

УДК 550.342.001.57

МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МАКАНЧИ»

Комаров И.И., Синева З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С.

Институт геофизических исследований

По цифровым данным геофизической обсерватории «Маканчи» изучен сейсмический шум в широком, более шести порядков значений, частотном диапазоне. Спектр плотности сейсмического шума сопоставлен с моделями сейсмического шума, полученными для Глобальной сети сейсмических наблюдений (GSN IRIS).. Оценены параметры, характеризующие вариации сейсмического шума под воздействием техногенных и природных факторов.

Станция Маканчи (MAKZ) расположена в Восточном Казахстане (рис. 1), примерно в 2.5 км от поселка Маканчи. Ее координаты: широта – $46^{\circ}48'29''N$, долгота – $81^{\circ}58'37''E$, высота над уровнем моря – 600 м. Станция входит в Глобальную сеть сейсмических наблюдений (GSN IRIS), а также в состав первичной сети (PN) Международной системы мониторинга (IMS), учрежденной для контроля за соблюдением Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний (СТВТ). Географическое положение станции удобно, с одной стороны, для контроля за сейсмическими событиями, происходящими на региональных расстояниях, например, на полигоне Китая Лобнор, находящемся примерно в 700 км от станции. С другой стороны, оно удобно для изучения сейсмичности близлежащих районов Джунгарского Алатау и Алтая. В последнее десятилетие здесь отмечено усиление сейсмической активности, что проявилось, например, в сильных Зайсанских землетрясениях 1990 г. ($M=6,9$ и $M=6,3$). Однако систематических инструментальных наблюдений в этой части Казахстана до сих пор практически не проводилось. Публикуемые каталоги землетрясений не содержат информации о сейсмичности этой территории. Поэтому работа станции Маканчи имеет важное значение как для мониторинга подземных ядерных взрывов, так и для мониторинга сейсмической ситуации в близлежащих районах.

Основной целью настоящей работы являлось изучение динамических, прежде всего спектральных, характеристик микросейсмического шума в районе обсерватории Маканчи. Структура сейсмических помех, его временные вариации позволят с большей достоверностью судить о чувствительности выполняемых наблюдений в разных частотных диапазонах. Учет выявленных закономерностей при анализе записей сейсмического сигнала позволит повысить эффективность использования станции при решении задач мониторинга.

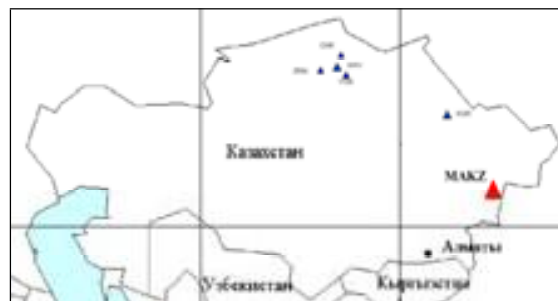


Рис. 1. Расположение станции Маканчи.

Характеристика сейсмической аппаратуры и методика исследований

Сейсмическая информация, регистрируемая обсерваторией Маканчи, разнообразна как по диапазону эпицентральных расстояний событий, так и по диапазону их интенсивности. Это обеспечивается использованием современной регистрирующей и обрабатывающей аппаратуры. С 1994 г. по 1996 г. здесь была установлена сейсмическая станция Passcal с сейсмоприемниками STS-2. В октябре 1996 г. она заменена станцией IRIS-2 GSN с сейсмоприемниками STS-1 и STS-2, которая функционирует и в настоящее время. Для записи сильных движений используется акселерометр FBA-23. Сейсмоприемники располагаются на глубине порядка 15 м в штольне, пройденной в андезитовых лавах. Аппаратура обеспечивает регистрацию в одном непрерывном широкополосном канале всего спектра сейсмических сигналов, порождаемых событиями различной магнитуды. Так, основной канал VBB сейсмометра STS-1 регистрирует события в диапазоне временных периодов от 0,1 до 100 000 с и имеет динамический диапазон 138 дБ. Однако, несмотря на беспрецедентные полосу пропускания и динамический диапазон, канал не охватывает высокочастотную часть спектра, выше 7 Гц, а также не регистрирует сильные движения грунта. Поэтому на станции дополнительно рабо-

тают короткопериодный канал VSP сейсмометра STS-2 и канал акселерометра FBA-23 низкой чувствительности LG.

