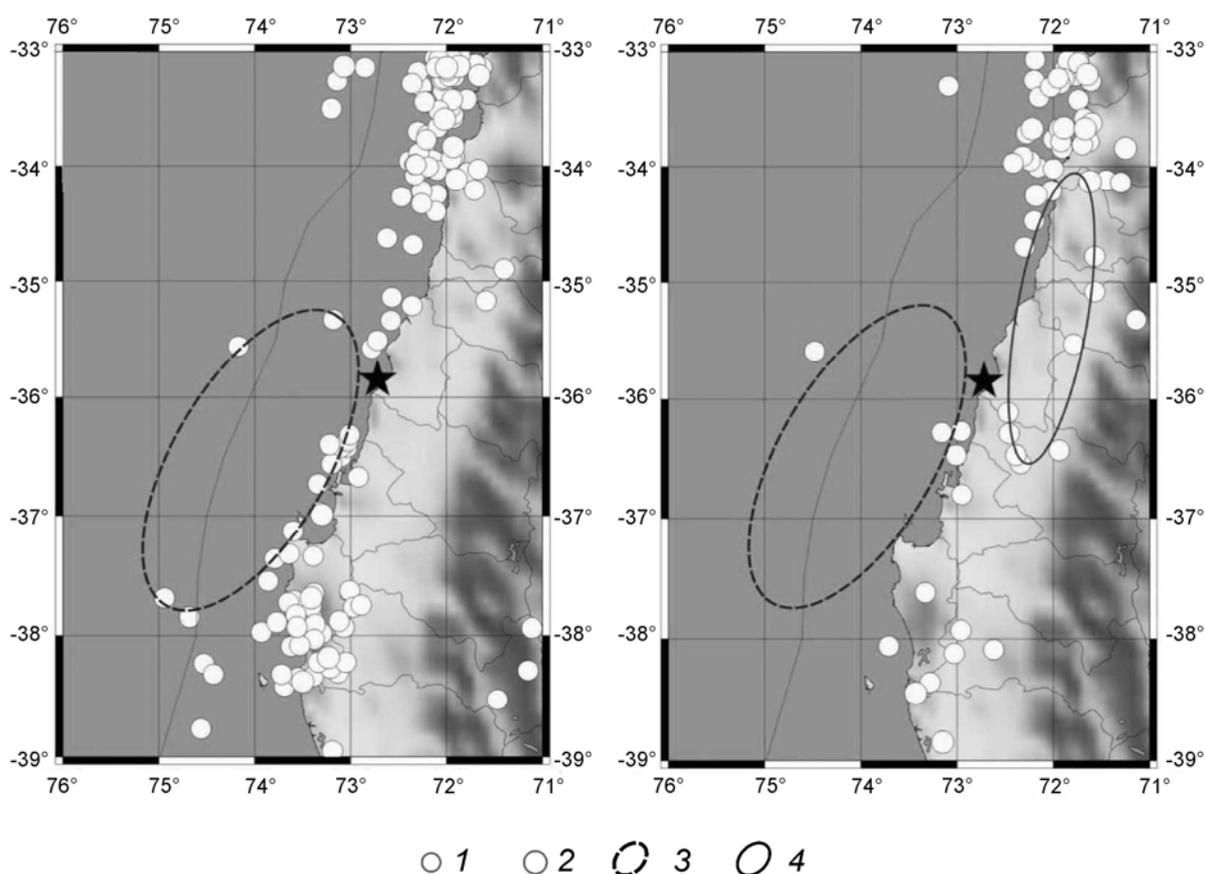
*Кольцевые структуры сейсмичности.* В последние годы установлено, что в зонах субдукции перед сильными и сильнейшими землетрясениями в разных интервалах



**Рис. 2.** Эпицентры афтершоков, зарегистрированных в течение года после землетрясения Мауле. Размер кружков соответствует разным магнитудам: 1 –  $5.0 \leq M < 6.0$ ; 2 –  $6.0 \leq M < 7.0$ ; 3 –  $M > 7.0$ . Глубины очагов – 0–70 км. Звездочки – эпицентры сильных землетрясений (см. рис. 1)

глубин формируются кольцевые структуры сейсмичности, оконтуривающие области относительного затишья [Копничев, Соколова, 2009а,б,в]. Авторами были проанализированы события за период, предшествующий землетрясению Мауле – с 01.01.1964 г. по 26.02.2010 г. По аналогии с указанными выше работами, рассматривались землетрясения с очагами в двух интервалах глубин – 0–33 и 34–70 км (при этом отбирались события с  $M \geq 5.0$ ).

