

УДК 550.344

НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ S-ВОЛН В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ВЕРХАХ МАНТИИ В РАЙОНЕ ПОЛИГОНА ЛОБНОР

© 2008 г. Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова

Представлено академиком В.Н. Страховым 06.09.2007 г.

Поступило 13.09.2007 г.

По записям двух цифровых станций исследуются характеристики поля поглощения короткопериодных поперечных волн в районе китайского ядерного полигона Лобнор (ЛИЯП). Используются методы, основанные на анализе отношений амплитуд волн Lg и Pg , Sn и Pn , а также коды Lg . Показано, что в районе полигона наблюдается сравнительно слабое поглощение в земной коре и существенно повышенное в верхах мантии. Полученные данные сопоставляются с характеристиками поля поглощения в районах двух других испытательных ядерных полигонов: Семипалатинского и Невадского (СИЯП и НИЯП). Обсуждаются особенности геодинамических процессов в районах этих полигонов.

Ранее были исследованы неоднородности поля поглощения короткопериодных поперечных волн в районах СИЯП и НИЯП [1, 2]. Получены данные, свидетельствующие об активных геодинамических процессах в районах полигонов, которые продолжаются и после окончания серии подземных ядерных взрывов (ПЯВ). В настоящей работе анализируются характеристики поля поглощения в районе китайского полигона ЛИЯП, где проведено относительно малое количество ПЯВ (в общей сложности 22 с 1964 по 1996 г. [3]).

Рассматривались записи коровых землетрясений и ПЯВ, полученные станциями МАКЗ и ККАР в 1994–2006 гг. на эпицентральных расстояниях ~600–1500 км (рис. 1). В общей сложности обработано более 60 сейсмограмм.

Использованы методы, связанные с анализом логарифмов отношений амплитуд волн Lg и Pg (Lg/Pg), Sn и Pn (Sn/Pn), а также скорости затухания коды Lg [1, 4, 5]. Группы Lg и Pg сформированы соответственно поперечными и продольными

волнами, за пределами отраженными от границы M , поэтому параметр Lg/Pg характеризует поглощение S -волн в земной коре на всей трассе от очага до станции [1, 6]. В свою очередь, величина параметра Sn/Pn есть мера поглощения S -волн в верхах мантии [4].

Когда волны Lg образована S -волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в верхней мантии [5, 6]. По скорости затухания амплитуд в начальном участке коды длительно-

стью 70 с по формуле $A_c(t) \sim t^{-1} \exp\left(-\frac{\pi t}{QT}\right)$ опреде-

лялась эффективная добротность в верхах мантии соответствующей эпицентральной области (t – время от начала излучения в очаге, T – период колебаний [5]). При использовании данных одной и той же станции этот параметр характеризует поглощение S -волн в области эпицентра на глубинах до 200–250 км [5]. Поскольку поглощение короткопериодных сейсмических волн существенно зависит от частоты, проводилась предварительная частотная фильтрация вертикальных компонент записей (использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной $2/3$ октавы на уровне 0.7 от максимума [6]).

На рис. 2 показана зависимость средних величин Lg/Pg от эпицентрального расстояния для профиля вдоль Восточного Тянь-Шаня (в полосе между 41.3° и $43.0^\circ N$), полученная путем анализа записей землетрясений (станция ККАР). В целом величины Lg/Pg постепенно уменьшаются в диапазоне расстояний 760–1520 км примерно на 0.25 ед. логарифма, при этом не наблюдается резкого падения значений этого параметра на отрезке, соответствующем ЛИЯП (~1450–1520 км).

Рисунок 3 иллюстрирует аналогичную зависимость, полученную для параметра Sn/Pn . В данном случае в том же интервале расстояний средние значения Sn/Pn варьируются гораздо сильнее – от 0.76 до 0.03. При этом выделяются два отрезка резкого падения этих величин: на расстояниях 980–1130 и 1380–1520 км. На первом отрезке вели-

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва

Институт геофизических исследований
Национального ядерного центра
Республики Казахстан, Алма-Ата