Амплитудно-частотные характеристики всех трех типов сейсмометров STS-1, STS-2, FBA-23, приведены на рис. 2.

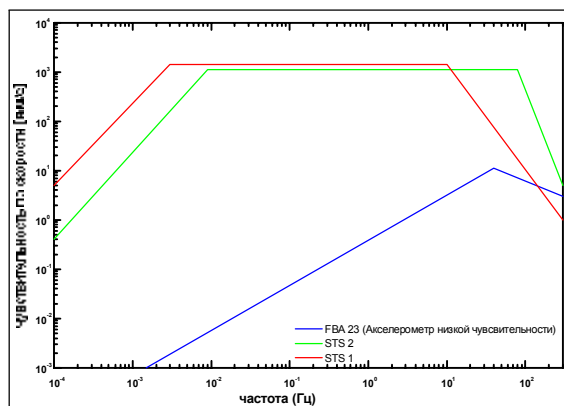


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики сейсмометров, установленных на станции Маканчи.

Сведения о сейсмических каналах, работающих на станции Маканчи, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры сейсмических каналов станции Маканчи

Канал	Число отсчетов в секунду	Сейсмометр	Режим записи	Примечание
VSP	80	STS-2	триггерный	VSP
SSP	40	STS-2	непрерывный	VSP
VBB	20	STS-1	непрерывный	VBB
LP	1	STS-1	непрерывный	производный канал от VBB
VLP	0.1	STS-1	непрерывный	производный канал от VBB
VLP	0.01	STS-1	непрерывный	производный канал от VBB
LLG	80	FBA-23	триггерный	низкочувствительный (LG)
LLP	1	FBA-23	непрерывный	низкочувствительный (LG)

Основным требованием при отборе участков записи для анализа являлось отсутствие в данном временном отрезке сейсмических событий или «хвостов» предшествующих сильных событий. Для этого использовались каталоги землетрясений мира, а также бюллетени землетрясений сейсмической станции Северного Тянь-Шаня «Талгар». По выбранном таким образом отрезкам записей длиной 8-12 часов сканировались данные канала LP. Далее просматривались записи каналов VBB и VSP, из которых отбирались участки длиной в один час (канал VBB) и 0,5 часа (канал VSP) - самые высокочастотные во всем диапазоне, свободные от аппаратурных «выскоков» и влияния даже слабых сейсмических событий.

Таким образом было отобрано всего около 40 дневных записей для каналов VBB и LP и при-

мерно столько же ночных записей. Для канала SP отобрано 20 ночных и 14 дневных записей.

Спектральная плотность сейсмического шума вычислялась по методике, приведенной в [1, с. 425-430]. Основные ее положения сводятся к следующему:

1. Получаемые спектры корректируются с учетом амплитудно-частотных характеристик регистрирующих приборов.

2. Расчеты производятся по сейсмограммам с последующим их пятидесятипроцентным перекрытием. Спектральные оценки по участкам перекрытия усредняются (для станции Маканчи в расчетах использовались сейсмограммы длиной 8192 отсчета, что соответствовало 7 минутам записи VBB-канала и 2,5 часам LP-канала).

Каждый канал регистрирует сейсмические сигналы по трем компонентам: вертикальной (Z) и двум горизонтальным, ориентированным в направлениях север-юг (N) и восток-запад (E). Для изучения сейсмического шума были использованы записи станции за период с октября 1996 г. по декабрь 1997 г. Структура микросейсмических помех изучалась путем построения спектров плотности сейсмического шума по каналам записи VSP, VBB и LP для всех трех компонент. Пример исходной трехкомпонентной сейсмической записи по каналу VBB приведен на рис.3.

