

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Издается с января 2000 г.

**ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ.
РАДИОЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

ВЫПУСК 2, ИЮНЬ 2003

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – к.т.н. ТУХВАТУЛИН Ш.Т.

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ ВЫПУСКА – д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р., БЕЛЯШОВА Н.Н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.т.н. АРЗУМАНОВ А.А., д.г.-м.н. БЕЛЯШОВ Д.Н.,
к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е.,
к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К., д.б.н. ПАНИН М.С., ПИВОВАРОВ О.С., ПТИЦКАЯ Л.Д., д.б.н. СЕЙСЕБАЕВ А.Т.,
к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

ҚРҰНДЫҚ

**ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ ТАРАТПАУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ.
РАДИОЭКОЛОГИЯ. ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ**

2 ШЫҒАРЫМ, ТАМЫЗ, 2003 ЖЫЛ

NYC IRK Bulletin

**GEOPHYSICS AND NON-PROLIFERATION PROBLEMS.
RADIOECOLOGY AND ENVIRONMENT PROTECTION**

ISSUE 2, AUGUST 2003

УДК 550.34:621.039.9

ОТНОШЕНИЕ АМПЛИТУД ВОЛН L_G И P_N В ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Халтурин В.И.

Геологическая Обсерватория Ламонт-Дохерти Колумбийского Университета

Описаны региональные различия соотношения Lg/Pn на записях взрывов и землетрясений. Эти различия иллюстрируются записями Семипалатинского ядерного взрыва станцией Талгар и Индийского ядерного взрыва станцией Нилор. В обоих случаях эпицентральные расстояния примерно одинаковые (750 км), но значения отношения Lg/Pn на записях ядерных взрывов различаются в 11-13 раз. Еще более значительные различия наблюдаются для землетрясений на трассах, пересекающих регион Средней Азии и Тибета. В статье характеризуются региональные вариации Lg/Pn для взрывов и землетрясений применительно к записям конкретных станций и их стандартные отклонения. В диапазоне 0.3 – 2 Гц величина Lg/P на записях взрывов вдвое меньше, чем на записях землетрясений того же региона. На больших частотах это различие увеличивается, и эффективность распознавания растет. Стандартное отклонение не зависит от частоты и составляет в среднем 0.17 лог. ед. для взрывов и 0.30 для землетрясений. Масштаб региональных и станционных различий параметра Lg/P свидетельствует о необходимости строить транспортабельный критерий распознавания на основе пространственного поля значений параметра (базы данных) для землетрясений в зависимости от положения эпицентра и порознь для каждой станции сети мониторинга. Такие поля спектральных параметров были впервые предложены автором еще в 1975 г.

ВВЕДЕНИЕ

Соотношение амплитуды волн Lg/Pn широко применяется для распознавания природы источника. Однако, эта величина сильно зависит от пути распространения волн, причем одинаковым образом для волн, порожденных взрывом и землетрясением. К настоящему времени разработаны эффективные процедуры распознавания ядерных взрывов и землетрясений из регионов основных полигонов – Невады, Казахстана, Лобнора. Эти методики основаны, главным образом, на различиях отношения спектральных амплитуд продольных (Pn , P) и поперечных волн (Sg , Sn , Lg) на записях землетрясений и взрывов. Для некоторых районов предложены различные варианты зависимости параметра Lg/P от расстояния, чтобы сделать этот параметр транспортабельным в определенном интервале расстояний. Однако динамика волн Pn и Lg регионально сильно изменчива. Параметр Lg/P зачастую зависит не столько от расстояния, сколько от строения региона и типа пересекаемых структур. К тому же, объектом глобального мониторинга являются, в принципе, все сейсмоактивные территории, пригодные для проведения ядерных взрывов, а не только регионы существующих полигонов. В этом контексте построение транспортабельного параметра дискриминации как функции только расстояния становится совершенно недостаточным.

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ L_G/P_N НА ЗАПИСЯХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Изучение параметра $lg(Lg/P)$, его региональных вариаций и информативности в проблеме распознавания было начато в Казахстане в начале 1960-х годов [1, 2]. Тогда же, видимо, впервые в мире, этот параметр был применен для изучения и разделения землетрясений и взрывов. Метод был разработан сначала применительно к записям широкополосной

аппаратуры, а в дальнейшем – к записям частотно-избирательных станций ЧИСС [3,4]. Более десяти станций ЧИСС вели наблюдения в регионах Средней Азии, Туркмении и Кавказа. Из них четыре станции были опорными и привлекались для сравнительного изучения землетрясений и подземных ядерных взрывов. Это станции Гарм, Талгар, Зеренда и Новосибирск, расположенные на расстоянии 650 – 1350 км от Семипалатинского испытательного полигона. Помимо этих станций, в 1970-1972 гг. пять комплектов аппаратуры с видимой записью ЧИСС были установлены на стационарных сейсмических станциях Службы спецконтроля Министерства обороны СССР - Семипалатинск, Маканчи, Майли-Сай, Малин и Улан Батор.

По материалам четырех опорных ЧИСС Комплексной сейсмической экспедиции и станции Семипалатинск Халтуриным В.И. и Рузайкиным А.И. были изучены особенности распространения региональных фаз в регионе от Каспия до Южного Китая. Амплитудные соотношения Lg/P были получены в диапазоне частот от 0.05 до 40 Гц. Прежде всего, было установлено, что на трассах, пересекающих границу Тибета, происходит резкое уменьшение амплитуды волн Lg , вплоть до полного их исчезновения. Наиболее ярко этот эффект наблюдается на северной границе Тибета, по хребту Алтын-Таг, чуть менее ярко – на его южной границе. Впервые это явление (по северной границе Тибета) было замечено и детально прослежено Рузайкиным А.И. и Халтуриным В.И. еще в 1971-1972 гг. при анализе записей, полученных станциями ЧИСС - Семипалатинск, -Талгар.

Позднее, П. Молнар проследил резкое затухание (или экранирование?) волн Lg на южной границе Тибета. Эти результаты были описаны в совместных публикациях [6-8]. Сходные эффекты, хотя и не

столь впечатляющие, были обнаружены при пересечении волнами других структур - Загроса, Копетдага, Тянь-Шаня [5].

На рисунке 1 показаны записи станцией ЧИСС-Семипалатинск землетрясений с эпицентрами северо-восточного (Байкал – Восточная Сибирь) и южного (Синьцзянь - Тибет) направлений. Записи со-

вмещены по моментам первого вступления волны Р.