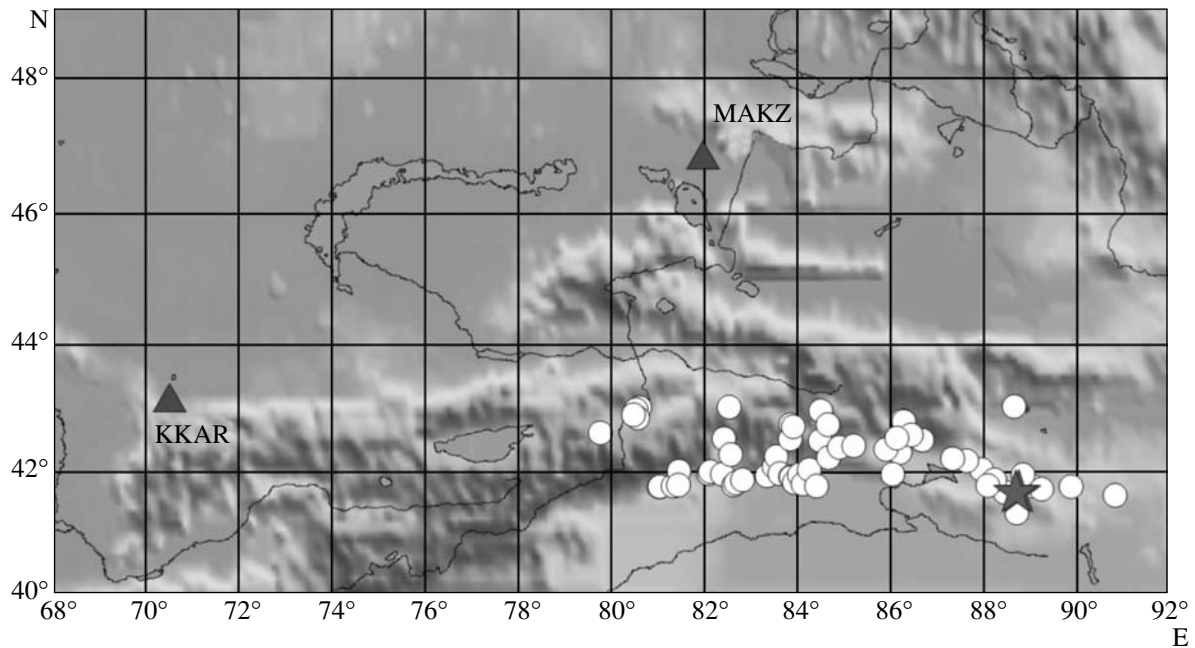


Рис. 1. Карта района исследований. Показаны эпицентры землетрясений (кружки) и ПЯВ (звездочки). Треугольники – сейсмические станции.

чины S_n/P_n падают в среднем на 0.47, на втором – на 0.39 ед. лог. Отметим, что второй отрезок соответствует району ЛИЯП и его близким окрестностям ($87.3^\circ\text{--}89.0^\circ\text{E}$).

На рис. 4 показаны огибающие коды Lg для района полигона и его близких окрестностей, построенные по записям станции МАКЗ. Видно, что по мере приближения к ЛИЯП существенно уменьшается эффективная добротность, соответствующая начальной части коды: от 350–370 на расстояниях

до 150 км к северо-западу и к востоку от ЛИЯП до 240 непосредственно в районе полигона (по записям ПЯВ и землетрясений). В то же время добротность для более далекой коды ($t = 350\text{--}500$ с), которая соответствует более глубоким горизонтам верхней мантии, остается практически постоянной (580–630).

Полученные данные свидетельствуют о том, что району ЛИЯП соответствует резко повышенное поглощение S -волн в верхах мантии по срав-

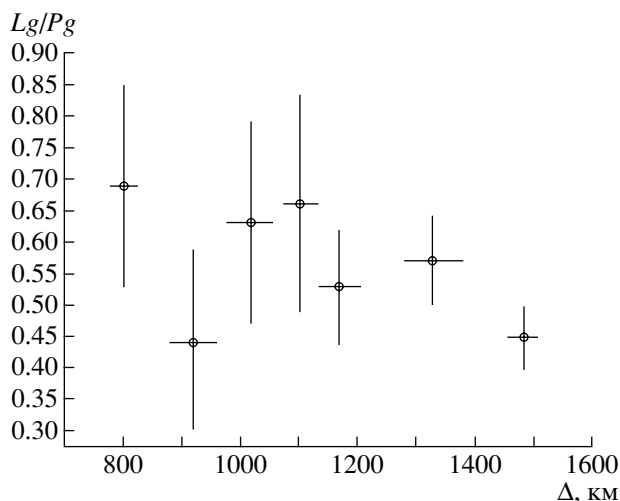


Рис. 2. Зависимость величин Lg/Pg от расстояния. Показаны средние значения и стандартные отклонения. Горизонтальные линии – интервалы эпицентральных расстояний.