Уже предварительный визуальный анализ сейсмограмм показал наличие на горизонтальных компонентах интенсивных длиннопериодных колебаний в дневное время, имеющих, как это видно на рис.3, форму «бабочки». В связи с этим, спектральная плотность сейсмического шума в дальнейших исследованиях рассчитывалась отдельно для дневных и ночных временных отрезков записей.

3. Спектр вычисляется с применением быстрого преобразования Фурье.

Расчеты по этой методике позволили оценить спектральную плотность сейсмического шума в следующих частотных диапазонах:

- канал VSP – 0.05 ÷ 200 сек;
- канал VBB – 0.1 ÷ 400 сек;
- канал LP – 2 ÷ 8000 сек;
- канал VLP – 20 ÷ 80 000 сек.

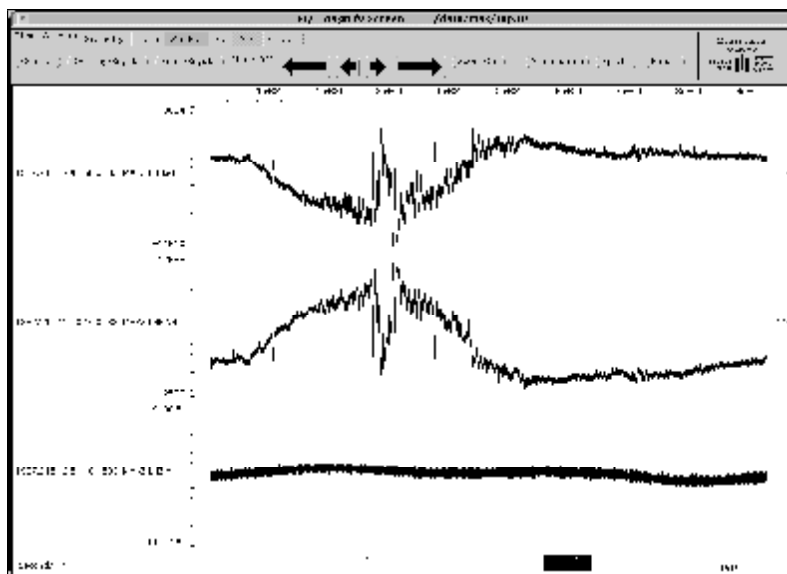


Рис 3. Характерный пример исходной записи. Длина записи – 24 часа. Начало записи соответствует 6 часам местного времени. Сверху вниз компоненты: горизонтальная (север – юг), горизонтальная (восток – запад), вертикальная.

Результаты исследований

На рис.4 приведена модель сейсмического шума станции Маканчи - сводные кривые спектральной плотности сейсмического шума для трех его компонент в диапазоне временных периодов от $6 \cdot 10^{-2}$ с до 105 с, охватывающем более шести порядков значений. Как видно из рисунка, в диапазоне временных периодов до 15с. значения спектральной плотности вертикальной и горизонтальных компонент шума относительно близки друг другу – расхождение между ними не превышает 5-7 дБ. С увеличением значений временного периода, в области значений >15 с, отмечается существенное различие в уровне спектральной плотности сейсмического шума для различных компонент. Наиболее спокойна Z-составляющая, что согласуется с данными по другим сейсмическим станциям GSN [2].

Наряду с моделью сейсмического шума станции Маканчи, на рис.4 приведены аналогичные данные, полученные для представительных экспериментальных цифровых записей Глобальной сейсмической сети, заимствованные из [2]. Верхняя и нижняя границы модели сейсмического шума по мировым данным показаны сплошными черными линиями. По модели сейсмического шума для станции Маканчи четко выделяются главные экстремумы спектральной плотности шумов, отмечаемые и по мировым моделям: при $T \approx 5$ с, при $T = 18$ с. Они объясняются естественными микросейсмами

Земли, регистрируемыми практически в любой точке Земного шара [2]. Выявлен локальный максимум сейсмических шумов для временного периода 0,35 с, который специфичен для условий этой станции и, по-видимому, связан с техногенными помехами. Его проявление заметнее в дневное время и ослабевает в ночное. В области периодов от 0.5 с до 20 с значения спектральной плотности шумов на станции Маканчи близки к нижеуровневой модели, что очень важно, поскольку чувствительность станции в этой частотной области в значительной степени определяет ее эффективность при решении задач мониторинга сейсмических событий на региональных расстояниях.

