

УДК 550.34(574.41)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾Комплексная сейсмологическая экспедиция ОИФЗ РАН, г. Талгар

²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, г. Курчатов

По записям калибровочных химических взрывов в районе Семипалатинского испытательного полигона (СИП), полученным близкими станциями, изучена структура поля поглощения в земной коре и верхней мантии в районах площадок Дегелен и Балапан. Анализировались характеристики огибающих короткопериодной коды на частотах 1.25 и 5 Гц. Показано, что в районе Балапана, где проходят две крупные зоны глубинного разлома, наблюдается аномально сильное поглощение S-волн в диапазоне глубин 10-120 км. В районе Дегелена на таких же глубинах поглощение существенно более слабое. В то же время на глубинах более 200 км в районе полигона добротность резко возрастает.

Предполагается, что пространственно-временные вариации структуры поля поглощения связаны с подъемом ювенильных флюидов по крупным зонам глубинного разлома, обусловленным длительным и интенсивным воздействием мощных взрывов. Такой механизм позволяет объяснить также существование крупной тепловой аномалии в районе северо-восточного Казахстана, включающем СИП.

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие подземных ядерных взрывов (ПЯВ) приводит к существенной перестройке среды в непосредственной близости от очагов – образуются полости и зоны трещиноватости, заметно изменяется уровень подземных вод. Вместе с тем, до сих пор практически ничего не известно о возможных изменениях структуры среды на сравнительно больших глубинах в земной коре и, тем более, в верхней мантии. В настоящей работе рассматриваются неоднородности структуры поля поглощения S-волн в районе северо-восточного Казахстана, в котором расположен Семипалатинский испытательный полигон (СИП).

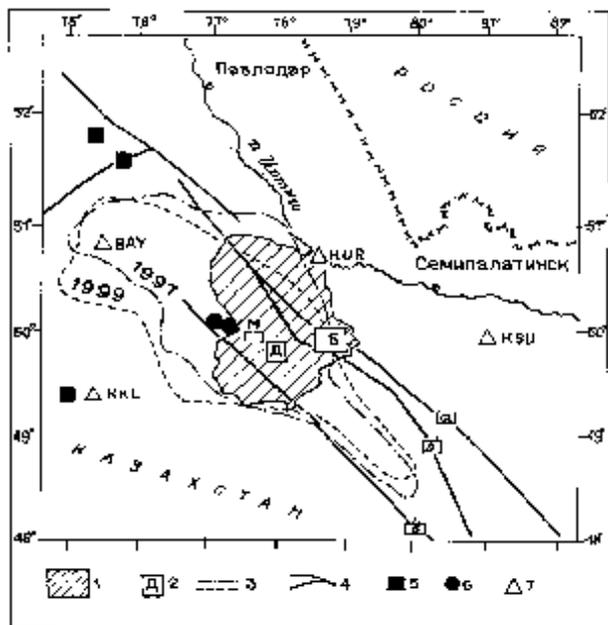
С 1949 г. по 1989 г. в районе СИП было проведено 466 ядерных испытаний, в том числе 30 наземных, 88 воздушных и 348 подземных [1]. ПЯВ проводились, начиная с 1961 г., их максимальная мощность составляла порядка 150 кт в тротиловом эквиваленте. По количеству испытаний СИП уступает только полигону в штате Невада (США). В связи с этим территория СИП является уникальной природной лабораторией, в которой можно изучать эффекты, связанные с интенсивным и достаточно продолжительным техногенным воздействием на геологическую среду в тектонически «спокойном» районе.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район СИП находится на северо-восточной окраине обширной Казахской платформы. Территория района приурочена к области сочленения двух крупных региональных структур: каледонской –

Чингиз-Тарбагатайской, и герцинской – Иртыш-Зайсанской. Границей между ними служит Калба-Чингизский глубинный разлом, который, по существу, является областью интенсивных тектонических движений на протяжении всей геологической истории. Район характеризуется широким развитием интрузивного магматизма. Интрузивные образования представлены магматическими породами самого разнообразного состава - от ультрабазитов до щелочных гранитоидов. На большей части территории СИП палеозойский фундамент перекрыт сравнительно тонким слоем палеогеновых и более молодых осадочных пород. Максимальная мощность их составляет несколько сотен метров.

Подавляющее большинство ПЯВ в районе СИП было произведено на двух площадках (Рис.1) – Дегелен (более 200) и Балапан (более 100). Кроме того, 25 взрывов было осуществлено на площадке Муржик [1]. На площадке Дегелен заряды помещались в штольнях, пройденных в горном массиве, на двух других – в скважинах, ниже тонкого слоя осадочных пород. Начиная с 1976 г., почти все достаточно сильные взрывы (более 20 кт) проводились на площадке Балапан. Существенно, что в районе площадки Балапан проходят два крупных глубинных разлома (Рис.1) – Калба-Чингизский и Чинрауский [2], по геофизическим данным достигающие границы Мохо. В районах площадок Дегелен и Муржик выделены достаточно мелкие разрывные нарушения [2]. Еще один крупный глубинный разлом – Главный Чингизский, проходит несколько южнее этих площадок. Средняя мощность земной коры в районе полигона составляет 44 км [3].



1 – территория СИП; 2 – площадки: М- Муржик, Д – Дегелен, Б – Балапан; 3 – границы области температурной аномалии в 1997 и 1999 гг; 4 – главные зоны разлома: а – Чинрауская, б – Калба-Чингизская, в – Главная Чингизская; 5 – наиболее крупные карьеры в окрестностях СИП; 6 – эпицентры местных землетрясений; 7 – сейсмические станции.