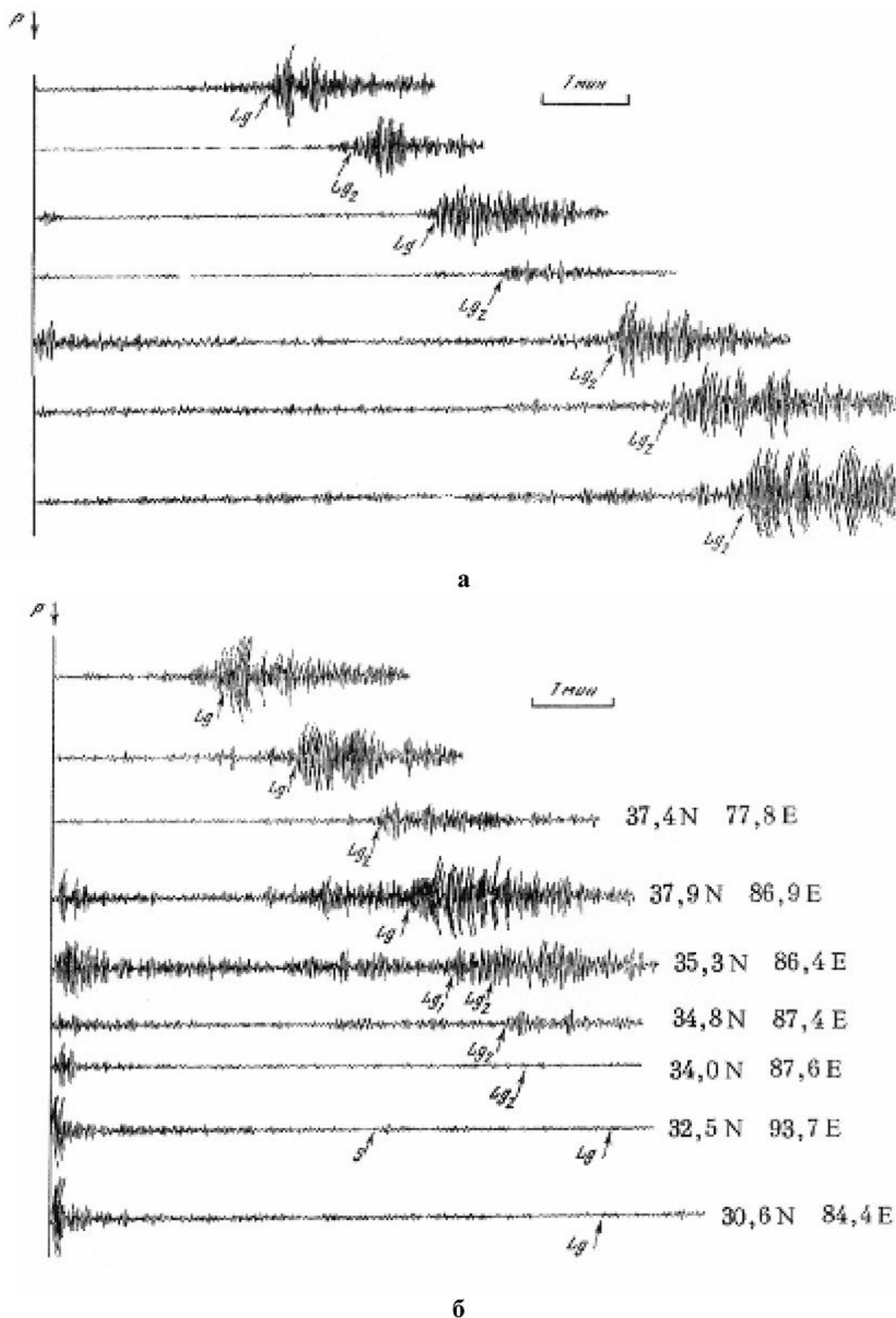


Рисунок 1. Примеры записи волн L_G землетрясений Байкальского (а) и Тибетского (б) направлений. Станция ЧИСС - Семипалатинск. Полоса пропускания канала 1.4 – 2.3 сек

Для северо-восточного (Байкальского) направления вплоть до северной Камчатки на записи доминирует волна L_G . На южном (тибетском) направлении при пересечении границы Тибета (около $34.5^\circ N$ для данного профиля землетрясений) волна L_G полностью исчезает. Одновременно с исчезновением волны L_G , происходит резкое увеличение интенсивности волны P (относительно P -коды), тогда как для Байкальского направления в большинстве случаев волна P практически не превышает уровень P -коды.

Значительное различие относительной интенсивности волны P и параметра L_G/P_n наблюдается и в других регионах. Подчеркнем, что речь идет именно о волне P_n (или волне P - после 2200 км), но не о волне P_g , которая, равно как и R_g , проявляет себя аналогом L_G . Яркий пример тому – землетрясения Байкальской зоны на записях, полученных станциями, расположенными к северу от Байкала. У сильных толчков в этих зонах видны лишь слабые вступления волны P_n и огромные вступления P_g и L_G -волн,

читаемые только на канале пониженной чувствительности. Соотношение P_g/P_n достигает 100! У более слабых землетрясений в этом районе волны P_n и, тем более, волны S_n , не видны совсем. Поведение параметра L_g/P , повидимому, есть проявление региональных различий резкости границы Мохо и градиентности среды ниже нее. При резкой границе и слабой градиентности среды интенсивность волн P_g , L_g , и R_g возрастает, а волн P_n и S_n - уменьшается. И, наоборот. В результате - отношение L_g/P_n меняется очень сильно. Кинематика гораздо менее чувствительна к этим особенностям строения среды.

Общая выявленная тенденция состоит в том, что относительная интенсивность волн L_g , P_g и R_g велика,

а волн P_n и, особенно, волн S_n - относительно слаба, так что параметр L_g/P велик на трассах, проходящих севернее Альпийского пояса. Напротив, на трассах южнее Альпийского пояса волновые соотношения типа L_g/S_n , P_g/P_n и L_g/P_n относительно малы.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ L_g/P_n НА ЗАПИСЯХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

На рисунке 2 для сравнения приведены ядерный взрыв в Казахстане на записях приборами СКМ и СКД станции Талгар (TLG) и индийский взрыв 11 мая 1998 г., записанный цифровой станцией Нилор (NIL). Записи станции Нилор трансформированы в соответствии с частотными характеристиками СКМ и СКД.

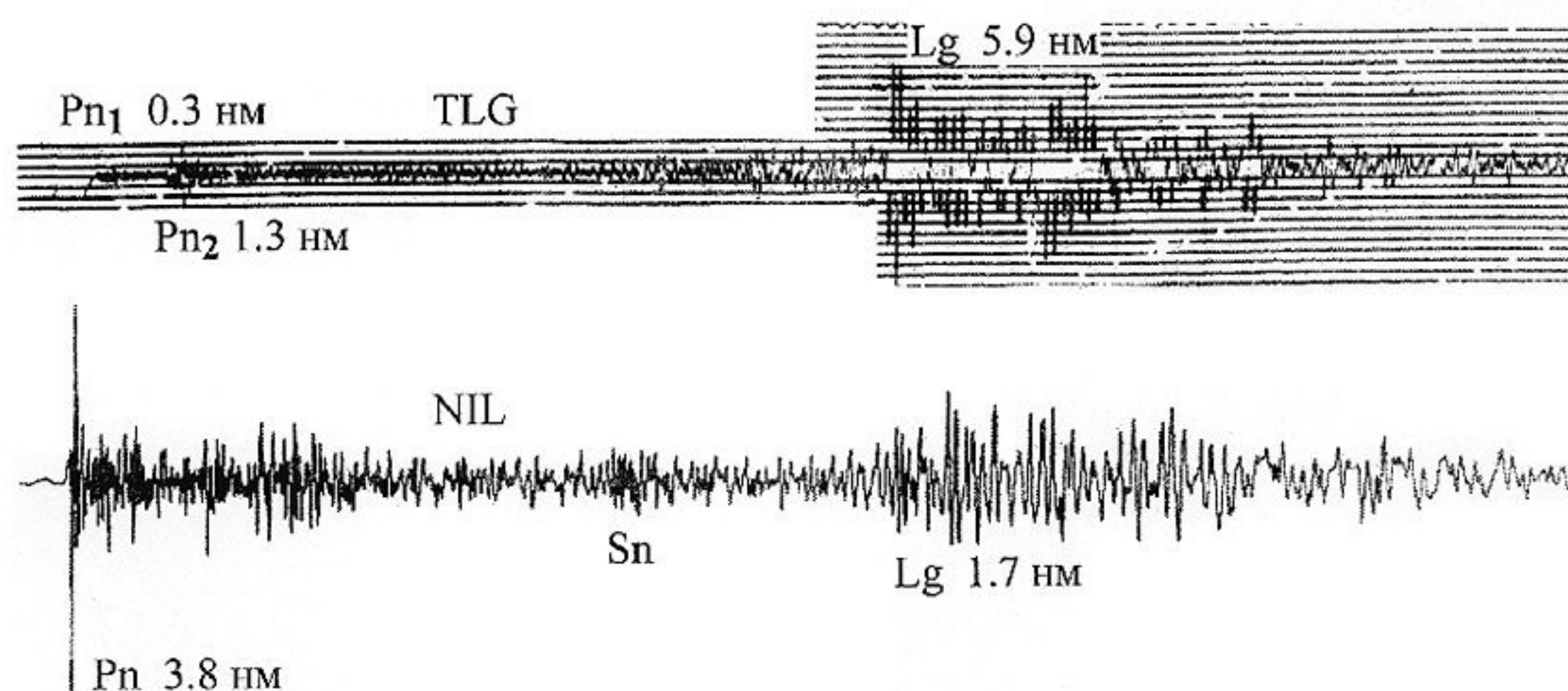


Рисунок 2. Сравнение записей подземных ядерных взрывов - казахстанского, станцией Талгар (СКМ, расстояние 745 км) и индийского 11 мая 1998 г., станцией Нилор (редуцированной к записи СКМ, расстояние 738 км)

Запись станции Нилор была проанализирована непосредственно после индийского взрыва [9, 10]:

- по первым четырем экстремумам волны P был определен азимут на эпицентр (188°) и угол выхода волны P_n (71°);
- -по разностям времен вступлений волн ($L_g - P_n$ и $S_n - P_n$) было оценено эпицентральное расстояние (750 км) и время в очаге.