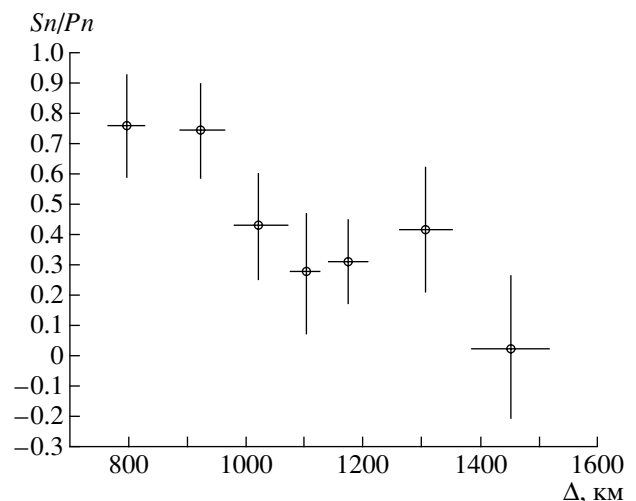


Рис. 3. Зависимость величин S_n/P_n от расстояния. Обозначения см. рис. 2.

нению с окружающими областями. В то же время в районе полигона не наблюдается сколько-нибудь заметной аномалии поглощения в земной коре.

Ранее было показано, что в северной и восточной частях СИЯП в результате длительной серии мощных ПЯВ существенно выросло поглощение S-волн в земной коре (это относится в первую очередь к трассам от площадки Балапан, где была произведена большая часть самых крупных взрывов (мощностью до 150 кт) [1, 2]). В районе Балапана, где проходят два крупных региональных разлома сдвигового типа, наблюдается очень высокое поглощение и в верхах мантии, на глубинах до 120 км [1, 7]. В то же время в районе площадки Дегелен, где проводились в основном ПЯВ гораздо меньшей мощности, поглощение S-волн сравнительно слабое и в коре, и в верхах мантии. Кроме того, в целом в районе полигона наблюдается аномально слабое поглощение в верхней мантии, на глубинах более 200 км [1].

По нашим данным, району НИЯП в 1990-х годах соответствовало повышенное поглощение в земной коре и пониженное в верхах мантии по сравнению с близкими окрестностями полигона [2].

Ранее было отмечено, что наиболее естественное объяснение пространственно-временных вариаций поля поглощения S-волн в районах СИЯП и НИЯП связано с подъемом в земную кору мантийных флюидов, обусловленным длительным интенсивным техногенным воздействием на геологическую среду [1, 2, 7]. В этой связи заметим, что проявления миграции флюидов в крупной разломной зоне наблюдались даже после сравнительно слабых химических взрывов мощностью до нескольких килотонн в районе Северного Тянь-Шаня [8]. Механизм этого эффекта, скорее всего, связан с резким увеличением проницаемости пород при вибрационном воздействии, которое обнаружено даже в модельных экспериментах [9] (а в условиях нижней коры и верхней мантии он существенно усиливается из-за архимедовой силы, обусловленной большой разницей плотностей флюида и вмещающих пород). Отметим, что увеличение проницаемости нижней коры, которое приводило к ускорению подъема мантийных флюидов, наблюдалось в районе юго-западной Японии при прохождении низкочастотных волн Рэлея от сильных землетрясений на расстояниях ~4–5 тыс. км [10].

Отсюда следует, что скорость процесса подъема флюидов должна определяться прежде всего проницаемостью пород коры и верхов мантии, а также мощностью и количеством произведенных ПЯВ. Учитывая эти обстоятельства, можно объяснить, почему этот процесс зашел дальше всего в районе НИЯП, где, судя по данным о неоднородностях поля поглощения, в значительной сте-