Рис.1. Карта района исследований

В 1997-99 г.г. довольно большой район северо-восточного Казахстана, включающий СИП, характеризовался очень яркой тепловой аномалией [4]. Как видно из рис.1, тепловая аномалия занимает площадь, примерно в 3 раза больше, чем территория СИП. Она вытянута в северо-западном – юго-восточном направлении, и ее центр существенно смещен к северо-западу по отношению к центру полигона. В зимние месяцы в этом районе отсутствовал снежный покров, и температура поверхности была приблизительно на 10° С выше, чем в окружающих областях.

Район СИП характеризуется слабой сейсмической активностью. Известно 2 землетрясения, произошедших на территории полигона - 20.03.1976 г. ($m_b=5.1$) и 26.03.1996 г. ($m_b=4.2$) [5] (рис.1).

В окрестностях СИП, на расстояниях до 300 км от сейсмической станции KUR, расположен ряд промышленных карьеров. По интенсивности взрывных работ среди них, безусловно, доминируют карьеры в районах Экибастуза и Майкаина, к северо-западу от полигона (рис.1). До начала 90-х годов здесь достаточно часто производились сравнительно сильные химические взрывы (мощностью несколько десятков тонн тнт). Относительно мощные взрывы (до 50 тонн тнт) регулярно проводились в эти годы также на карьере ГОК Карагайлы (в 26 км к западу от сейсмической станции KKL). В 90-е годы количество и мощность взрывов на этих и других карьерах существенно уменьшились.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рассматривались сейсмограммы 6 калибровочных химических взрывов мощностью до 100т, проводившихся в 1997-2000 г.г. в районе СИП [3], данные по которым приведены в табл.1.

Табл. 1. Параметры калибровочных взрывов

| Дата | Время | Широта (°N) | Долгота (°E) | Масса заряда, кг |
|------------|-------------|-------------|--------------|------------------|
| 08/03/1997 | 8:07:20.040 | 49.9412 | 78.7860 | 25000 |
| 08/31/1997 | 7:08:38.750 | 49.8837 | 78.8148 | 25000 |
| 08/22/1998 | 5:00:18.904 | 49.7667 | 77.9908 | 100000 |
| 09/17/1998 | 7:19:40.551 | 49.9810 | 78.7559 | 25040 |
| 09/25/1999 | 5:00:05.800 | 49.7819 | 77.9663 | 100000 |
| 07/29/2000 | 6:10:04.250 | 49.7819 | 77.9663 | 100000 |

Сейсмограммы получены трехкомпонентными цифровыми станциями REFTEK, установленными на эпицентральных расстояниях до 250 км. Станции оборудованы сейсмометрами STS-1, STS-2, CMG-3, CMG-40T, K213-S и L4C. Использовались также записи трех цифровых станций BAY, KKL и KSU (рис.1), установленных в ходе совместных советско-американских работ по сейсмическому контролю ядерных взрывов в 1987-88 г.г. (запись велась сейсмометрами GS-13) [6]. Анализировались записи калибровочных химических и ядерного взрывов, произведенных в районе СИП. И, наконец, для сравнения анализировались записи местных землетрясений и карьерных взрывов, полученные 40 цифровыми станциями REFTEK, расположенными в районе Центрального Тянь-Шаня, а также станциями BRVK и MAK, расположенными на северной и восточной окраинах Казахской платформы (рис.2). В общей сложности обработано более 200 записей взрывов и землетрясений.

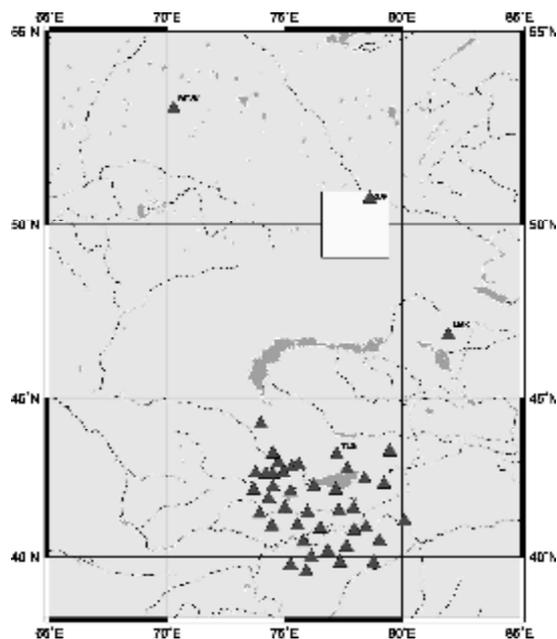


Рис.2. Расположение цифровых сейсмических станций, записи которых использованы в работе. Прямоугольник - положение СИП

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Анализ записей местных взрывов и землетрясений. При интерпретации записей близких взрывов использовался метод, основанный на анализе характеристик короткопериодной S-коды. Ранее, [8-10]), путем всестороннего анализа экспериментальных данных - направлений подхода волн, кажущихся скоростей и поляризации волновых групп в коде, пространственно-временных характеристик огибающих и т.д., - было установлено, что в районе Центральной Азии на частотах около 1 Гц, кода местных землетрясений и карьерных взрывов сформирована, главным образом, поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии. При такой схеме формирования коды участки относительно быстрого и медленного затухания амплитуд в коде связаны с проникновением S-волн в слои соответственно сильного и слабого поглощения. Глубины этих слоев определяются в предположении формирования коды однократно отраженными волнами. Поглощение характеризовалось эффективной добротностью Q_s , которая определялась по затуханию амплитуд в коде с помощью формулы

$$A(t) \sim \exp(-\pi t / Q_s T) / t,$$

где T – период колебаний, время t отсчитывается от начала излучения в очаге [8].