Для этого был использован годограф, полученный нами ранее для Казахстанской платформы и ее обрамления по наблюдениям ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. Положение эпицентра по выполненной оценке с использованием данных только одной станции Нилор отклоняется от данных международной сети всего на 15-20 км, а время в очаге - на 1.5 секунды и примерно совпадает с данными Н. Михайловой и др. [11]. Хорошая сходимость определений времени в очаге и эпицентра показывает, что скоростные характеристики районов распространения сейсмических волн на Казахской платформе и на Индийском щите различаются незначительно, в то время как динамические характеристики, как будет показано ниже, различаются значительно.

Сравнение записей взрывов очень показательно. Их магнитуды m_b примерно одинаковы - 5.0 и 5.3. Эпицентральные расстояния также одинаковы - 738 и 745 км. Трассы волн в обоих случаях проходят по

платформенным структурам. Однако амплитуда региональных фаз на записях этих станций различается очень сильно. Запись станции Нилор характеризуется очень интенсивным вступлением волны P_n и сравнительно слабой волной L_g . Волна R_g совсем не видна на фоне коды L_g . На записи станции Талгар волна L_g имеет четкое вступление и большую амплитуду. Волна R_g уверенно выделяется на записи СКД.

Амплитуда волн P_n и L_g (в нанометрах) на обеих станциях и их отношение приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения амплитуды волн P_n и L_g (вНм) и их отношение для записей станций Талгар и Нилор

| Волна | TLG | СКМ NIL | TLG/NIL | TLG | СКД NIL | TLG/NIL |
|-----------|-----|------------|---------|-----|------------|---------|
| P_n | 0.9 | 3.7 | 0.24 | 1.0 | 3.7 | 0.27 |
| L_g | 3.6 | 1.3 | 2.8 | 6.8 | 1.9 | 3.6 |
| L_g/P_n | 4.0 | 0.35 | 11.4 | 6.8 | 0.5 | 13.6 |

Приведенный пример показывает, что региональные различия отношения L_g/P не только для землетрясений, но и для ядерных взрывов могут быть весьма значительными, в данном случае - в 13 раз. Это в два-три раза больше, чем ожидаемые различия между взрывами и землетрясениями из одного района.

Таким образом, динамический диапазон пространственных вариаций параметра L_g/P_n как у землетрясений, так и у взрывов, чрезвычайно велик.

Обусловленный мало известными особенностями земной коры и верхней мантии на пути распространения волн, он пока стойко сопротивляется теоретическим расчетам. Так что, единственным практическим выходом для объяснения причины является эмпирический подход - систематическое накопление данных о значениях параметра Lg/P_n в зависимости от положения эпицентра события и для каждой станции сети мониторинга.

ОБОБЩЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ L_G/P_N ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНЕ МОНИТОРИНГА КОНКРЕТНОЙ СТАНЦИИ

Простейший вариант эмпирического обобщения данных предложен и реализован нами в 1973-1974 гг. по записям станций ЧИСС - Талгар, - Семипалатинск и - Новосибирск. Несмотря на свою почтенную давность, около 30 лет, этот опыт представляется весьма полезным.

Обобщение выполнено в двух вариантах:

- в виде кривых Lg/P_n в зависимости от расстояния, построенных отдельно для разных трасс распространения волн - Байкальского и Тибетского (рисунок 3);
- в виде изолиний Lg/P (рисунки 4, 5).

Карты изолиний параметра Lg/P_n , приведенные на рисунках 4, 5, построены по записям 1971-1973 гг., сделанных четырьмя спектральными каналами станции ЧИСС - Семипалатинск, для двух азимутальных направлений распространения сейсмических волн:

- «Китай» - очаги в Синьцзяне, Тибете, Гималаях и Южном Китае,
- «Байкал» - очаги в Саянах, Монголии, Байкале, Северо-восточном Китае,

Также по записям станции Талгар в нескольких частотных интервалах. Высокая чувствительность станций позволила определить отношение Lg/P_n для более 300 землетрясений. На обеих картах видно резкое уменьшение значений параметра Lg/P для землетрясений с эпицентрами южнее Копетдага, Загроса, северной границы Тибета и южного Китая. На трассах северо-восточного направления значение параметра Lg/P мало меняется, испытывая заметное уменьшение лишь при пересечении зоны Байкала.

Полученные в докомпьютерное время, карты изолиний параметра Lg/P были рекомендованы для применения и использовались в Службе специального контроля Министерства Обороны СССР. Сигналы, отличающиеся по своим параметрам на заданную величину, от ожидаемых согласно карте, принимались как подозрительные на взрыв. Применительно к нашему времени, речь идет о создании постоянно пополняемой базы данных, содержащей значения параметра Lg/P от источников с известными координатами. Величина $lg(Lg/P)$ каждого нового сигнала сравнивается со средним значением параметра в некоторой зоне. При этом величина и форма такой зоны зависят от характера неоднородности поля Lg/P .