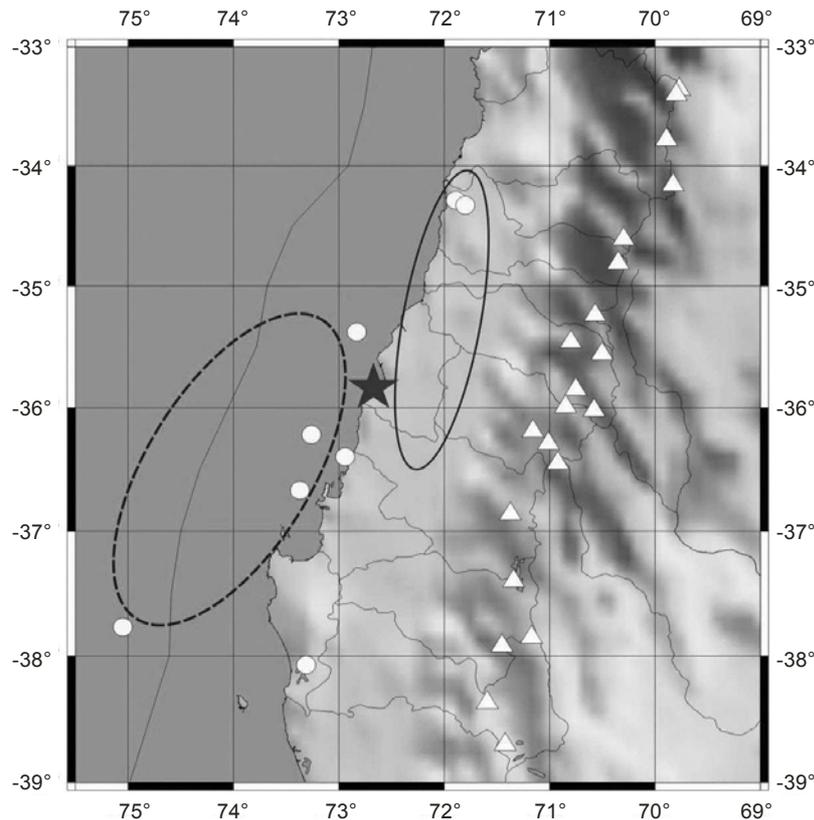
Характеристики сейсмичности в исследуемом районе перед землетрясением Мауле для интервалов глубин 0–33 км представлены на рис. 3, а, для интервала 34–70 км – на рис. 3, б. Сформировавшиеся в обоих интервалах кольцевые структуры сейсмичности для простоты далее будем называть мелким (0–33 км) и глубоким (34–70 км) кольцами. Мелкое кольцо с длиной большой оси  $\sim 320$  км вытянуто в северо-восточном направлении, глубокое (длина большой оси 270 км) – в субмеридиональном. Кольца почти соприкасаются вблизи  $36^\circ$  ю.ш.; в области их наибольшего сближения находится эпицентр главного события.



**Рис. 3.** Кольцевые структуры сейсмичности, сформировавшиеся перед землетрясением Мауле в интервалах глубин 0–33 км (а) и 34–70 км (б). 1, 2 – эпицентры землетрясений с магнитудой  $5.0 \leq M < 6.0$  (1) и  $M \geq 6.0$  (2); 3 – мелкое кольцо, 4 – глубокое кольцо. Звездочка – эпицентр землетрясения Мауле

Отметим, что мелкое кольцо на юге граничит с очаговой зоной катастрофического землетрясения 1960 г., а глубокое на севере соприкасается с зоной сильного события 1985 г.

