

УДК [550.34:(621.039.9+541.126)] (574.41)

ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ПО ЗАПИСЯМ ЯДЕРНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾Объединенный институт физики Земли РАН, г. Москва

²⁾Институт геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Алматы

По записям более 200 подземных ядерных и химических калибровочных взрывов, полученным в 1964 - 2000 гг. станциями Талгар, TLG (Северный Тянь-Шань), Курчатов, KURK (Восточный Казахстан), Боровое, BRVK (Кокчетавский массив), Гарм, GRM (Южный Тянь-Шань), расположенными на расстояниях 77-1400 км от эпицентральной зоны явлений, изучены временные вариации отношения амплитуд волн Lg и Pg, Lg и P. Установлено, что данные параметры изменяются во времени существенно различным образом для разных трасс. Сделано предположение, что пространственно-временные вариации поля поглощения сейсмических волн связаны с подъемом ювенильных флюидов по крупным глубинным разломам, обусловленным длительным воздействием мощных подземных ядерных взрывов.

Ранее [1,2] рассмотрены пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП) по записям калибровочных химических и подземных ядерных взрывов (ПЯВ). В настоящей работе, продолжающей эти исследования, анализируются вариации поля поглощения в большем районе Центральной Азии, включающем Казахскую платформу и Тянь-Шань.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Обработаны сейсмограммы более 200 подземных ядерных взрывов, произведенных в районе СИП в 1964-1989 гг., а также калибровочных химических взрывов, проводившихся здесь в 1997-2000 гг. [3]. Сейсмограммы получены станциями (рисунок 1) KURK (СИП), BRVK (Кокчетавский массив), TLG (Северный Тянь-Шань), GRM (Южный Тянь-Шань).

Для регистрации сейсмограмм на станции KURK в разное время использовалась следующая аппаратура: до 1989 г - аналоговая установка СКМ-III, с 1997 г по 2000 г - широкополосная трехкомпонентная сейсмическая станция DAS Reftek с сейсмометром STS-2. Некоторые обработанные записи событий получены широкополосной трехкомпонентной станцией IRIS/IDA, сейсмометр STS-1. На сейсмической станции BRVK до 1989 г. записи выполнялись цифровой станцией с сейсмометром СКМ-III; в период 1997 -1999 гг. - сейсмической станцией DAS Reftek, сейсмометр STS-2; в 1999-2000 гг. - сейсмической станцией Quanterra Q680, сейсмометр STS-2. На станции TLG использовалась аналоговая установка СКМ-III (СМ-2) и на станции GRM - аналоговая частотно-избирательная станция ЧИСС [4].

Эпицентральные расстояния варьировались от 77 км (станция KURK) до 1408 км (станция GRM).

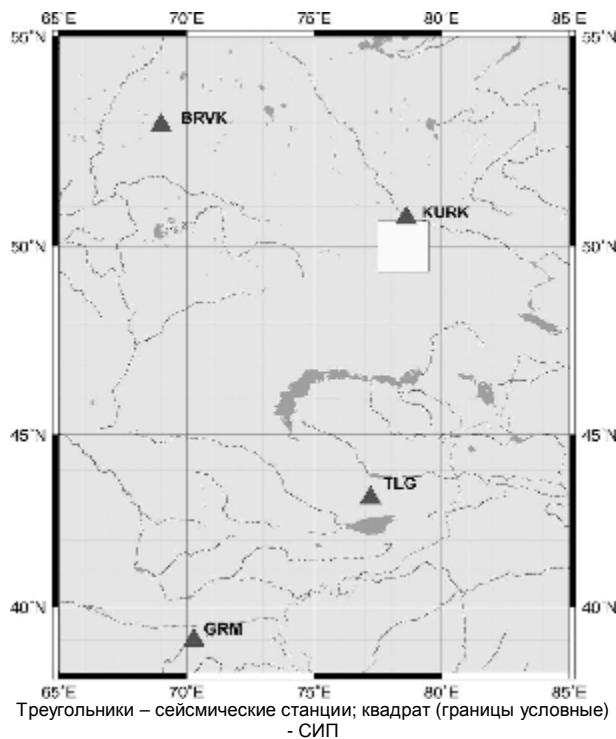


Рисунок 1. Район исследований

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В связи с тем, что поглощение поперечных волн в литосфере и астеносфере существенно зависит от частоты колебаний [5], была проведена частотная фильтрация записей. Использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной полосы 2/3 октавы на уровне 0.7 от максимума, аналогичный ЧИСС-фильтру.