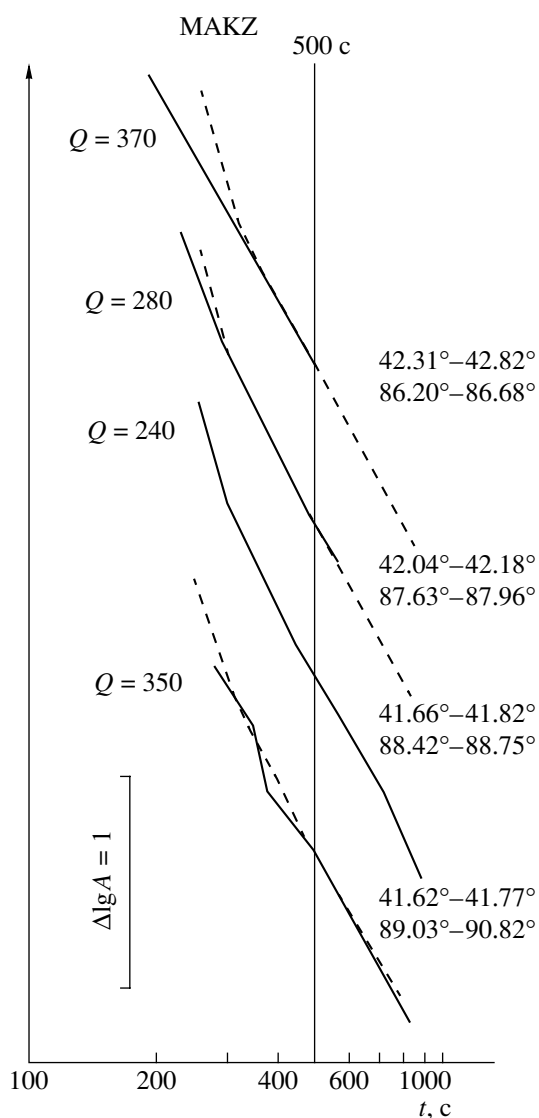


Рис. 4. Огибающие коды Lg для района полигона (вторая снизу кривая и штриховая линия) и его близких окрестностей. Станция MAKZ, канал 1.25 Гц.

пени “осушены” верхи мантии и вместе с тем кора насыщена флюидами. Это связано с относительно высокой проницаемостью коры и верхов мантии этого района, расположенного в рифтовой зоне запада США, а также с наибольшим количеством мощных ПЯВ (более 800). В районе СИЯП, расположенном на слабосейсмичной Казахской платформе, которая характеризуется существенно меньшей проницаемостью пород, а также меньшим количеством произведенных ПЯВ (около 350), геодинамические процессы были не столь интенсивными. В связи с этим насыщение флюидами земной коры произошло, видимо, не на всей территории полигона, а прежде всего в окрестностях крупных разломных зон [1, 2, 7]. Кроме того, высокая концентрация флюидов здесь сохраняется и в верхах мантии под площадкой Балапан [1].

ЛИЯП расположен в сейсмоактивном районе Восточного Тянь-Шаня, который характеризуется промежуточной проницаемостью пород коры и верхов мантии по отношению к рифтовой зоне запада США и Казахской платформе. Однако здесь было проведено более чем на порядок меньше мощных ПЯВ, чем на двух других рассматриваемых полигонах [3]. Можно полагать, что существенно менее интенсивное совокупное техногенное воздействие в районе ЛИЯП привело к тому, что здесь наблюдается лишь начальная стадия подъема флюидов, которые сконцентрировались в верхах мантии и еще не успели в значительных количествах подняться в земную кору.

В заключение заметим, что аналогичный эффект подъема мантийных флюидов в земную кору наблюдается также после многих неглубоких сильных и сильнейших землетрясений [5, 11, 12]. В обоих случаях этот процесс энергетически выгоден, поскольку в конечном счете приводит к уменьшению потенциальной энергии Земли.

Авторы признательны Д.Д. Гордиенко и Т.А. Жаханову за помощь в обработке первичных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Физика Земли. 2001. № 11.
2. *Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N.* General Assembly of the IASPEI. Abstracts. Santiago, 2005.
3. *Fisk M.* // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2002. V. 92. № 8. P. 2911–2925.
4. *Копничев Ю.Ф., Аракелян А.Р.* // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 77–92.
5. *Копничев Ю.Ф., Гордиенко Д.Д., Соколова И.Н.* // ДАН. 2006. Т. 408. № 2. С. 238–242.
6. *Копничев Ю.Ф.* Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985. 176 с.
7. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Вестн. НЯЦ РК. 2003. В. 2. С. 83–87.
8. *Копничев Ю.Ф.* // ДАН. 1998. Т. 363. № 6. С. 819–822.
9. *Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г. и др.* // ДАН. 1987. Т. 297. № 1. С. 52–56.
10. *Hier-Majumder S., Kohlstedt D.* // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. at. L08305. doi: 10.1029/2006GL025716.
11. *Husen S., Kissling E.* // Geology. 2001. V. 29. № 9. P. 847–850.
12. *Копничев Ю.Ф., Гордиенко Д.Д., Соколова И.Н.* // ДАН. 2007. Т. 416. № 3. С. 380–383.