В связи с уникальностью района СИП необходимо учитывать возможное влияние техногенных изменений структуры среды в самой верхней части разреза на вариации волновых полей. Известно, например, что при ПЯВ образуются полости и зоны трещиноватости, размеры которых зависят от мощности взрыва. Однако экспериментальные данные показывают, что даже при мощности взрыва порядка 150 кт радиус зоны трещиноватости составляет всего лишь около 0.5 км [11]. Известен также эффект локального изменения гидрогеологического режима подземных вод в верхней части разреза в результате ПЯВ, который наблюдается в области с линейным размером на порядок больше, чем для зоны наведенной трещиноватости. Однако этот эффект сравнительно кратковременный, и гидрогеологический режим обычно восстанавливается в течение года после испытания [11].

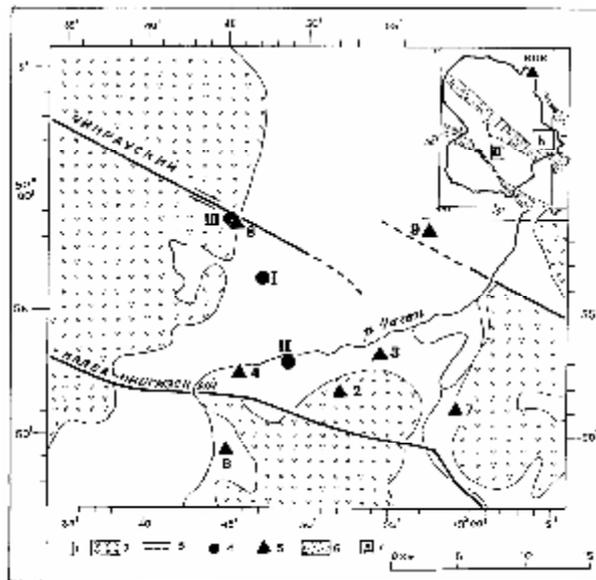
Необходимо также заметить, что вариации структуры среды в самой верхней части коры могут привести к изменению только общего уровня коды, но не формы огибающих. Отсюда следует, что особенности структуры среды в верхней части разреза СИП не служат препятствием для изучения поля поглощения на достаточно больших глубинах с помощью описанной выше методики.

При обработке сейсмограмм применялась узкополосная частотная фильтрация, которая позволяет исключить из анализа эффекты, связанные с различием спектров очагового излучения для разных со-

бытий, зависимостью эффективной добротности от частоты и т.д. [8,9]. Использовались фильтры с центральными частотами 1.25 и 5 Гц и шириной 2/3 октавы на уровне 0.7, аналогичные соответствующим ЧИСС-каналам [7].

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Структура поля поглощения поперечных волн в районе СИП. На рис.3 показано расположение эпицентров калибровочных взрывов и станций ближней зоны на площадке Балапан.



1 – молодые осадочные породы, 2 – выходы палеозойского фундамента, 3 – зоны разломов, 4 – эпицентры калибровочных взрывов (Табл.1), 5 – сейсмические станции, 6 - антиклинории, 7 - площадки Дегелен и Балапан. На врезке - станция KUR.

Рис.3. Карта площадки Балапан

На рис.4 представлены примеры записей калибровочного взрыва 31 августа 1997 г. на площадке Балапан, полученные разными цифровыми станциями (ЧИСС-канал 1.25 Гц). Видно, что скорость затухания амплитуд в коде существенно различается для разных станций

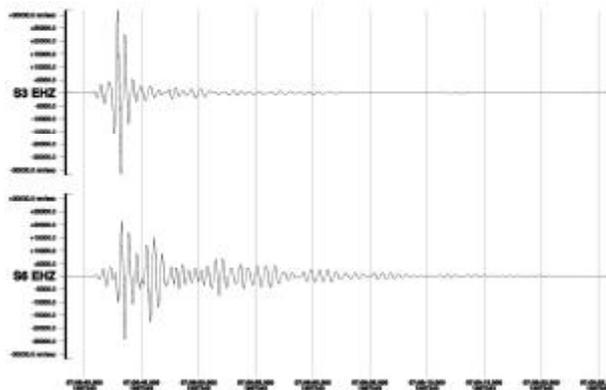
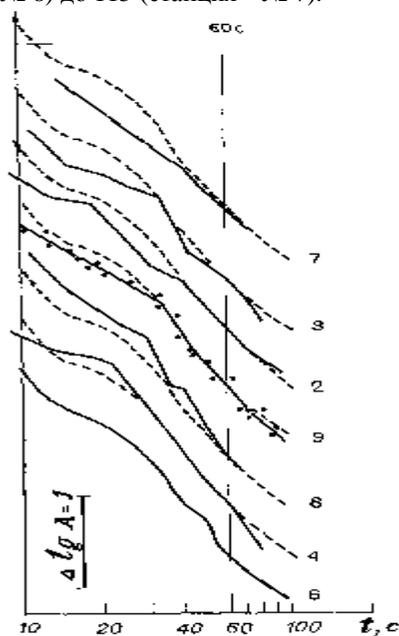


Рис. 4. Примеры записей калибровочного взрыва на площадке Балапан. Станции 3, 6 (по Рис.3). ЧИСС-канал 1.25 Гц. Вертикальная компонента