Анализировались амплитудные характеристики регулярных волн (P, Pg, Lg), а также S- и Lg- коды. Как известно, волны Pg и Lg формируются за пределами отраженными от границ земной коры P- и S-волнами, а кода S- и Lg- волн - отражениями попе-

речных волн от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии [5, 6]. В связи с этим, логарифмы отношения амплитуды волн Lg и P(Lg/P), Lg и Pg (Lg/Pg) характеризуют степень поглощения поперечных волн в земной коре на всей трассе от очага до станции наблюдения. Скорость затухания амплитуд в группе Lg на сравнительно малых временах после достижения максимума также служит мерой поглощения S-волн в земной коре. В то же время «далекая» кода S- и Lg-волн характеризует поглощение поперечных волн в верхней мантии [5].

АНАЛИЗ ДАННЫХ

На рисунке 2 показаны общие огибающие S-коды, построенные по записям станции KURK двух подземных ядерных взрывов, а также двух калибровочных химических взрывов, произведенных на площадке Балапан (рисунок 3) в 1988 г. и 1997 г., соответственно. Видно, что в интервале от 140 до 300 с скорость затухания амплитуд в коде резко уменьшилась в 1997 г по сравнению с 1988 г. Это свидетельствует о существенном уменьшении поглощения S-волн в верхней мантии района СИП на глубинах более 300 км.



Рисунок 2. Общие огибающие S-коды для ПЯВ и химических взрывов на площадке Балапан (время t отсчитывается от начала излучения в очаге)

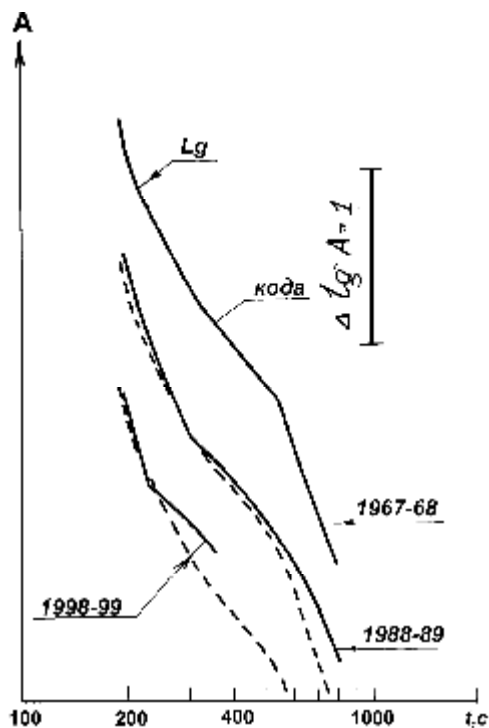


1 – территория СИП; 2 – площадки (М – Муржик, D – Дегелен, В – Балапан); 3 – границы области температурной аномалии, выявленной в 1997 и 1999 гг.; 4 – главные зоны глубинных разломов (а – Чинрауская, б – Калба-Чингизская, с – Главная Чингизская); 5 – наиболее крупные карьеры в окрестности СИП; 6 – эпицентры местных землетрясений; 7 – сейсмическая станция.

Рисунок 3. Семипалатинский испытательный полигон с прилегающими территориями

На рисунке 4 приведены общие огибающие Lg-волны и коды для записей подземных ядерных и химических взрывов на площадке Дегелен, полученных станцией BRVK. Из рисунка следует, что по сравнению с 1967-1968 гг. скорость затухания амплитуд в 1988-1989 гг. заметно увеличилась в группе волн Lg и одновременно уменьшилась в коде Lg. Еще слабее амплитуды в коде затухают на записях, полученных в 1998-1999 гг. Эти данные свидетельствуют о закономерном увеличении со временем среднего поглощения поперечных волн в земной коре и уменьшении поглощения в верхней мантии для трассы Дегелен - BRVK. Отметим, что вывод об увеличении эффективной добротности в верхней мантии согласуется с данными о возрастании средней скорости P-волн на трассе от СИП до станции BRVK в 1964-1989 гг., полученными В.А. Аном и др. [7].