Результаты оценки сейсмического шума на станции Маканчи сравнивались с аналогичными данными для двух ближайших к ней станций, входящих в систему GSN IRIS и расположенных в зоне Тянь-Шань - Ала-Арча, Кыргызстан, и Урумчи, Китай. Аппаратура, используемая на этих станциях, аналогична установленной на станции Маканчи, месторасположение станций - коренные породы. В целом, станции близки друг другу по уровню шумов при регистрации сигналов на периодах менее 20 с. При регистрации сейсмических сигналов в области наиболее высоких частот (~10 Гц) станция Маканчи уступает станции Ала-Арча, но значительно выигрывает относительно станции Урумчи. На станции Маканчи отсутствует повы-

шенный уровень сейсмического шума на периодах в районе значения 1.6 с, четко проявляющийся на всех компонентах станции Ала-Арча, объясняемый штормовыми явлениями озера Иссык-Куль. В области этих значений периодов уровень сейсмического шума на станции Маканчи ниже на 10 дБ, чем на станции Ала-Арча.

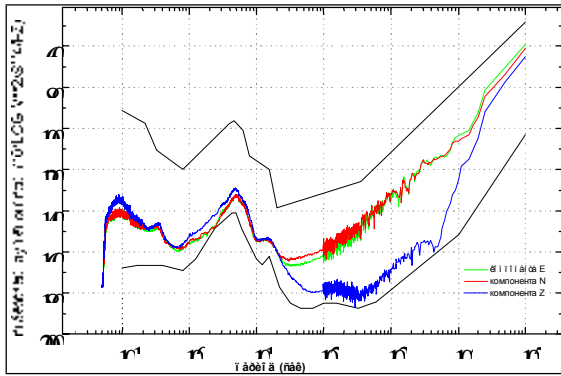


Рис 4. Сводная кривая спектральной плотности сейсмического шума по трем компонентам, составленная объединением данных, полученных по записям всех каналов.

Однако при регистрации наиболее длинно-периодных сигналов станция Маканчи проигрывает этим станциям из-за имеющих место в дневное время колебаний на горизонтальных компонентах.

Для более детального изучения вариаций сейсмического шума, вызванных как техногенными, так и природными факторами, были построены кривые спектральной плотности отдельно по дневным и ночным периодам наблюдений. В дневной период включены наблюдения по местному времени от 7 до 19 часов, в ночной – от 19 часов вечера до 7 часов утра. На рис.5 для сравнения даны результаты определения спектральной плотности в дневное и ночное время для вертикальной и одной из горизонтальных компонент (север-юг).

Устанавливаются следующие закономерности. Для вертикальной компоненты уровень сейсмических шумов станции в дневное время увеличивается только в области наиболее высоких частот, при значениях периодов 0,06 - 0,8 с. В остальных случаях значимого различия интенсивности шума в дневное и ночное время не отмечается. Для горизонтальных компонент в дневное время, также как для вертикальной компоненты, отмечается четкое усиление высокочастотных колебаний в том же диапазоне (0,06 - 0,8 с). Кроме того, по обеим горизонтальным составляющим дневной сейсмический шум на 5-10 дБ превышает ночной на периодах, превышающих 20 с - усиление длиннопериодных помех приурочено к рабочему времени дня. Помимо отмеченного, по всем трем компонентам наблюдается четкое увеличение сейсмических шумов при

временных периодах 0,3-0,35 с, что нами объясняется как вызванное местными техногенными факторами. Анализ временных суточных вариаций высокочастотной составляющей сейсмического шума показал, что абсолютный максимум интенсивности приходится на двенадцать часов местного времени. - эффект техногенного влияния на сейсмический фон. В диапазоне временных периодов 0.8- 20 с нет зависимости интенсивности сейсмического шума от времени суток ни по одной из компонент.