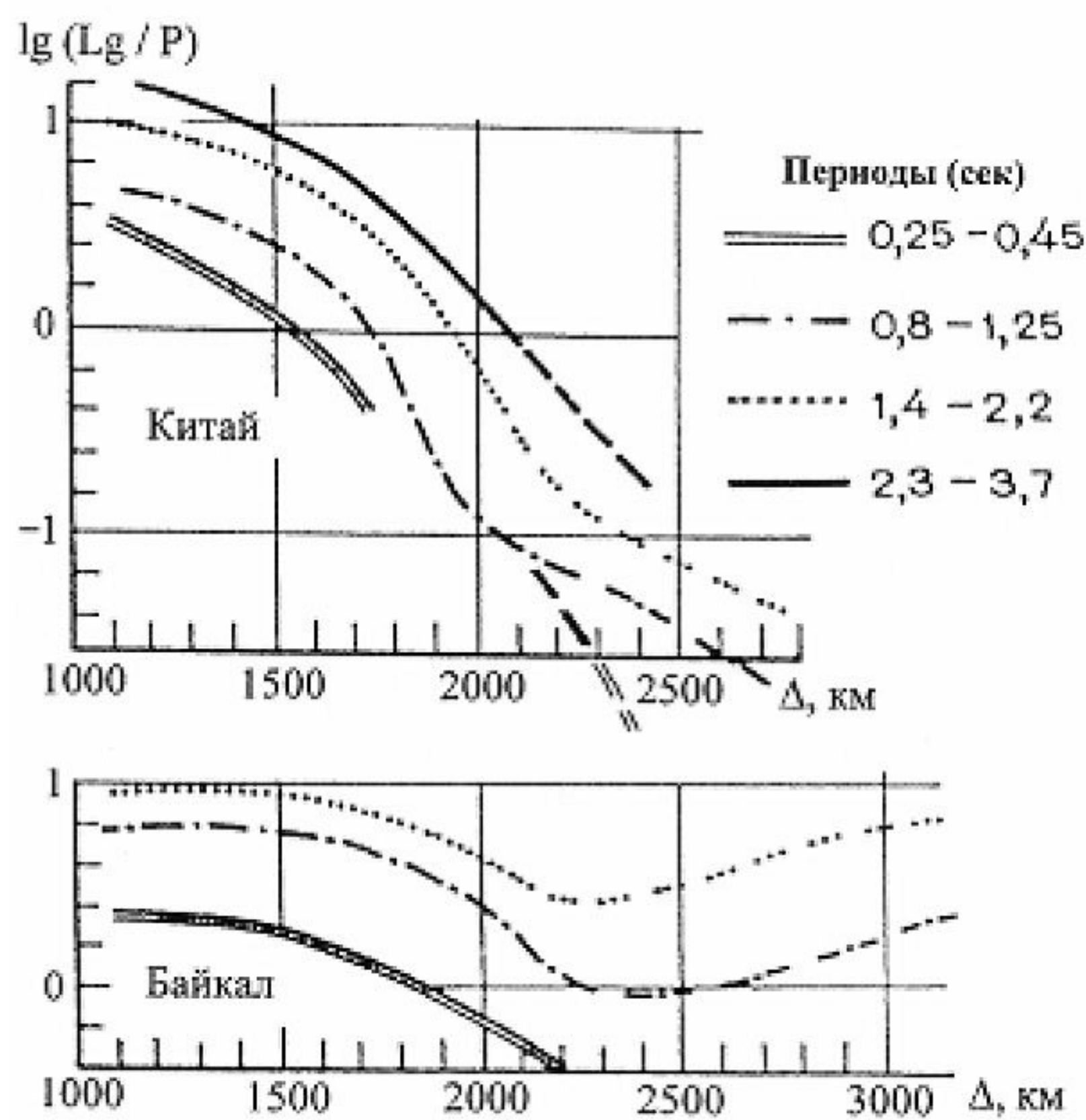


Рисунок 3. Зависимость параметра $lg(Lg/P)$ от расстояния в нескольких интервалах периода для эпицентров с двух направлений трасс: Синьцзянь Тибетского (вверху) и Байкальского (внизу)

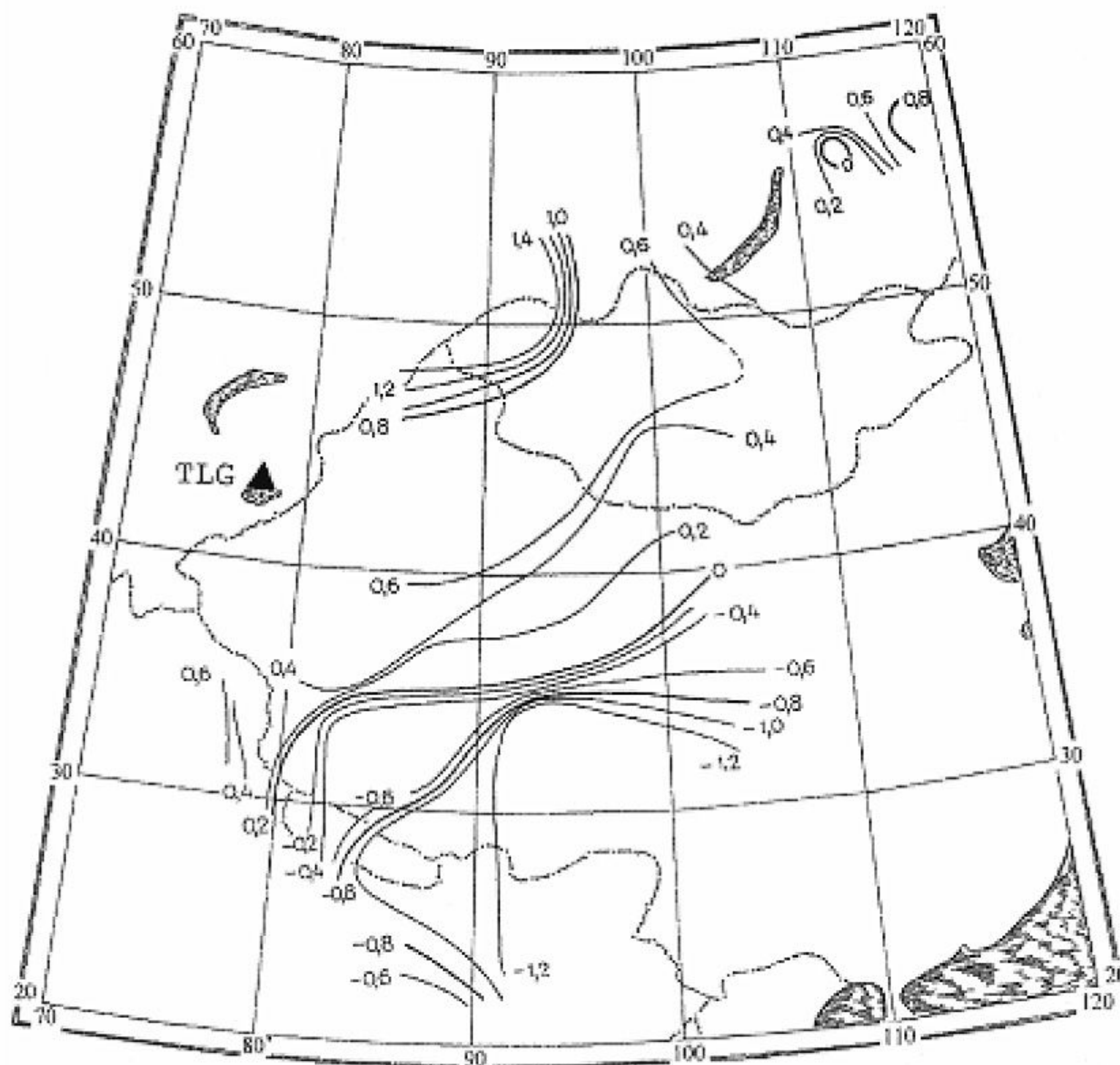


Рисунок 4. Изолинии параметра $lg(Lg/Pn)$ для землетрясений, записанных станцией ЧИСС-Талгар. Периоды 0.6 – 1.0 сек.