Рисунок 5 иллюстрирует изменение формы огибающих группы волн Lg и коды для взрывов на СИП, записанных станцией TLG. Видно, что по сравнению с 60-ми годами, в конце 80-х годов резко увеличилась скорость затухания амплитуд в группе волн Lg для трассы Дегелен-TLG. При этом скорость затухания амплитуд в коде практически не изменилась. Для трассы Балапан-TLG наблюдалось увеличение скорости затухания амплитуд в группе Lg и, одновременно, – существенное уменьшение в коде Lg.



Пунктир – огибающая для записей ПЯВ, произведенных в 1967-1968 гг.

Рисунок 4. Общие огибающие группы волн Lg и коды для записей ПЯВ и химических взрывов, произведенных на площадке Дегелен. Станция BRVK

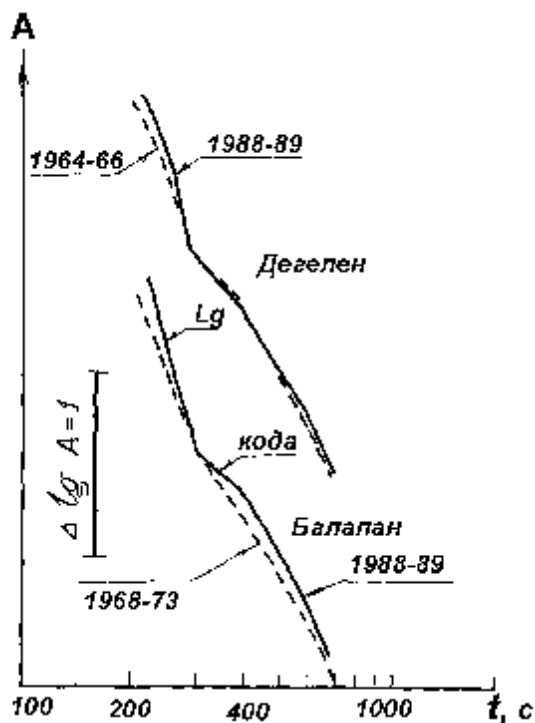


Рисунок 5. Общие огибающие группы волн Lg и коды записей ПЯВ, произведенных на площадках Дегелен и Балапан. Станция TLG

На рисунке 6 показаны графики изменения во времени средних значений параметра Lg/Pg для ПЯВ, произведенных на разных площадках СИП, по данным станции BRVK. При построении этой зависимости использовано в общей сложности 170 записей ПЯВ и 6 записей химических взрывов. Для площадки Муржик, самой близкой к станции BRVK, наблюдаются максимальные значения отношения Lg/Pg. Для трассы Дегелен - BRVK значения параметра Lg/Pg,

осциллируют, но в целом величина параметра заметно выросла по сравнению с периодом конца 60-х - конца 80-х годов. Кажущееся противоречие с данными, приведенными на рисунке 4, видимо, связано с тем, что волны, формирующие максимум в группе Lg из-за рефракции, распространяются в основном в нижней части земной коры, а более поздние фазы Lg проходят относительно большую часть пути в верхней части земной коры.

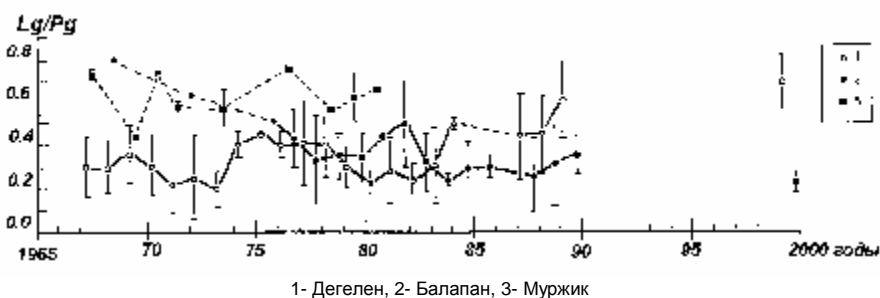


Рисунок 6. Зависимость среднего значения и дисперсии параметра Lg/Pg от времени для ПЯВ и химических взрывов, произведенных на разных площадках СИП. Станция BRVK