Эпицентры восьми сильнейших ( $M_w \geq 6.5$ ) афтершоков землетрясения Мауле, зафиксированных в период 27.02.2010–27.02.2011 гг., представлены на рис. 4. Видно, что подавляющее большинство этих событий с глубиной очагов 11–35 км (семь из восьми),



**Рис. 4.** Положение эпицентров сильнейших ( $M_w \geq 6.5$ ) афтершоков землетрясения Мауле, зафиксированных в течение года после основного события. Кружки – эпицентры афтершоков; контуры овальной формы – границы мелкого (штриховая линия) и глубокого (сплошная линия) колец; звездочка – эпицентр землетрясения Мауле; треугольники – вулканы

включая “отдаленные” афтершоки 11.02.2011 г. ( $M_w = 6.8$ ) и 14.02.2011 г. ( $M_w = 6.6$ ), приурочено к описанным выше кольцевым структурам. Одно событие попадает на границу очаговых зон чилийских землетрясений 1960 и 2010 гг.

*Вулканическая активность* в рассматриваемом районе связана с горной системой Анд. Новейший вулканизм проявлялся здесь сильно, но неравномерно, достигнув наибольшего развития в миоцене и плиоцене [Анродов, 1982]. Последнее извержение вулканов, положение которых показано на рис. 1, 4, произошло не ранее начала голоцена; тринадцать из них проявляли активность в XIX–XX веках. Отметим, что высота вулканических аппаратов закономерно увеличивается в направлении с юга на север – от ~3000 м между 39° и 38° ю.ш. до 6840 м между 34° и 33° ю.ш. (вулкан Тупунгато).

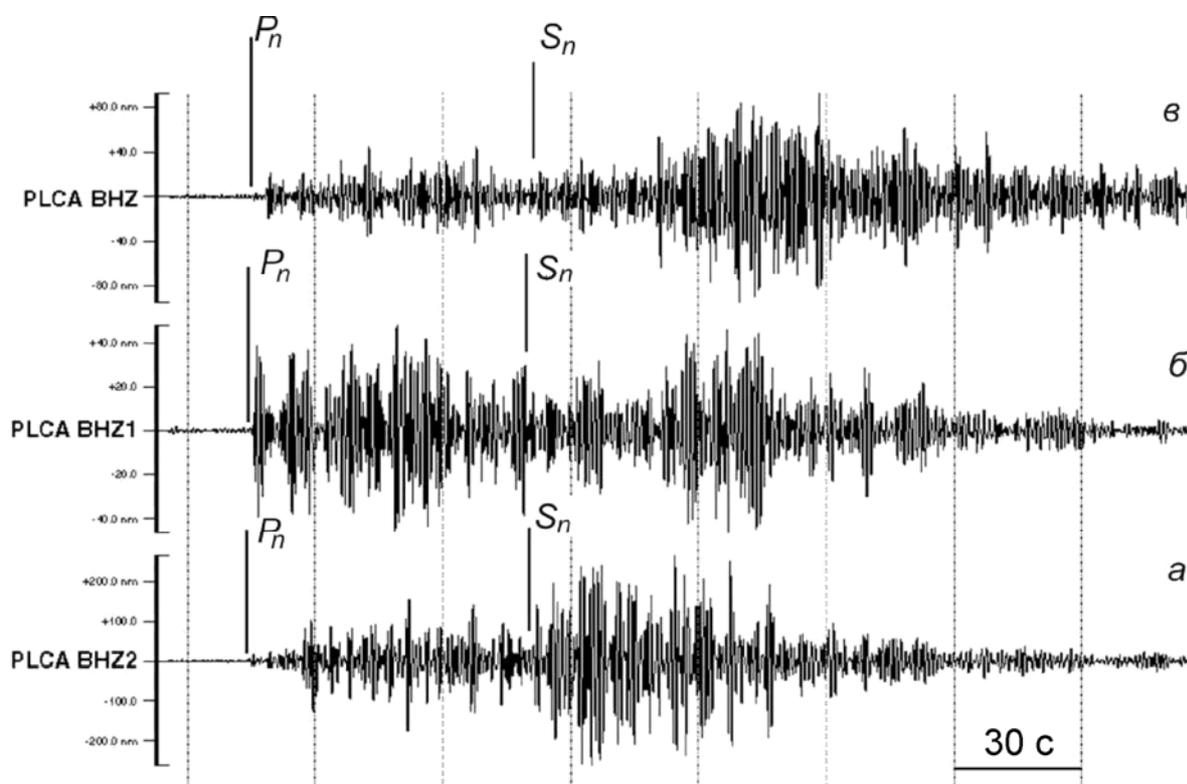
### Методика анализа и использованные данные