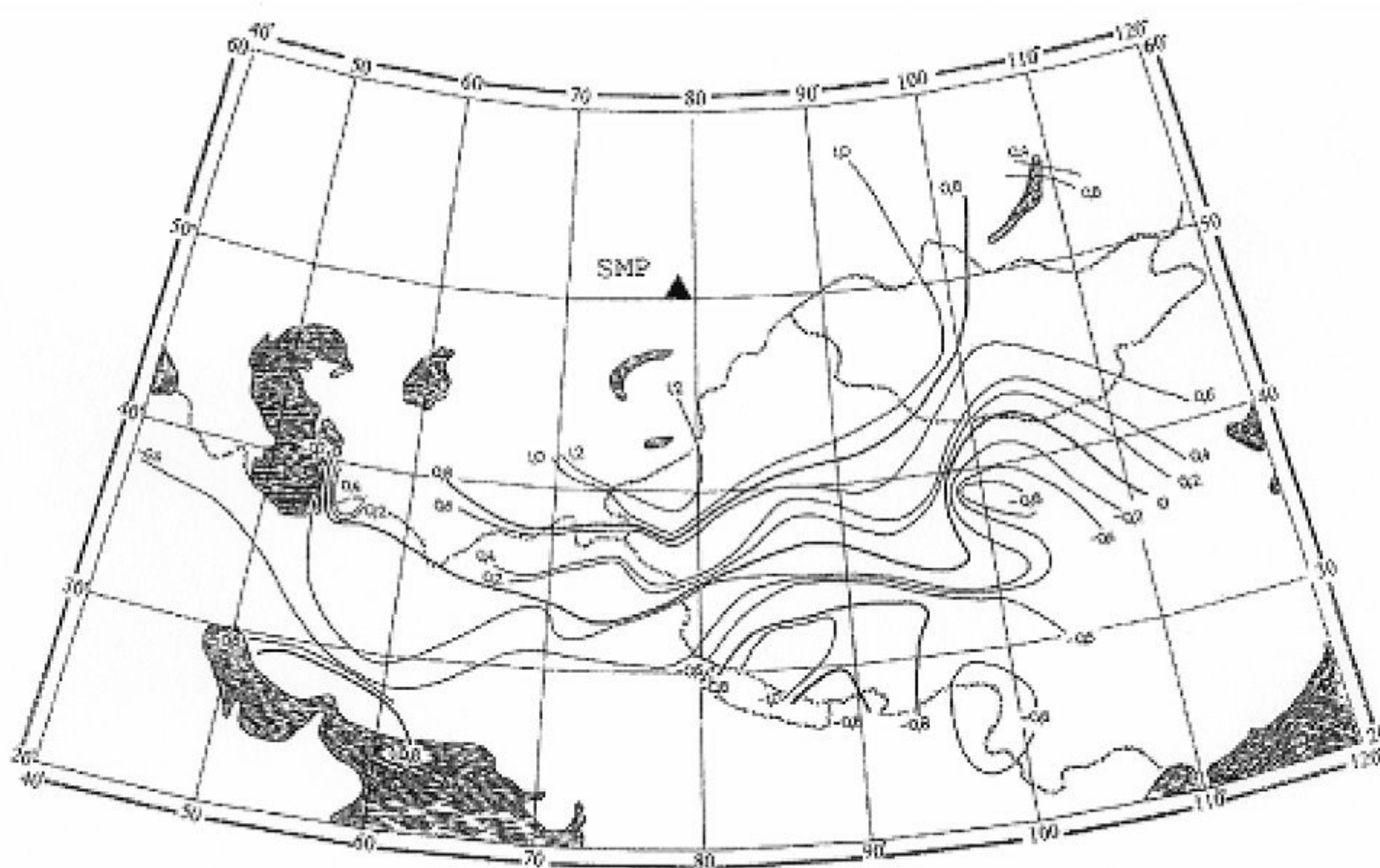


Рисунок 5. Изолинии параметра $lg(Lg/Pn)$ для землетрясений, записанных станцией ЧИСС - Семипалатинск. Периоды 1.4 – 2.3 сек.

ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА L_G/P И ЕГО РАССЕЯНИЕ У ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВЗРЫВОВ

Выбор порогового значения определяется рассеянием параметра $lg(Lg/P)$ для взрывов и землетрясений, а также выбранным уровнем допустимых пропусков цели и ложных тревог. Оценим средние значения параметров Lg/P и их стандартные отклонения для не-

скольких выборок взрывов и землетрясений, записанных широкополосной и ЧИСС-станциями.

Оценка 1. 61 ядерный взрыв и 62 землетрясения Алтайского региона (СКМ)

Очаги землетрясений Западного Алтая и взрывы Семипалатинского испытательного полигона, также как и их трассы до станции Талгар, находятся в аналогичных геологических условиях. Расстояние от

них до станции Талгар примерно одинаковое (700-850 км). На рисунке 6 сопоставлены значения L_G/P_n для двух выборок по записям СКМ станции Талгар. Волна P измерялась на записи вертикальной компоненты, волна L_G – на записи горизонтальной компоненты. Среднее значение lg(L_G/P) составляет 0.81 – для землетрясений и 0.47 – для взрывов, при дисперсии 0.27 и 0.18 лог.ед., соответственно. Эффективность распознавания событий (отношение разностей средних к сумме стандартных отклонений), вычисленная по выборке обучения, составляет 0.75.

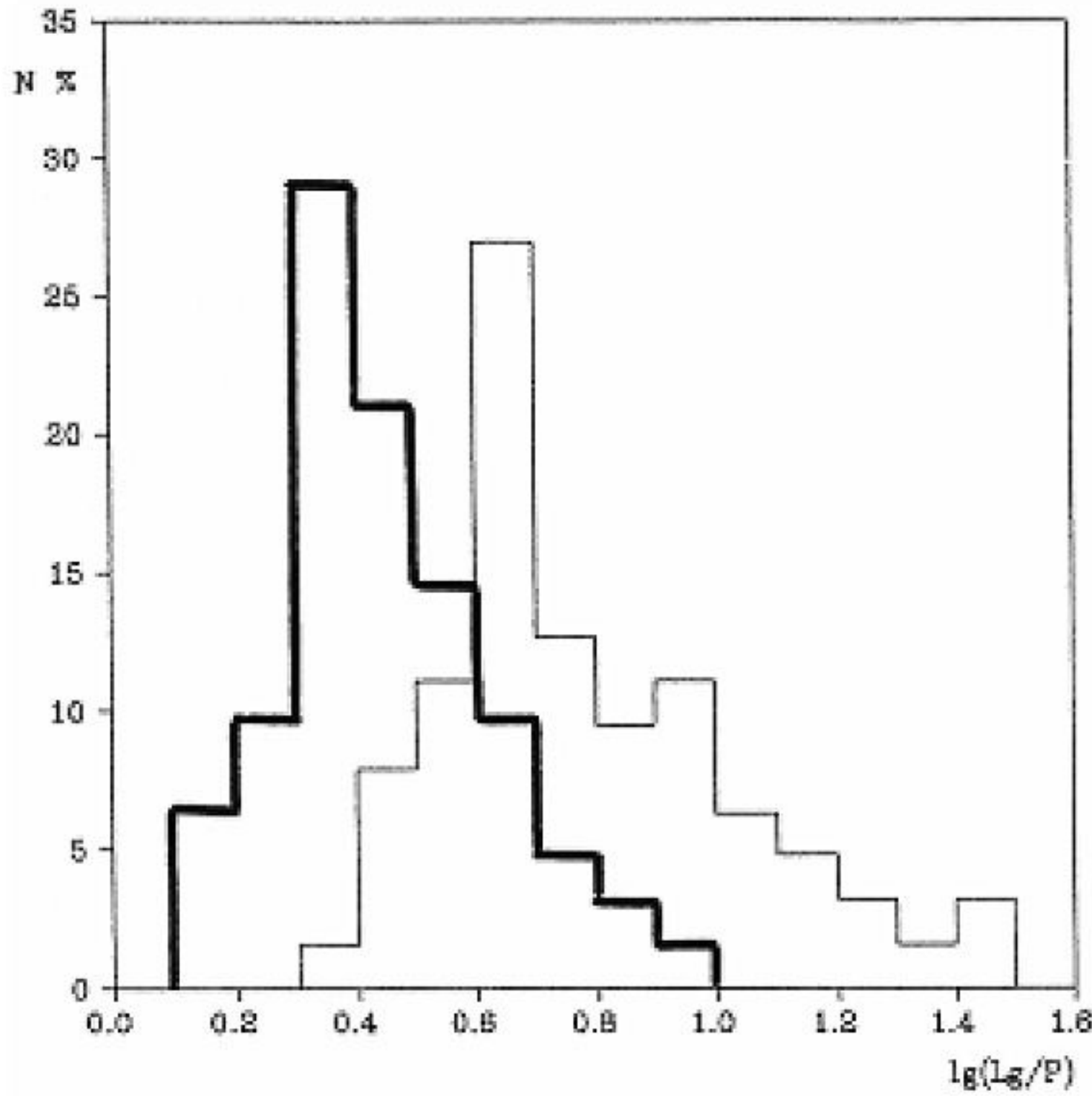


Рисунок 6. Гистограммы lg(Lg/P) ядерных взрывов (слева) и алтайских землетрясений (справа) по записям СКМ станции Талгар. Расстояние 700-850 км.

Оценка 2. 27 местных землетрясений и 23 химических взрыва района Алматы (ЧИСС).

Хайдаров М.С. [12] использовал отношение спектральных амплитуд волн P и S для распознавания слабых (K=6-7) местных землетрясений и карьерных взрывов из района Алматы. Параметр S/P определен по записям семи каналов ЧИСС-Талгар в диапазоне частот от 0.62 до 27 Гц. Средние разностные спектры lg(S/P) приведены на рисунке 7. Как видно из рисунка, по мере перехода к высоким частотам различие между значениями параметра S/P взрывов и землетрясений возрастает и на частотах 2.5 Гц и выше достигает 0.8 – 0.9 лог.ед.

Так как дисперсия практически не зависит от частоты (таблицы 4 и 5), эффективность распознавания существенно улучшается при переходе к частотам 2.5-10 Гц. Так, например, на частоте 5 Гц выборки для землетрясений и взрывов почти полностью разделяются. Среднее значение lg(S/P) для землетрясений равно 0.52, для взрывов – 0.36. Разность их средних равна 0.88. При стандартном отклонении 0.15 лог. ед. для взрывов и 0.35 для землетрясений, гистограммы (рисунок 8) почти не перекрываются.