Для трассы Балапан - BRVK в течение срока, приведенного на рисунке 6, значения Lg/Pg заметно упали. Интересно, что эта тенденция проявилась и по данным калибровочных взрывов – в конце 90-х годов средние величины Lg/Pg для площадки Дегелен были выше на 0.45 ед. лог., чем для площадки Балапан.

Следует отметить, что в целом эти данные согласуются с результатами, полученными ранее для ПЯВ, зарегистрированных станцией TLG [2].

По станции GRM были обработаны 124 записи ПЯВ. Из рисунка 7 видно, что форма записей взры-

вов на площадке Дегелен существенно изменяется со временем. В первую очередь, это касается относительного уровня фаз, сформированных продольными и поперечными волнами P, Sn, Lg. На рисунке 8 представлен график зависимости параметра Lg/P от времени. Из него следует, что величины Lg/P в целом растут с середины 60-х до середины 80-х годов (примерно на 0.5-0.6 ед. лог.), а далее, в 1987-1989 гг., резко убывают (на 0.3-0.4 ед. лог.).

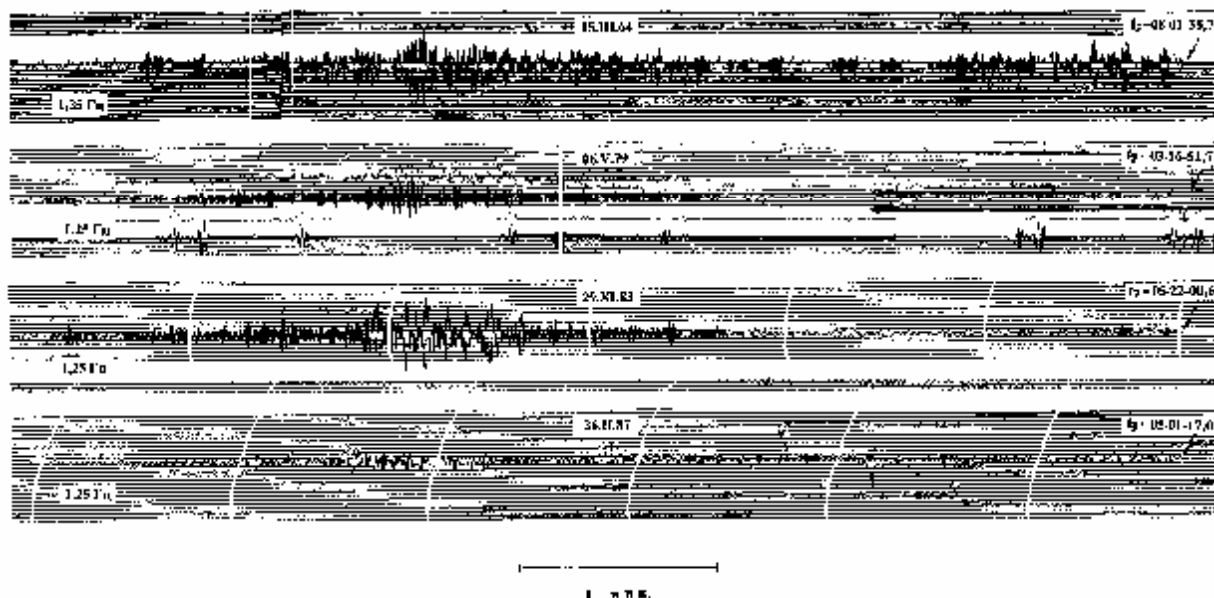


Рисунок 7. Примеры записей ПЯВ (массив Дегелен), полученные станцией GRM. ЧИСС, канал 1.25 Гц