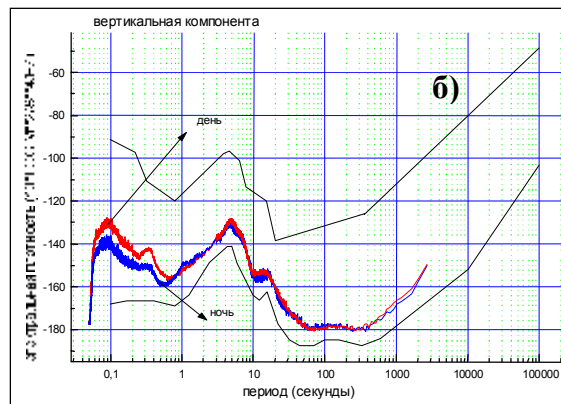
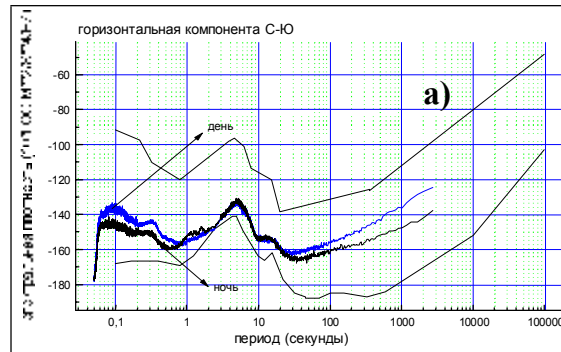


Рис 5а,б. Сравнение кривых спектральной плотности сейсмического шума - дневного и ночного: а) горизонтальная компонента; б) для вертикальной компоненты.

Интерес представляет изучение характера вариаций уровня спектра шума во всем частотном диапазоне в разные сутки года, а также расчет наиболее вероятной спектральной кривой шума.

Анализ проводился отдельно по дневным и ночным отрезкам сейсмограмм. Для каждого частотного диапазона построены распределения значений уровня спектра плотности сейсмического шума.

Эмпирические распределения описывались двумя параметрами, не зависящими от вида функции распределения: медианой $MeS(T)$, где $S(T)$ – спектр шума, и отклонениями от нее вправо и влево в пределах 90% интервала: $\sigma^-(T)$ и $\sigma^+(T)$. Построенные медианные спектры $MeS(T)$, а также кривые

[MeS(T)+ $\sigma^+(T)$] и [MeS(T)- $\sigma^-(T)$] представлены на рис. 6 и 7.

Можно отметить, что значения отклонений σ^+ и σ^- существенно зависят от изучаемого частотного диапазона. Они минимальны для той области временных периодов, где фон наиболее близок к нижней границе мировой модели шума – от 2,5 до 10 с. Кривая [MeS(T) - $\sigma^-(T)$] для Маканчи в этом диапазоне почти совпадает с мировой модельной кривой. За пределами этого диапазона временных периодов вариации σ гораздо более значительны, ее величина варьирует от $\sigma^+, \sigma^- = 2,5$ дБ до $\sigma^+ \text{max} = 12$ дБ, $\sigma^- \text{max} = 7$ дБ. То есть, естественные вариации шума во всех случаях (на всех компонентах, на всех изученных частотах) составляют порядка 8% от величины MeS(T).

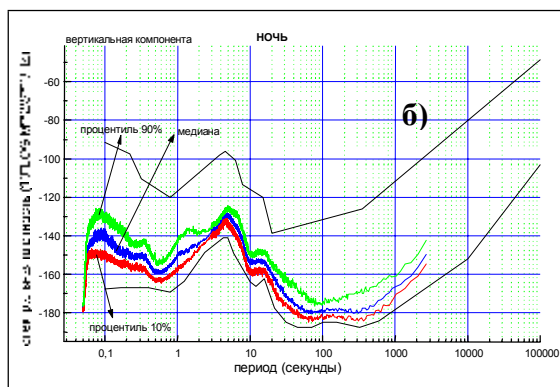
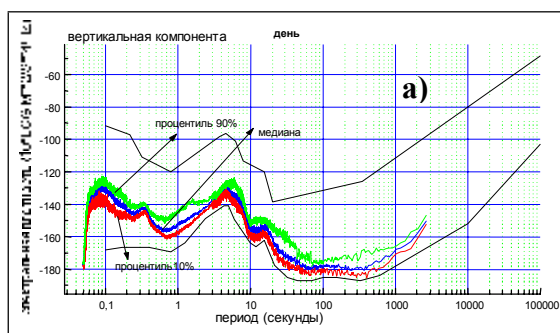


Рис 6 а,б. Сравнение вариаций спектральной плотности сейсмического шума для вертикальной компоненты: а) день; б) ночь.