Для анализа характеристик поля поглощения короткопериодных поперечных волн использована методика, основанная на анализе отношения максимальных амплитуд в волнах  $S_n$  и  $P_n$  – параметра  $\lg(A_{S_n}/A_{P_n})$ , который для краткости будем обозначать далее как  $S_n/P_n$ . Ранее было установлено, что группа волн  $S_n$  формируется поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в верхней мантии [Копничев, Аракелян, 1988]. При этом основное поглощение волн  $S_n$  приходится на самые верхи мантии. Параметр  $S_n/P_n$  использован для нормировки, так как трассы распространения волн  $S_n$  и  $P_n$  близки. Поглощение  $S$ -волн существенно зависит от частоты, поэтому при анализе записей применялась узкополосная фильтрация (использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы [Копничев, 1985]). Кроме того, для минимизации эффекта азимутальной направленности  $P$ - и  $S$ -волн проводилось осреднение величин  $S_n/P_n$  для близких эпицентров (как правило, для площадок с линейными размерами в несколько десятков километров).

Картирование поля поглощения в районе исследований проводилось по записям местных землетрясений с глубинами очагов 0–33 км, полученным станцией *PLCA* на эпицентральных расстояниях от ~300 км до 850 км (см. рис. 1). В общей сложности обработано более 160 записей событий, которые произошли в районе, ограниченном координатами 39°–33° ю.ш. и 75.5°–69° з.д.

### Анализ данных

Типичные сейсмограммы землетрясений, произошедших в разных областях примерно на одинаковых удалениях от регистрирующей станции, представлены на рис. 5. Можно видеть, что на записи события из области мелкого кольца (сейсмограмма *а*) уровень группы  $S_n$  много выше уровня волны  $P_n$ . В то же время на сейсмограммах землетрясений из области глубокого кольца (сейсмограмма *б*) и вулканической области (сейсмограмма *в*) амплитуды этих волновых групп близки по уровню.