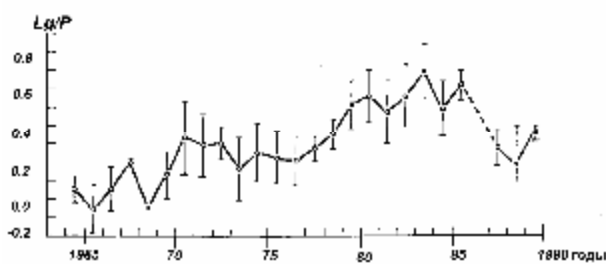


Рисунок 8. Зависимость средних значений параметра Lg/P от времени. Станция GRM

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В [2] путем анализа большого количества записей ПЯВ и химических взрывов были детально исследованы пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в районе СИП. Было установлено очень сильное поглощение S- волн в литосфере под площадкой Балапан, где проходят два крупных разлома, проникающих в верхнюю мантию (рисунок 3). В районе площадки Дегелен поглощение S- волн в земной коре и верхах мантии гораздо слабее. Вместе с тем, аномально слабое поглощение S- волн в верхней мантии под СИП наблюдалось на

глубинах более 200 км. На основании полученных данных была выдвинута гипотеза о том, что наблюдаемые особенности волновых полей в районе СИП связаны с подъемом ювенильных флюидов из верхней мантии по крупным разломам, обусловленным длительным, интенсивным воздействием мощных ПЯВ на геологическую среду. Это заключение позволяло объяснить также существование крупной температурной аномалии в районе СИП, обнаруженной на основании дешифрирования спутниковых данных в конце 90-х годов (рисунок 3) [8].

Полученные новые данные в целом подтверждают данную гипотезу. Анализ огибающих Lg и коды, а также отношения Lg/Pg на записях станций BRVK и TLG говорит о том, что интегральное поглощение S- волн в земной коре в районе СИП существенно выросло за 20-30 лет, в том числе, и после окончания ядерных испытаний на полигоне. Вместе с тем, поглощение S- волн в верхах мантии в районе СИП за это время существенно уменьшилось. Данные по S-коде (станция KURK) показывают, что флюиды могли подниматься с глубин более 300 км. В то же время, по данным станции GRM для трасс, которые пересекают Казахскую платформу и Тянь-Шань,

интегральное поглощение S-волн в земной коре резко уменьшилось с середины 60-х до середины 80-х годов. Учитывая, что для Казахской платформы до 1983 г в целом наблюдалась противоположная тенденция (рисунок б), можно сделать вывод о связи изменений, в первую очередь, с резким уменьшением поглощения S- волн в земной коре Тянь-Шаня, что относится, прежде всего, к западной части Тянь-Шаня, которую пересекают трассы от СИП до станции GRM. Сравнительно длиннопериодные вариации поля поглощения S-волн, связанные с активной миграцией флюидов на северной границе Тянь-Шаня, отмечены в работе [9]. Интересно, что после введения моратория на ядерные испытания в 1985-1987 гг. величины параметра Lg/P для рассматриваемых трасс резко упали, что говорит об увеличении поглощения S- волн, в первую очередь, в нижней части земной коры. Это наводит на мысль, что мощные взрывы на СИП могли оказывать влияние на флюидное поле на достаточно больших расстояниях от полигона. Речь идет, главным образом, о сейсмически активном районе Тянь-Шаня, поскольку

для слабосейсмичной Казахской платформы такого эффекта не обнаружено (рисунок б; данные для трассы СИП-TLG [1, 2]).