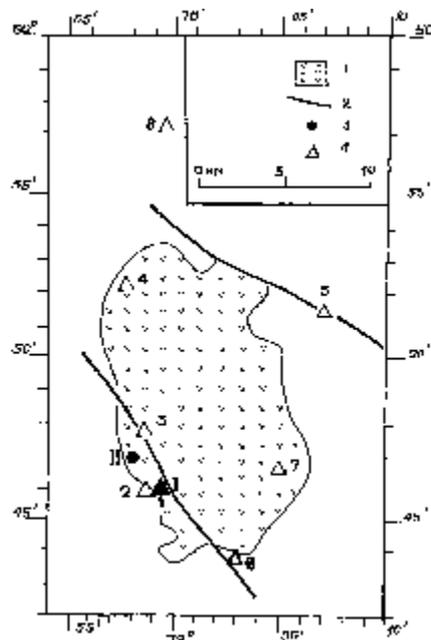
По записям разных станций взрывов, проведенных на площадках Балапан и Дегелен, для ЧИСС-каналов 1.25 и 5 Гц построены огибающие коды. Из рис.5 следует, что для площадки Балапан форма огибающих на частоте 1.25 Гц заметно варьируется даже для таких станций, которые разнесены на расстояние всего лишь около 6 км (например, № 4 и № 6 - рис.3). Наиболее характерная черта огибающих – очень быстрое затухание амплитуд при $t=10-60$ с на записях станций, расположенных непосредственно перед зонами глубинных разломов или за ними (№ 4, №6 и №8), по сравнению с остальными станциями. На первый взгляд, исключение составляет огибающая коды для станции 9, однако разлом в районе данной станции выделяется недостаточно надежно. В интервале 20-60с, соответствующем глубинам 35-120 км, эффективная добротность Q_s варьируется от 55 (станция № 8) до 115 (станция № 7).



Параметр кривых - номера станций. Пунктир – огибающая коды для станции 6. Точки – данные станции 9

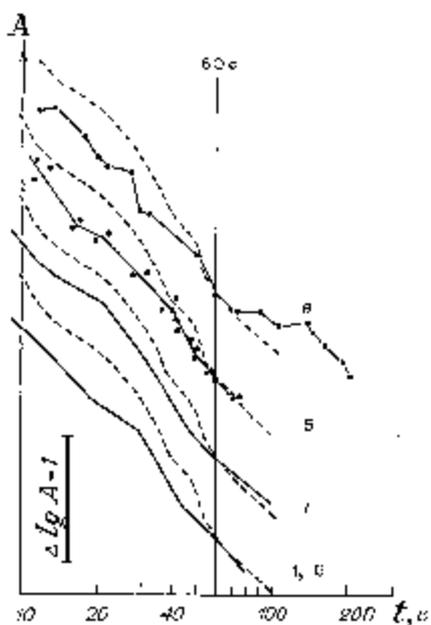
Рис. 5. Общие огибающие коды записей калибровочных взрывов, произведенных на площадке Балапан. ЧИСС-канал 1.25 Гц.

На рис.6 представлено расположение эпицентров калибровочных взрывов и станций ближней зоны на площадке Дегелен. На рис.7 показаны общие огибающие коды для взрывов на площадке Дегелен.



1 – массив Дегелен (палеозойские породы), 2 – разломы второго порядка. 3 – эпицентры калибровочных взрывов, 4 – сейсмические станции.

Рис. 6. Карта площадки Дегелен



Параметр кривых - номера станций (по Рис. 6). Пунктир – огибающая коды для станции 6 (по Рис.3). Точки - данные станции 5 для построения огибающей. Пунктир с точкой - индивидуальная огибающая для станции 8.

Рис. 7. Общие огибающие коды записей калибровочных взрывов на площадке Дегелен. ЧИСС-канал 1.25 Гц

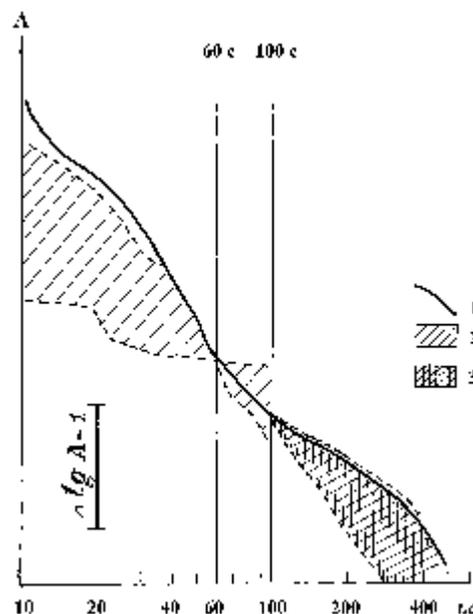
В рассматриваемом случае огибающие для разных станций в интервале $t=20-60$ с затухают значительно слабее, чем для станции № 6 в районе площадки Балапан. По данным станции № 8 амплитуды в коде убывают гораздо медленнее, чем для площадки Балапан, и в интервале 60-100с. В диапазоне

$t=20-60$ с величина Q_s изменяется от 85 (станция № 7) до 110 (станции № 1, № 6). Вместе с тем, в интервале 10-20с, соответствующем средней и нижней коре (глубины ~20-35 км), амплитуды в коде убывают достаточно быстро (особенно для станции №5), не слабее, чем для района площадки Балапан. Для сравнения, на Рис.8 показан диапазон разброса данных для огибающих коды местных землетрясений и карьерных взрывов, которые построены по записям 40 цифровых станций в районе Центрального Тянь-Шаня, ограниченном координатами $39^{\circ}-44^{\circ}$ N и $73^{\circ}-80^{\circ}$ E (рис.2).

Видно, что при совмещении огибающих при $t=60$ с в интервале от 10 до 60с, соответствующем диапазону глубин ~20-120 км, все огибающие для района Тянь-Шаня затухают значительно медленнее, чем для станции № 6 в районе площадки Балапан. На этом же рисунке показан разброс данных в интервале 100-300 с для огибающих, совмещенных при $t=100$ с (использованы записи 29 цифровых станций в том же районе). В данном случае в районе Центрального Тянь-Шаня коды, наоборот, затухают, как правило, сильнее, чем для станции KUR, расположенной на расстоянии ~90 км к северу от эпицентров калибровочных взрывов в районе площадки Балапан. В интервале 100-300с, соответствующем глубинам ~230-700 км, величина Q_s для станции KUR равна 2800.