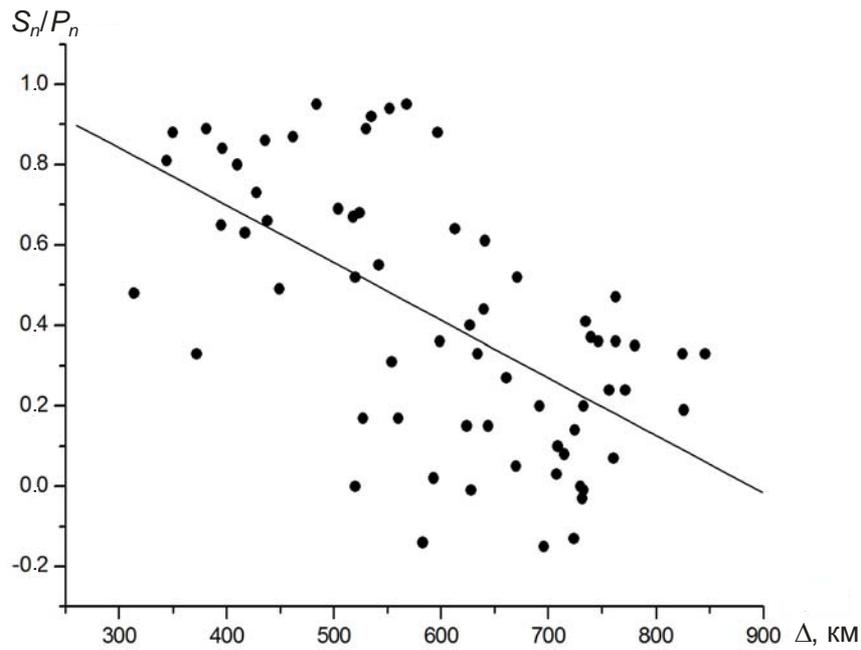


**Рис. 5.** Сейсмограммы зарегистрированных станцией *PLCA* землетрясений, произошедших в разных областях: *а* – мелкое кольцо (35.41° ю.ш., 73.13° з.д.,  $h=32$  км,  $\Delta=633$  км); *б* – глубокое кольцо (35.19° ю.ш., 72.20° з.д.,  $h=33$  км,  $\Delta=632$  км); *в* – вулканическая область (34.99° ю.ш., 70.33° з.д.,  $h=10$  км,  $\Delta=638$  км). Отмечены вступления волн  $P_n$  (совмещены по времени) и  $S_n$  (по годографу)

Исследована зависимость параметра  $S_n/P_n$  от эпицентрального расстояния (рис. 6). Несмотря на использование осредненных данных, наблюдается довольно большой разброс значений параметра  $S_n/P_n$  – от 0.95 до –0.15. В целом значения параметра  $S_n/P_n$  уменьшаются с расстоянием; уравнение линейной регрессии описывается формулой

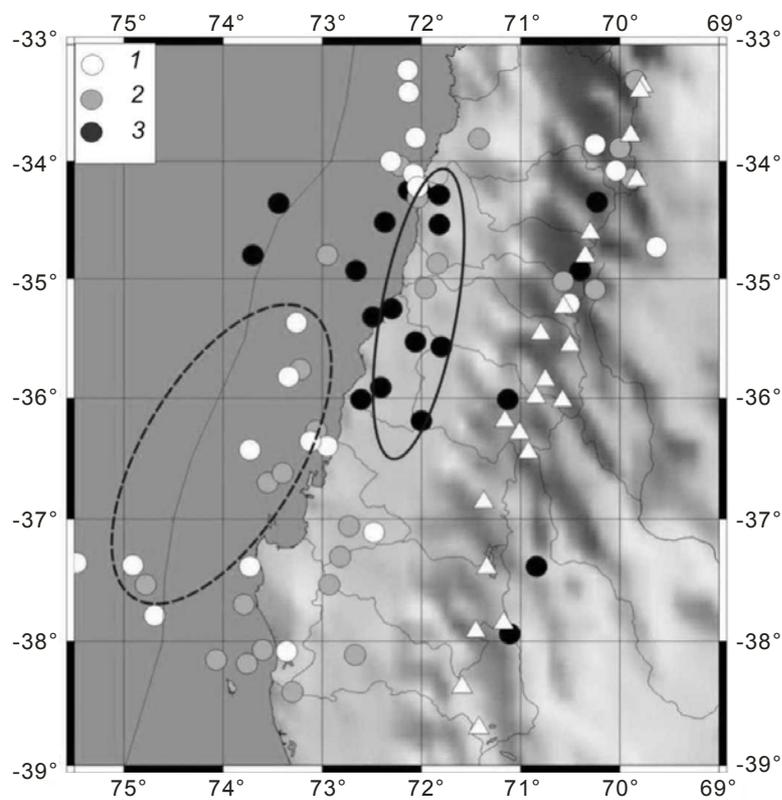
$$S_n/P_n \approx 1.27 - 0.00143\Delta, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – эпицентральное расстояние, км (коэффициент корреляции равен –0.61).