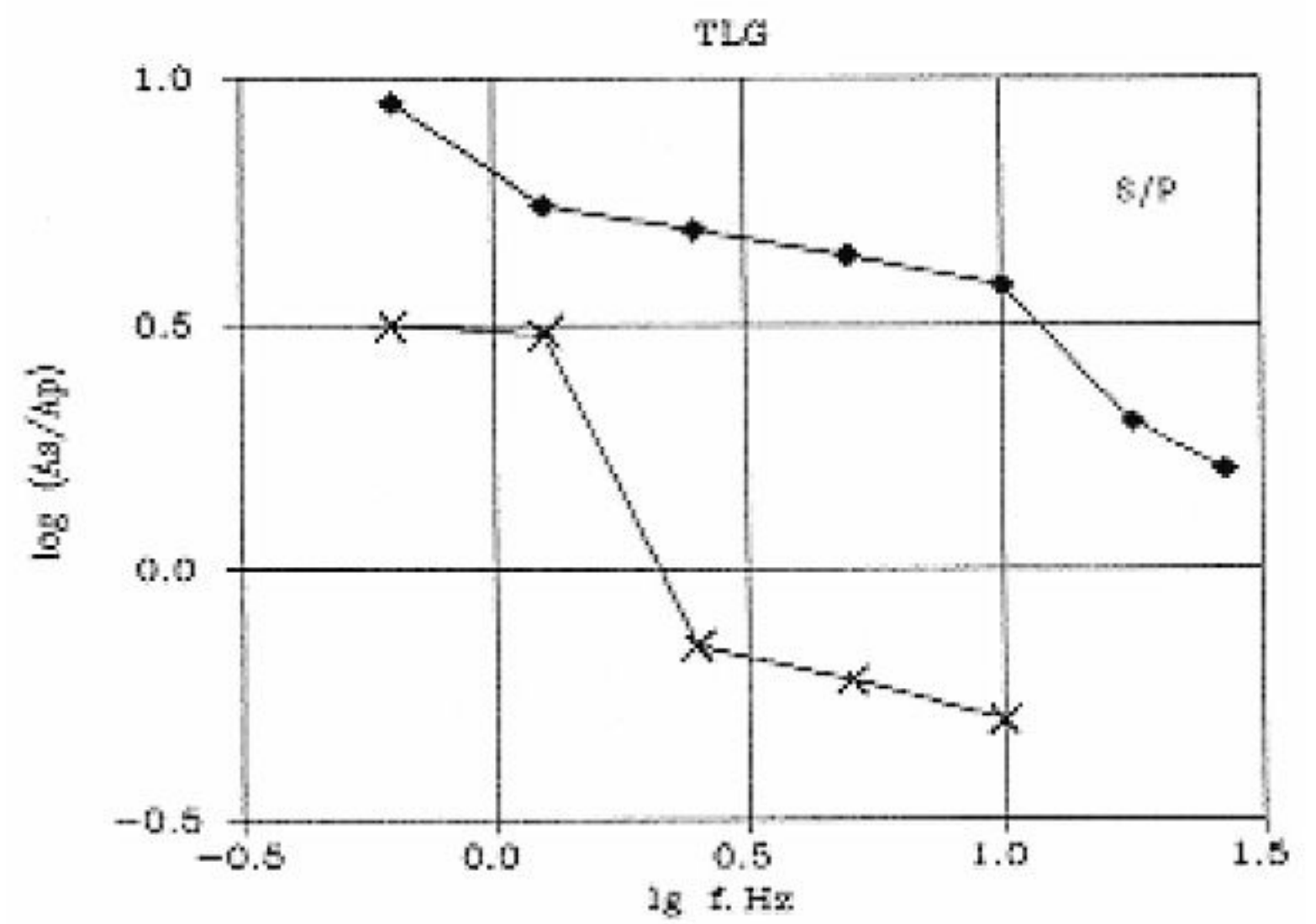


Рисунок 7. Изменение параметра S/P с частотой для местных землетрясений (вверху) и промышленных взрывов (внизу) вблизи Алматы. По записям ЧИСС-Талгар

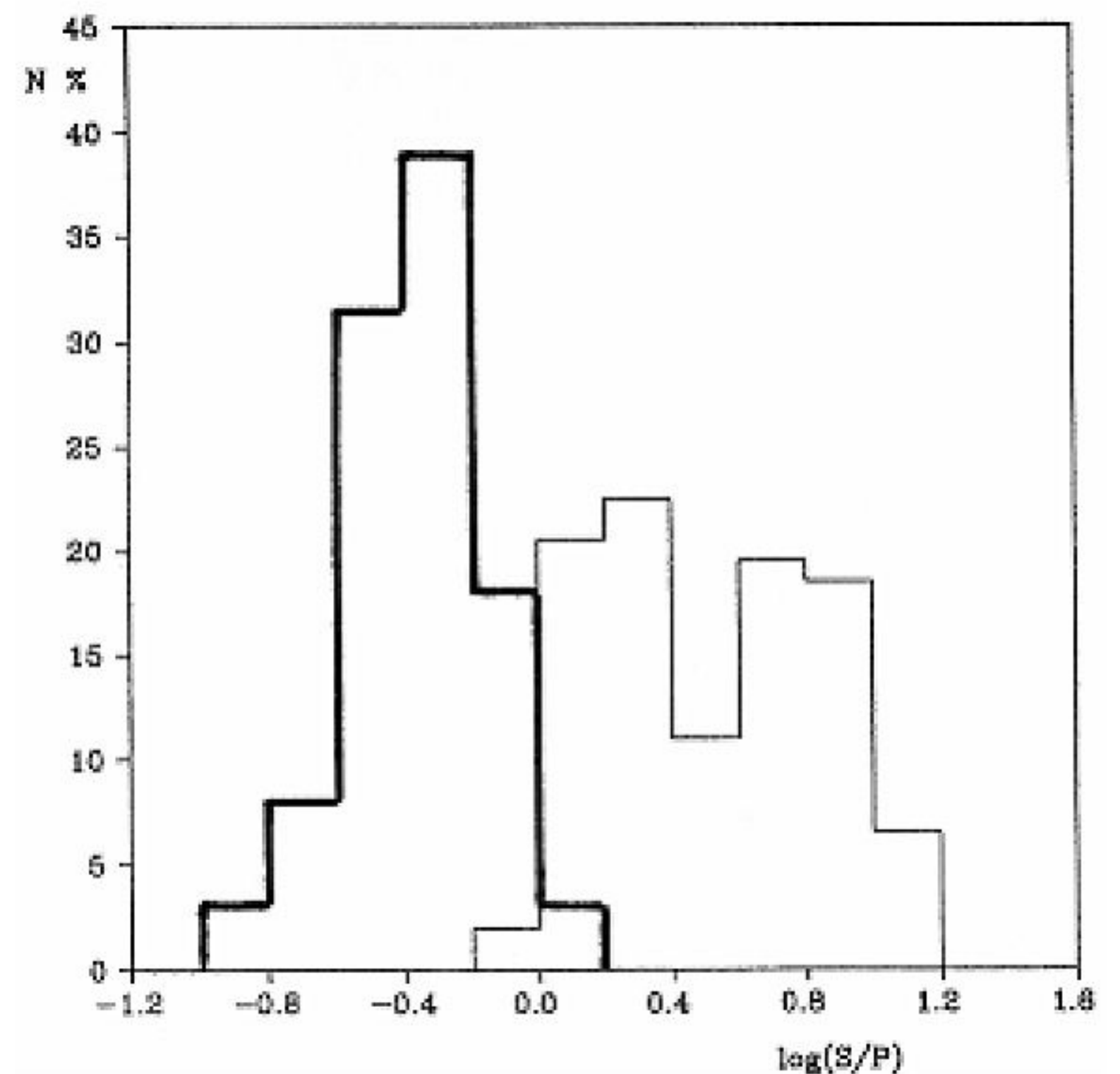


Рисунок 8. Гистограммы параметра lg(S/P) для химических взрывов (слева) и для местных землетрясений (справа). Частота 5 Гц. По записям ЧИСС-Талгар

Оценка 3. 41 ядерный взрыв и 3 землетрясения по записям станции Талгар (СКМ и СКД) из района Семипалатинского испытательного полигона.