В связи с тем, что ювенильные флюиды играют важную роль в процессах подготовки сильных коровых землетрясений [10], этот эффект, в принципе, мог привести к изменению уровня сейсмичности в районах, окружающих СИП. Ранее [11] был сделан вывод о возможности воздействия широкофокусных гиндукушских землетрясений на флюидное поле в земной коре на больших расстояниях от эпицентральной зоны. Скорее всего, такое воздействие обусловлено существованием уединенных волн деформации, распространяющихся по крупным разломным зонам [12]. Отметим, что выводы о влиянии подземных ядерных взрывов, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, на уровень сейсмичности в Гармском районе Таджикистана (на границе Южного Тянь-Шаня и Северного Памира) сделаны в работе [13]. Характерно, что вариации сейсмической активности наблюдались именно в зонах крупных разломов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона // Докл. РАН. - 2001. - Т. 379. - № 5. - С. 670-674.
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона // Физика Земли. - 2001. - № 11. - С. 73-86.
3. Беляшова Н.Н., Шацлов 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 // Геофизика и проблемы нераспространения / Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 45-52.
4. Запольский К.К. Частотно-избирательные станции ЧИСС // Экспериментальная сейсмология. - М.: Наука, 1971. - С. 20-36.
5. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. - М.: Наука, 1985. - 176 с.
6. 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.
7. Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. Время пробега сейсмической волны Pn на трассе Семипалатинский испытательный полигон - сейсмическая станция Боровое / Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: Тезисы докладов. Международной конференции, 12-16 августа 2002 г, Боровое, Казахстан. - С. 21.
8. 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.
9. Копничев Ю.Ф. Длиннопериодные временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в литосфере и астеносфере Северного Тянь-Шаня // Вулканология и сейсмология. - 2001. - № 3. - С. 63-75.
10. Копничев Ю.Ф., Михайлова Н.Н. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань) // Докл. РАН. - 2000. - Т. 373. - № 1. - С. 93-97.
11. Копничев Ю.Ф., Баскутас И., Соколова И.Н. Пары сильных землетрясений и геодинамические процессы в районе Центральной и Южной Азии // Вулканология и сейсмология. - 2002. - № 5. - С. 49-58.
12. Николаевский В.Н. Математическое моделирование уединенных деформационных и сейсмических волн // Докл. РАН. - 1995. - Т. 341. - № 3. - С. 403-405.
13. Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В. Влияние ядерных взрывов на сейсмический режим // Докл. РАН. - 1995. - Т. 343. - № 4. - С. 543-546.

**СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ
ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША ОРТА АЗИЯ АУДАНЫНДА КӨЛДЕНЕН ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЖҰТЫЛУ
ӨРІСІНІҢ ВАРИАЦИЯЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ**

¹Копничев Ю.Ф., ²Соколова И.Н.

¹*РҒА ЖФБИ. 483310, Мәскеу қ*

²*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Алматы қ*

Оқиғаның эпиорталықтық аймағынан 77-1400 км. қашықтықта орналасқан Талғар, TLG (Солтүстік Тянь-Шань), Курчатов, KURK (Шығыс Қазақстан), Бурабай, BRVK (Көкшетау массивы), Гарм, GRM (Оңтүстік Тянь-Шань) станцияларымен 1964-200 ж.ж. алынған 200 көп ядролық және химиялық калибрлеу жарылыстардың жазбалары бойынша Lg и Pg, Lg және P толқындардың амплитудалары қатынасының уақыттық вариациялары зерделенген. Бұл параметрлер әртүрлі жолдарына уақыт ішінде елеулі әр түрде өзгеретіні белгіленген. Сейсмикалық толқындардың жұтылу өрісінің кеңістіктік-уақыттық вариациялары тереңдегі ірі жарылымдар бойынша ювенильді флюидтердің көтерілісімен байланысты жөнінде болжау жасалған.

**STUDY OF SHEAR WAVE ATTENUATION FIELD VARIATIONS IN CENTRAL ASIA REGION USING
RECORDS OF NUCLEAR AND CHEMICAL EXPLOSIONS AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE**

¹Yu.F. Kopnichev, ²I.N. Sokolova

¹*The Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov*

The temporal variations of amplitude ratio of Lg and Pg, Lg and P waves were studied using the 1964-2000 records of more than 200 underground nuclear and chemical calibration explosions obtained at the Northern Tien Shan TLG station, KURK station (Eastern Kazakhstan), BRVK (Kokchetav Massif), GRM (Southern Tien Shan) located at epicentral distances of 77-1400 km. Variations in this parameter with time are shown to be significantly different for different paths. The spatio-temporal variations of the seismic wave attenuation field are presumably associated with the ascent of juvenile fluids through large deep faults.