**Рис. 6.** Зависимость параметра  $S_n/P_n$  от эпицентрального расстояния. Прямая – график корреляционной зависимости

На карте поля поглощения для верхов мантии исследуемого района (рис. 7) приведены величины  $\Delta S_n/P_n$  (параметр  $S_n/P_n$ , “исправленный” за расстояние с учетом средней зависимости (1)). Все значения параметра разбиты на три уровня, соответствующие разному поглощению: пониженному –  $\Delta S_n/P_n > 0.15$  (кружки без заливки); промежуточному –



**Рис. 7.** Карта поля поглощения в исследуемом районе. 1 – пониженное поглощение, 2 – промежуточное, 3 – повышенное. Остальные обозначения – на рис. 1, 3

$-0.15 \leq \Delta S_n/P_n \leq 0.15$  (кружки с серой заливкой); повышенному –  $\Delta S_n/P_n < -0.15$  (кружки с черной заливкой).

Можно видеть, что, несмотря на большой разброс данных, прослеживаются довольно четкие закономерности, обусловленные распределением зон с различной степенью затухания  $S$ -волн. В первую очередь, следует отметить, что мелкому кольцу соответствует в основном пониженное и частично промежуточное поглощение. В то же время с глубоким кольцом связана самая большая по площади аномалия высокого поглощения. Отметим, что на границе между мелким и глубоким кольцами наблюдается наибольший (до 0.7–0.9) контраст значений  $\Delta S_n/P_n$  в небольшом диапазоне эпицентральных расстояний. К юго-востоку от мелкого кольца выделяется область в основном промежуточного поглощения, а к северу от глубокого – слабого. Еще одна небольшая область повышенного поглощения (низких значений  $\Delta S_n/P_n$ ) находится к западу от глубокого кольца между  $74$  и  $73^\circ$  з.д.

В вулканической области наблюдаются значительные вариации значений  $\Delta S_n/P_n$ : к югу от  $35.5^\circ$  ю.ш. прослеживается (по небольшому числу данных) повышенное, а к северу от этой параллели – в основном промежуточное и пониженное поглощение. Интересно, что в среднем значения  $\Delta S_n/P_n$  в вулканической области заметно выше, чем в области глубокого кольца (в первом случае они варьируют в диапазоне от  $-0.4$  до  $0.28$ , во втором – от  $-0.57$  до  $0.20$ ).

### Обсуждение результатов

Заметим сначала, что сравнительная устойчивость величин  $S_n/P_n$  для близких эпицентров с разными глубинами очагов еще раз свидетельствует о том, что основное поглощение поперечных волн приходится на верхи мантии. Существенно, что области внутри мелкого кольца соответствует относительно слабое поглощение  $S$ -волн в верхах мантии. Ранее аналогичный эффект был установлен для очаговой зоны сильнейшего Суматра-Андаманского землетрясения 26.12.2004 г. ( $M_w=9.0$ ), а также для зоны Куньлуньского землетрясения 14.11.2001 г. ( $M_w=7.8$ ) [Копничев, Соколова, 2010]. Это говорит о низком содержании флюидов в верхах мантии под неглубокими кольцевыми структурами.

В то же время в области глубокого кольца наблюдается высокое поглощение  $S$ -волн (подчеркнем, что для очаговых зон сильных землетрясений данный эффект установлен впервые). Это свидетельствует о присутствии в верхах мантии в области глубокого кольца заметной доли флюидов. Вместе с тем, слой сильного поглощения внутри глубокого кольца имеет сравнительно малую мощность, поскольку параметр  $S_n/P_n$  резко возрастает к северу от кольца.