Три землетрясения (26 декабря 1966, 20 марта 1976 и 31 марта 1981) произошли на Семипалатинском испытательном полигоне или вблизи него. Взрывы произведены на Семипалатинском испытательном полигоне. Измерения параметров P волн производились по вертикальной, а L_G по горизонтальным компонентам. Полученные значения L_G/P и их стандартных отклонений приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметр lg(Lg/P_n) и его стандартное отклонение σ для ядерных взрывов и землетрясений. По записям станции Талгар

| Прибор | Землетрясения | | Ядерные взрывы | |
|--------|---------------|------|----------------|------|
| | lg(Lg/P) | σ | lg(Lg/P) | σ |
| СКМ | 0.96 | 0.24 | 0.54 | 0.16 |
| СКД | 1.13 | | 0.68 | 0.18 |

Оценка 4. Три типа событий на Семипалатинском испытательном полигоне (ЧИСС).

Те же три землетрясения, 14 химических взрывов и 20 ядерных взрывов, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, были записаны ЧИСС-Талгар. Значения параметра Lg/P , полученные для трех типов событий в частотном диапазоне 0.31 – 10 Гц, приведены в таблице 4.

Таблица 4. Параметр Lg/P для трех типов событий на Семипалатинском испытательном полигоне. По записям станции ЧИСС-Талгар

| Частота, Гц | Землетрясения | Химические взрывы | Ядерные взрывы |
|-------------|---------------|-------------------|----------------|
| 0.31 | 14 | -- | 6.5 |
| 0.62 | 13 | 17 | 6.5 |
| 1.25 | 5.8 | 7.3 | 3.0 |
| 2.5 | 2.7 | 0.65 | 1.1 |
| 5 | 0.9 | -- | 0.21 |
| 10 | -- | -- | 0.08 |

Параметр Lg/P на частотах 0.6 и 1.2 Гц для химических взрывов оказался намного (в 2-2.5 раза) больше, чем для ядерных взрывов, но на частоте 2.5 Гц, его значение резко падает и становится в 2 раза ниже, чем для ядерных взрывов. В более широком частотном диапазоне проследить изменение параметра не позволила слабость сигналов от химических взрывов. Значение параметра Lg/P ядерных взрывов в два раза меньше, чем у землетрясений на частотах от 0.3 до 2 Гц. Это отношение резко возрастает до 4.4 на частоте 5 Гц.

Таким образом, каждый из трех типов рассматриваемых событий характеризуется на разных частотах своим специфическим набором значений параметра $lg(Lg/P)$. Эффективность распознавания событий выше для высоких частот.

Оценка 5. Семипалатинские ядерные взрывы по данным четырех станций - Талгар, Гарм, Новосибирск и Зеренда (ЧИСС).

Эффективность распознавания событий сильно зависит от варибельности используемых параметров. Казахские ядерные взрывы – это наиболее представительная выборка данных, позволяющая получить статистически значимый результат.

Для некоторых частот количество взрывов в выборке – около 100. Совокупность семипалатинских взрывов позволяет оценить стандартные отклонения параметра $lg(Lg/P)$ для разных частот, сравнить среднее значение параметра и стандартное отклонение для разных станций.

Четыре станции - Гарм (GRM), Новосибирск (NSB), Талгар (TLG) и Зеренда (ZRN), - располагаются в разных азимутах относительно Семипалатинского испытательного полигона. В таблице 5 для каждой из станций приведены средние значения отношения Lg/P_n , величина стандартных отклонений σ и количество N записей, участвовавших в ос-

реднении. Данные относятся к нескольким полосам частот из общего диапазона 0.18 – 5.0 Гц.

Таблица 5. Средние значения $lg(Lg/P)$ и их стандартные отклонения σ для ядерных взрывов. По записям 4 станций ЧИСС

| Станция | f, Гц | 0.28 | 0.31 | 0.62 | 1.25 | 2.5 | |
|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|----------|
| GRM | $lg(Lg/P)$ | 0.74 | 0.90 | 0.69 | 0.36 | -0.21 | |
| GRM | σ | 0.12 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | |
| GRM | N | 42 | 18 | 136 | 79 | 60 | |
| | f, Гц | 0.18 | 0.35 | 0.71 | 1.41 | 3.1 | |
| NSB | $lg(Lg/P)$ | 0.84 | 1.00 | 0.86 | 0.85 | 0.17 | |
| NSB | σ | 0.07 | 0.12 | 0.18 | 0.17 | 0.19 | |
| NSB | N | 8 | 49 | 42 | 32 | 36 | |
| | f, Гц | | 0.31 | 0.62 | 1.25 | 2.5 | 5 |
| TLG | $lg(Lg/P)$ | | 1.14 | 0.94 | 0.47 | -0.10 | -0.70 |
| TLG | σ | | 0.12 | 0.21 | 0.30 | 0.26 | 0.18 |
| TLG | N | | 12 | 128 | 95 | 86 | 35 |
| | f, Гц | | 0.28 | 0.62 | 1.25 | 2.5 | 5 |
| ZRN | $lg(Lg/P)$ | | 1.05 | 0.89 | 0.55 | 0.05 | -0.58 |
| ZRN | σ | | 0.10 | 0.18 | 0.10 | 0.16 | 0.11 |
| ZRN | N | | 18 | 13 | 12 | 9 | 5 |

Максимальное значение параметра $lg(Lg/P)$ у ядерных взрывов приходится на частоту 0.3 Гц, которой соответствует максимум спектра скорости волн Lg . По мере роста частоты значение параметра $lg(Lg/P)$ систематически уменьшается, но не одинаково для разных станций. Это уменьшение более заметно для станции Гарм и слабее – для станции Новосибирск. Полученная закономерность еще раз подтверждает, что не следует ожидать одинаковых значений параметра Lg/P для разных станций, даже если станции находятся в одном и том же регионе на одинаковых расстояниях от событий. Средние значения параметра $lg(Lg/P)$ семипалатинских ядерных взрывов для всех четырех станций показаны в таблице 6. Как можно видеть, различие значений параметра для разных станций на фиксированной частоте не намного меньше, чем разброс значений для одной и той же станции при разных взрывах.

Значение стандартного отклонения для взрывов варьирует от 0.1 до 0.3 лог.ед и в среднем для всех станций и частот равно 0.17. Наименьший разброс значений стандартного отклонения характерен для станции Зеренда, он равен 0.13, тогда как для станции Талгар - 0.21. Трасса от Семипалатинского испытательного полигона до станции Зеренда проходит по наиболее высокодобротной и однородной части Казахской платформы. Величина стандартных отклонений между станциями минимальна при частотах 0.3 – 0.6 Гц, т.е. около максимума спектра Lg .

Таблица 6. Средние по четырем станциям значения $lg(Lg/P)$ и стационарная компонента стандартного отклонения $\sigma_{ст}$

| f | 0.18 | 0.28 | 0.31 | 0.62 | 1.25 | 2.5 | 5 |
|---------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| $lg(Lg/P)$ | 0.84 | 0.90 | 1.01 | 0.85 | 0.56 | -0.02 | -0.64 |
| $\sigma_{ст}$ | | 0.16 | 0.08 | 0.08 | 0.15 | 0.13 | 0.06 |

ВЫВОДЫ

Региональные вариации параметра распознавания событий L_g/P_n и его изменение с расстоянием могут быть значительными. Они могут превышать не только естественный разброс для фиксированных станций и очага, но и различие между взрывами и землетрясениями. Поэтому для мониторинга взрывов в обширном регионе, охватывающем не только известные полигоны, необходимо использовать транспортабельные критерии. При этом совершенно недостаточно учитывать только расстояние от очага. Транспортабельный критерий должен строиться на основе отклонений от пространственного поля параметра $lg(L_g/P_n)$, полученного для каждой отдельной станции мониторинга по землетрясениям. В 1975 г. такое поле в виде сглаженных карт изолиний было предложено в качестве основы распознавания событий и использовалось на практике сетью ЧИСС станций Службы спецконтроля Министерства обороны СССР.