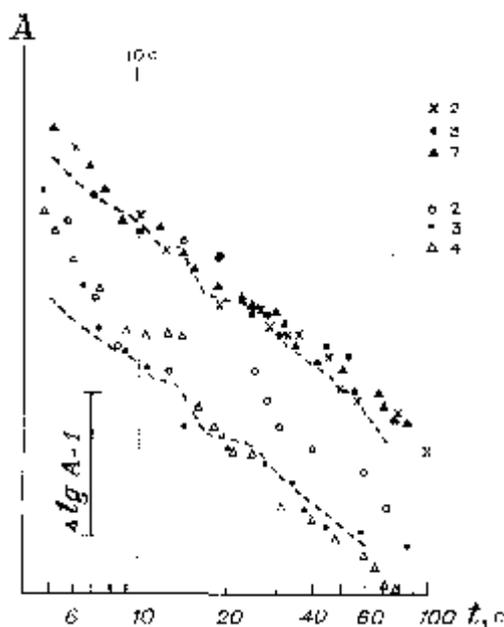
На рис.9 представлены огибающие коды, построенные по записям самых близких станций ($\Delta < 7$ км) для фильтра с центральной частотой 5 Гц. На таких расстояниях для относительно высоких частот можно изучить затухание коды на очень малых временах ($t < 10$ с), соответствующих уже верхней части коры. Из рис.9 видно, что для площадки Балапан, как и для частоты 1.25 Гц, при $t > 10$ с имеют место большие вариации формы огибающих; наиболее сильное затухание коды снова наблюдается для станции № 4, расположенной вблизи от зоны разлома. Вместе с тем, при $t=5-10$ с (глубины ~10-20 км) форма огибающих достаточно устойчива; амплитуды в коде затухают очень быстро, величина Q_s равна 50. Для сравнения приведена огибающая коды для зоны Заилийского разлома в районе Северного Тянь-Шаня, которая построена по записям взрывов на маленьком карьере Котур-Булак, полученным станцией TLG ($\Delta=10$ км). В этой зоне наблюдается достаточно высокое поглощение S-волн [8].

Тем не менее, как видно из рис.9, огибающая коды на частоте 5 Гц затухает гораздо слабее, чем для площадки Балапан (в интервале 5-10 с $Q_s=480$). Для площадки Дегелен затухание коды при $t=5-10$ с. несколько слабее, чем для площадки Балапан (рис.9), однако величина Q_s все же достаточно мала (~80). Отметим очень высокую устойчивость формы огибающих, в сравнении с площадкой Балапан.



1 – общая огибающая коды по записям станций № 6 (Балапан) и KUR; 2 – огибающие совмещены при $t = 60$ с; 3 – при $t=100$ с.

Рис.8. Диапазон разброса данных для огибающих коды по записям 40 цифровых станций в районе Центрального Тянь-Шаня (Рис.2)



Цифры - номера станций. Пунктир – общая огибающая коды для взрывов на карьере Котур-Булак (станция TLG, $\Delta=10$ км).

Рис.9. Огибающие коды для канала 5 Гц, по записям калибровочных взрывов на Дегелене (верхние кривые) и Балапане

Таким образом, поле поглощения поперечных волн в районе площадки Балапан в 1997-2000 г.г. характеризовалось очень сильным поглощением в коре и верхах мантии. В районе площадки Дегелен на глубинах 35-230 км поглощение значительно

слабее, чем для площадки Балапан. Для всего района СИП характерно очень слабое поглощение в нижней части верхней мантии.

О размерах зон аномально сильного и слабого поглощения в земной коре и верхней мантии. Приблизительная оценка размеров зоны сильного поглощения на глубинах до 120 км в районе площадки Балапан может быть сделана по записям самых близких станций. Как известно, радиус зоны Френеля для отраженных волн определяется выражением $R_f = \sqrt{H\lambda/2}$, где H – глубина отражающей площадки, λ – длина волны. Подставляя в него значения $H=120$ км, $\lambda=3.8$ км, получим: $R_f \sim 20$ км. Учитывая расстояние между станциями № 6 и № 8, для которых наблюдается сильное поглощение в указанном диапазоне глубин, а также положение эпицентров калибровочных взрывов, найдем, что максимальный линейный размер зоны сильного поглощения – порядка 50 км. Эта величина несколько меньше расстояния между центрами площадок Дегелен и Балапан, для которых поглощение в верхах мантии резко различается (~60 км), поэтому можно полагать, что полученная нами оценка близка к действительности.

На рис.10 представлены огибающие коды на частоте 1.25 Гц для разных трасс в окрестностях СИП, построенные по записям калибровочных взрывов, проводившихся в 1987-88 [6] и 1997-99 г.г. [3], а также по записям местных карьерных взрывов и землетрясений на расстояниях до 40-50 км (для станций BRVK, KKL, KSU и МАК).