Ранее [Копничев, Соколова, 2009а,б,в] было показано, что мелкие и глубокие кольца устойчиво выделяются в очаговых зонах сильных и сильнейших землетрясений в различных зонах субдукции. Характеристики поля поглощения указывают на то, что природа мелких и глубоких колец существенно различна. Представленные в настоящей статье и ранее в [Копничев, Соколова, 2010] данные позволяют считать, что мелкие кольца оконтуривают сравнительно жесткие блоки литосферы, на границах которых имеет место концентрация напряжений и происходит подъем флюидов. В то же время относительно высокое содержание флюидов внутри глубоких колец свидетельствует о том, что они ограничивают области маловязкого материала, которому соответствуют большие скорости деформации. Это также приводит к концентрации напряжений

на границах глубоких кольцевых структур, обеспечивающей постепенный подъем флюидов [Hier-Majumder, Kohlstedt, 2006]. Таким образом, несмотря на различную природу мелких и глубоких колец, в обоих случаях на их границах происходит один и тот же процесс миграции флюидов. Это служит отражением эффекта самоорганизации геодинамических процессов [Летников, 1992], ведущих, в конечном счете, к уменьшению потенциальной энергии Земли.

Для получения более детальных представлений о ходе лучей, формирующих группу волн  $S_n$ , в первом приближении можно воспользоваться данными о строении зоны субдукции между  $39^\circ$  и  $37^\circ$  ю.ш. [Haberland et al., 2009]. Из названной работы следует, что для эпицентров в областях мелкого и большей части глубокого кольца трассы лучей пересекают кору и верхи мантии погружающейся океанической плиты. Для эпицентров к востоку от мелкого кольца, а также для восточной части глубокого лучи попадают в мантийный клин. Наши данные говорят о том, что характеристики океанической плиты и мантийного клина резко различаются для областей к северу и югу от  $\sim 36.2^\circ$  ю.ш. В работе [Haberland et al., 2009] сделан вывод, что между  $39^\circ$  и  $37^\circ$  ю.ш. погружающаяся океаническая плита и мантийный клин на глубинах приблизительно до 70 км сложены в основном гидратированными породами. Слабое поглощение  $S$ -волн свидетельствует об отсутствии здесь заметной доли свободных флюидов. В то же время сильное поглощение в области глубокого кольца между  $36.2^\circ$  и  $34^\circ$  ю.ш. служит доказательством значительного содержания флюидов в погружающейся плите и мантийном клине. Присутствие флюидов связано с дегидратацией материала океанической коры и верхов мантии в субдуцирующей плите [Yamasaki, Seno, 2003], которая обуславливает уменьшение плотности пород и их меньшую вязкость [Калинин, Родкин, Томашевская, 1989]. Это должно приводить (при прочих равных условиях) к меньшему наклону относительно более легкой плиты и более слабому сцеплению (*coupling*) океанической и континентальной плит в сегменте к северу от  $36.2^\circ$  ю.ш. Данный вывод хорошо согласуется с приведенными в работе [Ruegg et al., 2009] результатами анализа поля скоростей деформации в рассматриваемом районе (по данным *GPS*).

В случае, когда на границах мелкого и глубокого колец формируются слои двухфазного материала с сообщающимися трещинами и порами, заполненными флюидом, максимальная суммарная мощность таких слоев достигается в областях касания или пересечения кольцевых структур, что приводит к концентрации напряжений на их кровле [Gold, Soter, 1984]. (Интересно, что в этом случае возможно также существование небольшого промежутка между кольцами, как в случае землетрясения Мауле, поскольку насыщенные флюидами зоны в тектонически активных районах, как правило, соединяются в нижней коре [Ваньян, Хайндман, 1996]). Это позволяет объяснить, почему эпицентры сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции обычно находятся вблизи от таких областей. С этим же эффектом, скорее всего, связана и приуроченность большинства сильнейших афтершоков землетрясения Мауле к границам кольцевых структур (см. рис. 4). Следовательно, для генерации наиболее сильных афтершоков в данном случае требовалось не просто перераспределение напряжений в очаговой зоне, а существование протяженных по вертикали зон, насыщенных флюидами.

Выше было показано, что в вулканической области поглощение в целом слабее, чем в области глубокого кольца. Это говорит о меньшей доле жидкой фазы в верхах мантии под горной системой Анд. Ранее аналогичный эффект был установлен для района Суматры [Копничев, Соколова, 2010].