Транспортабельный мониторинг состоит в определении для каждого текущего события величины его рабочих параметров и в вычислении отклонения их от локального среднего, согласно имеющейся (и постоянно пополняющейся) базе данных для землетрясений, происшедших в той же зоне и записанных той же станцией. Событие считается возможным взрывом, если значение параметра $lg(L_g/P_n)$ отклоняется от локального среднего в окрестности эпицентра на величину δ лог. ед, превышающую критическую. Критическое отклонение может быть взято

постоянным для всех расстояний и участков региона, в котором ведется мониторинг.

Поскольку промышленные взрывы производятся во многих районах и составляют весомую часть сейсмических событий, аналогичная база данных должна накапливаться и для взрывов.

Различие в значениях параметра $lg(L_g/P_n)$ для взрывов и для землетрясений на высоких частотах (2.5 – 5 Гц) больше, чем на низких. Поэтому распознавание следует вести, используя не максимальные амплитуды широкополосных записей, а амплитуды записей в фиксированных частотных интервалах. Важно отметить, что полосы частот, аналогичные каналам ЧИСС (лог-постоянной ширины) предпочтительнее узкополосных фильтров линейно постоянной ширины Δf . Это связано с тем, что последние отличаются длительным, возрастающим с частотой, переходным процессом в фильтрах, в результате которых временная структура сигнала сильно искажается. В фильтрах лог-постоянной ширины переходный процесс составляет всего два цикла колебаний. Они оптимальны в смысле как частотного, так и временного описания сигнала.

Представляется, что критерий распознавания событий разумно строить в вероятностном выражении [13, 14]. Тогда парциальные вероятности для каждой частотной полосы могут суммироваться по Байесу, что повысит эффективность распознавания событий по сигналам, записанным в нескольких полосах частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. I.L. Nersesov, T.G. Rautian The study of dynamics and kinematics of seismic waves at the Big Profile Pamir-Baika// Proceedings of the VIII Assembly of the European Seismological Commission. - Budapest, 1964. - P.174-181.
2. Антонова Л.В., Халтурин В.И. и др. Основные экспериментальные закономерности динамики сейсмических волн. – М.: Наука, 1968. - 287 с.
3. Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС//Экспериментальная сейсмология. - М.: Наука, 1971. - С. 20-36.
4. Халтурин В.И. Станции ЧИСС в системе наблюдений КСЭ. Гармский полигон. - М.: ИФЗ АН СССР, 1990. - С. 41-66.
5. Халтурин В.И., Рузайкин А.И. Выделение крупных горизонтальных неоднородностей по характеристикам волн P_n , L_g , R_g //Экспериментальные сейсмические исследования недр Земли: раздел II, главы 1 и 2. – М.: Наука, 1978. - С. 61-88.
6. Молнар П., Нерсесов И.Л., Рузайкин А.И., Халтурин В.И. Волны L_g и их распространение в Центральной Азии//ДАН. – 1975.- Т 222. -С. 829-832.
7. Молнар П., Нерсесов И.Л., Рузайкин А.И., Халтурин В.И. Волны L_g и их распространение в Центральной Азии//Сборник советско-американских работ по прогнозу землетрясений: т. 1, кн. 1. Душанбе: Дониш. - 1976. - С. 185-206.
8. V.I. Khalturin, P.Molnar at al. Propagation of L_g waves and lateral variations in crust structure//Journ.Geoph.Res. - v. 82, N 2, 1977. - Pp. 307-316.
9. V.I. Khalturin, P.G.Richards, W-Y. Kim Analysis of the Nilore, Pakistan, seismogram of the Indian nuclear explosion of 1998, May 11. Lamont-Doherty Earth Observatory, June 25, 1998. Report.
10. B. Barker, P. Richards, V. Khalturin et al. Monitoring nuclear tests//Science, Sep 25 1998. - V. 281, no. 5385. - Pp. 1967-1968
11. Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И. Индийский и казахстанский подземные ядерные взрывы 1998 г. по данным казахстанской сейсмической сети наблюдений//Геофизика и проблема нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000.- Вып. 2.- С. 53-64.
12. Хайдаров М.С. Очаговые спектры землетрясений и пространственно-временные вариации угловой частоты: Канд. диссертация. – 1986. - С. 99-103.
13. Писаренко В.Ф., Раутиан Т.Г. Статистическая классификация по нескольким признакам//Вычислительная сейсмология. – 1966. - Вып. 2. - С. 150-182.
14. Нерсесов И.Л., Писаренко В.Ф., Раутиан Т.Г., Смирнова Н.А., Халтурин В.И. Применение теории узнавания для статистического разделения мелких и глубоких землетрясений по динамическим характеристикам записи//Проблемы цунами. – М.: - Наука, 1968. - С. 63-74.

ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР МОНИТОРИНГІСІ ПРОБЛЕМАСЫНДА LG ЖӘНЕ Pn ТОЛҚЫНДАР АМПЛИТУДАЛАРЫНЫ ҚАТЫНАСЫ

Халтурин В.И.

Колумбия Университетінің Ламонт-Дохерти Геологиялық Обсерваториясы, Палисадес қ., Нью-Йорк штаты

Семей ядролық жарылыстың Талғар станциясының және индия ядролық жарылыстың Нилор станциясының жазбаларымен безендірілетін жарылыстар мен жер сілкінулер жазбаларында Lg/Pn арақатысының аумақтық ерекшеліктері сипатталады. Оқиғалардың екеуіндеде эпиорталықтық қашықтығы шамамен бірдей (750 км.), бірақ ядролық жарылыстар жазбасында Lg/Pn қатынасы 11-13 рет өзгеше. Оданда көп өзгешілігі Орта Азия мен Тибет аймағын қиып өтетін трассалардағы жер сілкінулер үшін байқалады. Мақалада, айқын станциялар жазбаларына келтіре жарылыстар мен жер сілкінулер үшін Lg/Pn аймақтық вариациялары және олардың стандартты ауытқушылықтары сипатталады. 0,3-2 Гц. жиіліктер ауқымында жарылыстар жазбасында Lg/Pn мөлшері сол аймақтағы жер сілкінулер жазбасындағынан екі есе кіші. Жиіліктің бұдан гөрі үлкен мөлшерлерінде бұл өзгешілік көбейеді, және айырып тану тиімділігі өседі. Стандартты ауытқушылығы жиіліктен тәуелсіз, орта мәнде жарылыстар үшін 0,17 лог.бір. және жер сілкінулер үшін 0,30 шамасында.

AMPLITUDE RATIO OF LG AND P-WAVES IN NUCLEAR MONITORING PROBLEM

V.I. Khalturin

Lamont-Doherty Geological Observatory, University of Columbia, Palisades, NY

The paper presents regional differences of Lg/Pn ratio in explosion and earthquake records of a Semipalatinsk nuclear explosion recorded by Talgar station and Indian nuclear explosion by Nilor station. In both cases epicentral distances are approximately equal (750 km), but Lg/Pn ratio differs 11-13 times in the nuclear explosion records. Even more distinct differences are observed for earthquakes at the traces crossing Middle Asian and Tibet region. Lg/Pn regional variations are characterized for explosions and earthquakes with regard to specific stations' records and their standard deviations. In the frequency range of 0.3-2 Hz Lg/P value in the explosion records is two times less than in the earthquake records of the same region. This difference and discrimination efficiency increase on high frequencies. Standard deviation does not depend upon a frequency and on average is 0.17 log. units for explosions and 0.30 for earthquakes. Scale of regional and station differences of Lg/P parameter proves the necessity to construct a transportable discrimination criterion for earthquakes on the basis of spatial field of parameter values (database) depending upon epicenter location and chiefly for each single station of the monitoring network. The author first proposed such fields of spectral parameters as long ago as 1975.