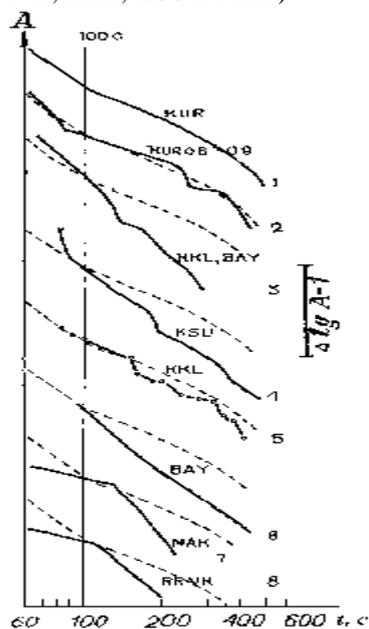


Рис.10. Огибающие коды для записей калибровочных взрывов: 1997-99 гг.- кривые 1,2,5,6; 1987-88 гг.- кривые 3,4; местных землетрясений -7,8. Пунктир – кривая 1

Станции KUR08 и KUR09 расположены на расстояниях около 19-21 км к юго-западу от станции KUR. Видно, что в диапазоне 100-300 с для трасс в

районе СИП и его близких окрестностях огибающие коды затухают очень слабо. Вместе с тем при удалении от площадок Дегелен и Балапан скорость затухания амплитуд в коде резко возрастает. Интересно, что по записям взрывов на Дегелене для станции ВАУ код затухает гораздо сильнее, чем для станции KKL, хотя эпицентральные расстояния для них различаются незначительно (соответственно 209 и 194 км). Сильное поглощение соответствует записям местных событий и для самых далеких станций (BRVK и МАК).

На рис.11 систематизированы данные о трассах, для которых наблюдается относительно слабое и сильное затухание амплитуд в коде при $t=100-300$ с для района СИП и его близких окрестностей. Центры кружков на рисунке соответствуют серединам разных трасс. Для станций KKL и KSU использованы записи местных карьерных взрывов; поглощение отнесено к районам станций.

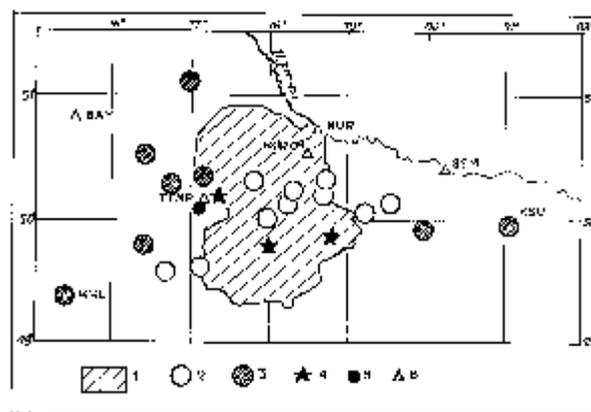


Рис.11. Области слабого (2) и сильного (3) поглощения по затуханию коды в интервале 100-300с для района СИП (1) и его близких окрестностей. Эпицентры калибровочных взрывов (4), землетрясения (5), станции (6)

Видно, что область слабого поглощения вытянута в восточном - северо-восточном направлении, примерно вдоль линии, соединяющей центры двух главных площадок на СИП – Дегелена и Балапана. Судя по имеющимся данным, максимальный линейный размер этой области – порядка 200 км.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные свидетельствуют об очень сильных пространственно-временных вариациях структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии в районе СИП и его близких окрестностях.

Один из самых неожиданных результатов – аномально сильное поглощение S-волн в земной коре и верхах мантии для площадки Балапан. Известно, что в слабосейсмичных районах Центральной Азии, к которым относится и Казахская платформа, средние скорости сейсмических волн в коре и верхах мантии обычно заметно выше, а поглощение слабее, чем в

тектонически активных районах [3,6,8,12]. Тем не менее, как мы видели, поглощение S-волн на глубинах ~20-120 км для площадки Балапан значительно сильнее, чем для района Центрального Тянь-Шаня, даже для юго-восточной его части, которая характеризуется наиболее низкими скоростями P-волн в верхах мантии [12].

На наш взгляд, единственно возможная интерпретация обнаруженных эффектов связана с подъемом флюидов из нижней части земной коры и верхней мантии. Ранее было показано, что в районе Северного Тянь-Шаня активная миграция флюидов по зоне Заилийского разлома наблюдалась после сравнительно слабых химических взрывов (мощностью до нескольких килотонн [13]). Тем более, этого можно ожидать для района СИП, где в течение 40 лет проводилось в среднем за год более 10 ядерных взрывов, мощность многих из которых превышала 100 кт [1].

Как известно, появление флюидов кардинально меняет условия прохождения S-волн – заметно снижаются скорости и резко увеличивается поглощение (в отличие от P-волн). В этих условиях существенно увеличивается скорость затухания амплитуд в короткопериодной коде и уменьшается отношение амплитуд волн S и P (что и приводит к вариациям параметра L_g/P_g на больших расстояниях).

Характерно, что подъем флюидов наиболее ярко проявился в районе Балапана, где проходят два крупных разлома, проникающих в верхнюю мантию. Как известно, зоны глубинных разломов, содержащие заметную долю флюидов, являются, по терминологии Пригожина [14], диссипативными структурами, которым свойственна, в частности, высокая чувствительность к внешним воздействиям [15]. Под действием сейсмических колебаний при мощных взрывах происходит раскрытие трещин и пор различного масштаба, что облегчает подъем флюидов из нижней коры и верхней мантии по разломным зонам. (Известно, что при импульсном акустическом воздействии на фильтрующую среду ее проницаемость может возрастать на несколько порядков [16]). Полученные данные о структуре поля поглощения свидетельствуют о том, что миграция флюидов может происходить с глубин более 200 км.

В то же время отсутствие крупных разломов в районе Дегелена обусловило невозможность прямой флюидной подпитки из верхней мантии. В связи с этим флюиды, вероятно, поднимались здесь в верхнюю кору в основном из нижнекорового волновода [17], поэтому поглощение поперечных волн в верхней мантии для Дегелена гораздо слабее, чем в районе Балапана.