## Литература

- Апродов В.А.* Вулканы. М.: Мысль, 1982. 367 с.
- Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д.* О природе консолидированной коры // Физика Земли. 1996. № 4. С.5–11.
- Калинин В.А., Родкин М.В., Томашевская И.С.* Геодинамические эффекты физико-химических превращений в твердой среде. М.: Наука, 1989. 157 с.
- Копничев Ю.Ф.* Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985. 175 с.
- Копничев Ю.Ф., Аракелян А.Р.* О природе короткопериодных сейсмических полей на расстояниях до 3000 км // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С.77–92.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня // Физика Земли. 2003. № 5. С.73–86.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Неоднородности поля поглощения короткопериодных сейсмических волн в литосфере Центрального Тянь-Шаня // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С.54–70.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции // Докл. РАН. 2009а. Т. 425, № 4. С.539–542.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры // Докл. РАН. 2009б. Т. 429, № 1. С.106–109.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин в районе северо-восточной Японии // Вестник НЯЦ РК. 2009в. Вып. 3. С.88–97.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2010. № 6. С.34–51.
- Копничев Ю.Ф., Гордиенко Д.Д., Соколова И.Н.* Пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в сейсмически активных и слабосейсмичных районах // Вулканология и сейсмология. 2009. № 1. С.49–64.
- Летников Ф.А.* Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 229 с.
- Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
- Gold T., Soter S.* Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes // Pure Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P.492–530.
- Haberland C., Reitbrock A., Lange D., Bataille K., Dahm T.* Structure of the seismogenic zone of the southcentral Chilean margin revealed by local earthquake tomography // J. Geophys. Res. 2009. V. 114, B 01317. doi: 10.1029/2008JB005802.
- Hier-Majumder S., Kohlstedt D.* Role of grain-boundary wetting in fluid circulation beneath volcanic arcs // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, L0835.
- Molnar P., Oliver J.* Lateral variations of attenuation in the upper mantle and discontinuities in the lithosphere // J. Geophys. Res. 1969. V. 74. P. 2648–2682.
- Ruegg J., Rudloff A., Vigny C. et al.* Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitucion and Concepcion in Chile // Phys. Earth Planet. Inter. 2009. V. 175. P.78–85.
- Yamasaki T., Seno T.* Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, N B4. doi: 10.1029/2002JB001918.

### Сведения об авторах

**КОПНИЧЕВ Юрий Федорович** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: (727) 295-63-50. E-mail: yufk@kndc.kz

**СОКОЛОВА Инна Николаевна** – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. Институт геофизических исследований НЯЦ РК, 050020, Алма-Ата, Казахстан, ул. Чайкиной, д. 4. Тел.: (727) 263-48-82. E-mail: sokolova@kndc.kz

# HETEROGENEITY OF THE SHORT-PERIOD $S$ WAVE ATTENUATION IN THE SOURCE ZONE OF THE MAULE EARTHQUAKE IN CHILE (27.02.2010, $M_w=8.8$ ) AND ITS RELATION TO SEISMICITY AND VOLCANISM OF THE REGION

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

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

<sup>2</sup> *Institute of Geophysical Research, NNC RK, Alma Ata, Kazakhstan*

**Abstract.** The characteristics of  $S$  wave attenuation in the source zone of the Maule earthquake of 27.02.2010 (Chile) are considered and analyzed in relation to the seismicity and volcanism of the region. A method based on analyzing the amplitude ratio of  $S_n$  and  $P_n$  waves is applied. More than 160 records of local earthquakes obtained at PLCA station at a distance of ~300 to 850 km were processed. It is established that two ring-shaped seismicity structures, the shallow and the deep ones, have been formed prior to the Maule earthquake in the studied region as well as in other subduction zones. The epicenter of the major event was located in the area of closest approach of the ring structures. It is established that the lower attenuation of  $S$  waves corresponds to the shallow ring, and the higher attenuation, to the deep one. In the volcanic area attenuation is lower than in the area of deep ring. The nature of the ring structures and their relation to the migration of deep-seated fluids is discussed.

**Keywords:** attenuation, shear waves, ring-shaped structures, deep-seated fluids.