Вместе с тем, есть основания предполагать, что мантийные флюиды активно поднимались по зоне Главного Чингизского разлома. Дело в том, что ближайшие эпицентры ПЯВ на площадках Дегелен и Муржик расположены на расстояниях всего лишь

~10-15 км от этого разлома; кроме того, массовые взрывы на площадке Дегелен начались на 8 лет раньше, чем на Балапане. Косвенным свидетельством этого может служить вытянутость зоны температурной аномалии в юго-восточном направлении вдоль данного разлома, а также приуроченность к нему эпицентров двух известных местных землетрясений (Рис.1).

Судя по структуре поля поглощения, каналы миграции флюидов сохранились в районе Балапана в течение 10 лет после прекращения ядерных испытаний. Это согласуется с имеющимися данными о подъеме мантийных флюидов в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня, продолжающемся, по крайней мере, несколько десятков лет после событий с $M > 6.5$ [18].

После проникновения флюидов в верхнюю кору они диффундируют по сетке разрывных нарушений, охватывая обширные территории. Об этом свидетельствует, в частности, достаточно высокое поглощение S-волн в верхней части коры для площадки Дегелен (несмотря на то, что интегральное поглощение в коре здесь существенно уменьшилось с середины 60-х до конца 80-х годов).

Рассмотрим теперь причины появления температурной аномалии в районе, включающем СИП. Заметим сначала, что определенный вклад в эту аномалию могут давать долговременные источники тепловой энергии, связанные с котловыми полостями, остающимися после ПЯВ. Известно, что средняя температура воздуха в этих полостях в течение многих лет может оставаться на уровне 30°-50°С [19]. Однако, судя по данным о структуре поля поглощения, общий объем этих полостей в районе СИП ничтожно мал по сравнению с объемом среды в коре и верхней мантии, в которой произошла перестройка флюидного поля. Кроме того, температура глубинных флюидов достаточно высока – так, например, даже в районе Кольской сверхглубокой скважины, пробуренной в древнейших породах Балтийского щита, на глубине 7200 м температура подземных вод оказалась равной 120°С [20].

Учитывая полученные данные, логично связать температурную аномалию в районе северо-восточного Казахстана с подъемом ювенильных флюидов в районе СИП. При быстром подъеме к поверхности, смешиваясь с приповерхностными подземными водами, они вызывают повышение их температуры и обуславливают появление тепловой аномалии на достаточно большой площади.

Остановимся еще на особенностях пространственной структуры обсуждаемой температурной аномалии. Очевидно, что область аномалии вытянута вдоль простирания главных глубинных зон разлома. Вместе с тем, ширина этой области существенно варьируется - она максимальна в районе западной границы СИП, в 1,5-2 раза меньше на северо-

западной окраине области, и в 4-5 раз меньше – на ее юго-восточной окраине.

Можно полагать, что причины столь явной анизотропии области тепловой аномалии связаны, во-первых, с распространением флюидов вдоль главных разрывных нарушений, и во-вторых, с воздействием взрывных источников в районах описанных карьеров к северо-западу и западу от СИП. После того, как флюиды проникли в верхнюю часть коры, даже сравнительно слабые, но регулярные вибрационные воздействия от карьерных взрывов, существенно изменяющие проницаемость фильтрующей среды, должны приводить к постепенной миграции флюидов, в первую очередь в направлении этих карьеров.

Имеющиеся данные не позволяют определить, когда образовалась тепловая аномалия в ее нынешнем виде [4]. Учитывая, что с начала 90-х годов интенсивность взрывных работ на карьерах к западу и северо-западу от СИП резко снизилась, можно предполагать, что рассматриваемая аномалия сформировалась в основном к 1990 г. В пользу такого заключения может свидетельствовать тот факт, что площадь аномалии практически не изменилась с 1997 по 1999 г.

Выводы

1. По записям 24 цифровых и аналоговых сейсмических станций исследованы пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии СИП.
2. Анализ коды записей местных землетрясений на частотах около 1 Гц показал, что поле поглощения S-волн в рассматриваемом районе характеризуется существенной пространственной неод-

нородностью. Очень сильное поглощение на глубинах 35-120 км наблюдается в зонах крупных глубинных разломов в районе площадки Балапан. Для площадки Дегелен, где выделены только мелкие разрывные нарушения, поглощение S-волн на таких глубинах гораздо слабее.

3. Путем анализа записей S-коды на частоте 5 Гц показано, что сильное поглощение наблюдается в верхней части коры, на глубинах 10-20 км для площадок Балапан и Дегелен.
4. Установлено, что поглощение S-волн в районе площадки Балапан на глубинах 20-120 км гораздо сильнее, чем по данным 40 сейсмических станций в районе Центрального Тянь-Шаня. В то же время на глубинах более 200 км в верхней мантии района СИП поглощение, как правило, слабее, чем для близких окрестностей разных станций в районе Центрального Тянь-Шаня.
5. Предложена интерпретация обнаруженных эффектов, связанная с подъемом флюидов по крупным зонам разлома из верхней мантии в районе СИП в результате длительного интенсивного воздействия на геологическую среду мощных взрывов.
6. Подъем флюидов из верхней мантии в верхнюю кору и дальнейшая их диффузия по мелким разрывным нарушениям, возможно, позволяет объяснить существование крупной температурной аномалии в районе северо-восточного Казахстана, включающем СИП.

Благодарность

Авторы признательны С.Рёкеры (Rensselaer Polytechnic Institute) и Щелочкову Г.Г. (Объединенный институт высоких температур) за предоставление цифровых записей тяньшаньских станций.

Литература

1. Михайлов В.Н. (ред.). Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР, 1949-1990 г.г. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 1996, 66 с.
2. Пейве А.В., Моссаковский А.А. Объяснительная записка к тектонической карте Казахстана. М.: Наука, 1982.
3. Беляшова Н.Н., Шацков В.И., Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Беляшов А.В., Малахова М.Н. Использование калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне для уточнения скоростного разреза земной коры и верхней мантии. Вестник НЯЦ РК: «Геофизика и проблемы нераспространения», 2000, вып.2, с.45-52.
4. Sultangazin U.M., Zakarin E.A., Spivak L.F., Arkhipkin O. P., Muratova N.R., Terekhov A.G. Monitoring of temperature anomalies in the former Semipalatinsk test site. Acad. Sci., Paris, 1998, v.326, ser. "Method. i instrum.", p.135-140.
5. Pooley C., Douglas A., Pearce R. The seismic event of 1976 March 20, east Kazakhstan: earthquake or explosions? Geophys. J. R. astr. Soc., 1983, v.74, p.621-631.
6. Нерсесов И.Л., Сидорин А.Я. (ред). Советско-американские работы по сейсмическому контролю ядерных взрывов. М.: Наука, 1991, 143с.
7. Запольский К.К. Частотно-избирательные станции ЧИСС. В кн.: Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971, с.20-36.
8. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985, 176с.
9. Aptikaeva O.I., Kopnichev Yu.F. Space-time variations of the coda wave envelopes of local earthquakes in the region of Central Asia. J. Earthq. Predict. Res., 1993, v.2, N 4, p.497-514.
10. Каазик П.Б., Копничев Ю.Ф., Нерсесов И.Л., Рахматуллин М.Х. Анализ тонкой структуры короткопериодных сейсмических полей по группе станций. Физика Земли, 1990, N 4, с.38-49.
11. Адушкин В.В., Спивак А.А. Изменение уровня подземных вод в результате проведения подземных ядерных взрывов. Бюлл. ЦОИАЭ, 1993, N 9, с.38-43.
12. Roecker S.W., Sabitova T.M., Vinnik L.P., Burmakov Y.A., Golvanov M.I., Mamatkanova R., Munirova L. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan. J.Geophys. Res., 1993, v.98, N B9, p.15779-15795.

13. Копничев Ю.Ф. О воздействии мощных взрывов на структуру поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхах мантии. ДАН, 1998, т.363, 6, с.819-822.
14. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979, 512с.
15. Родкин В.В. Роль глубинного флюидного режима в геодинамике и сейсмотектонике. М., 1993, 194с.
16. Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Николаев А.В. О некоторых эффектах вибрационного сейсмического воздействия на водонасыщенную среду. Сопоставление их с эффектами удаленных сильных землетрясений. ДАН, 1987, т.297, 1, с.52-56.
17. Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д. О природе электропроводности консолидированной коры. Физика Земли, 1996, 4, с.5-11.
18. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н., Шепелев О.М. Временные вариации поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений. ДАН, 2000, т.374, 1, с. 99-102.
19. Бусыгин В.П., Андреев А.И., Косолапов С.А. Термический режим дневной поверхности в эпицентральной зоне подземных ядерных взрывов. Физика Земли, 1999, 11, с.68-74.
20. Козловский Е.А. (ред.). Кольская сверхглубокая. М.: Недра, 1984, 490с.

СЕМЕЙ ПОЛИГОНЫ АУДАНЫНДА КӨЛДЕНЕҢ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЖҰТЫЛУ ӨРІСІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ ТУРАЛЫ ЖАҢА ДЕРЕКТЕР

¹⁾Ю.Ф. Копничев, ²⁾И.Н. Соколова

¹⁾РҒА ЖФБИ Кешенді сейсмологиялық экспедициясы

²⁾ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты

Семей полигонындағы, оған жақын жатқан станциялармен алынған калибрлеу химиялық жарылыстардың жазбасы бойынша Дегелен және Балапан алаңдарының аудандарында жер қыртынысында және жоғарғы мантияда сейсмикалық толқындардың жұтылу өрісінің құрылымы зерттеліп білінген. 1,25 Гц және

5 Гц жиіліктерде қысқапериодты кодалардың орайжанауышының сипаттамасы талданған. Екі ірі жарылым өтетін Балапан алаңында 10-120 км. тереңдігі ауқымында S-толқындардың аномальды жұтылуы байқалғаны көрсетілген. Сол кезде 200 км. көбірек тереңдікте полигон ауданында төзімділігі көбееді.

Жұтылу өрісі құрылымының кеңістік-уақыттық вариациялары күрделі жарылыстардың ұзақ және қарқындылы әсерінен пайда болған ірі жарылым белдемдерімен ювенильдік флюидтердің көтеруілімен байланысты болуы жорамалданып отыр. Осындай тетік, ССП-ніі қосатын солтүстік-шығыс Қазақстанда ірі жылу ауытқуы бар болғанын түсіндіруге мүмкіндік береді.

NEW DATA ON THE STRUCTURE OF SHEAR WAVE ATTENUATION FIELD IN THE REGION OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

¹⁾Yu.F. Kopnichev, ²⁾I.N. Sokolova

¹⁾Complex Seismological Expedition of the Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Talgar

²⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Using the recordings of the chemical explosions in Kazakhstan, obtained by locally deployed stations, we have studied the structure of the attenuation field in the earth's crust and upper mantle in the areas of the Degelen and Balapan test sites. We have analyzed the characteristics of short-period coda envelopes at frequencies of 1.25 and 5 Hz. The study has shown that abnormally high S-wave attenuation is observed at the Balapan site in the depth range of 10-120 km, where two large fault zones pass. At the Degelen site, the attenuation for the same depth range is much weaker. However, Q values sharply increase at the depth over 200 km in the area of the Semipalatinsk test site.

We suppose that spatio-temporal variations of the attenuation field structure are associated with a rise of juvenile fluids through the deep fault zones caused by the long and intensive influence of the explosions. Such a mechanism also allows us to explain the existence of a large-scale heat anomaly in the area of the northeastern Kazakhstan, including the Semipalatinsk test site.