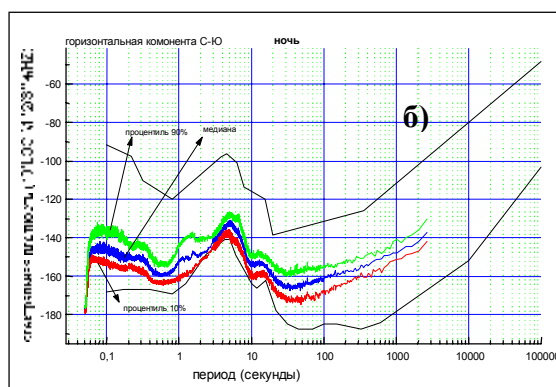
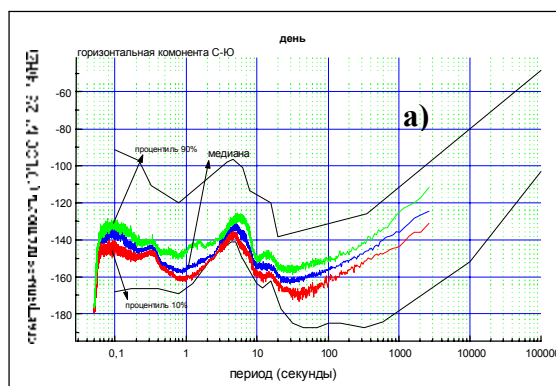


Рис 7а,б. Сравнение вариаций спектральной плотности сейсмического шума для горизонтальной компоненты: а) день; б) ночь.

Выводы

1. Впервые по цифровым записям станции Маканчи построена модель сейсмического шума в широком частотном диапазоне. В области временных периодов 0,5 – 20с спектральная плотность шума близка к нижней границе мировой модели сейсмического шума, что позволяет отнести станцию Маканчи к категории наиболее чувствительных станций Глобальной сейсмологической сети. Именно этому диапазону частот соответствуют по своему спектральному составу сейсмические колебания землетрясений и подземных ядерных взрывов, регистрируемые на региональных расстояниях. Для иллюстрации на рис. 8 и 9 приведены записи подземного ядерного взрыва, произведенного на полигоне Лобнор на расстоянии 754 км, и более близкого землетрясения, произошедшего на расстоянии ≈ 200 км от станции. Записи, зарегистрированные станцией Маканчи, очень четкие, и это позволяет проводить временной и спектральный анализ сейсмических сигналов.
2. Установлено, что в области длиннопериодных сейсмических колебаний, станция Маканчи является довольно шумной. Существует неизвестный источник, генерирующий в дневное время длиннопериодные помехи, поляризованные в горизонтальной плоскости.

3. Детально исследована структура вариаций уровня фона на разных частотах. Свой вклад в них вносят техногенные источники вблизи станции и естественные источники микросейсм. Количественно вариации за счет естественных и техногенных источников оцениваются примерно одинаковыми величинами, не превышающими 10% от уровня шума. Однако, техногенные помехи характеризуются четко установленным частотным диапазоном, а естественные вариации наблюдаются во всей изученной частотной области.
4. Построены наиболее вероятные спектры шумов для пункта наблюдения Маканчи по трем регистрируемым составляющим сейсмического поля.

Благодарность

Авторы выражают глубокую признательность доктору В.Ё. Киму (Ламонт-Дохертская Земная обсерватория Колумбийского университета, США) за любезно предоставленную им программу POWER, а также за помощь и консультации, оказанные им в ходе выполнения данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке USAFE.

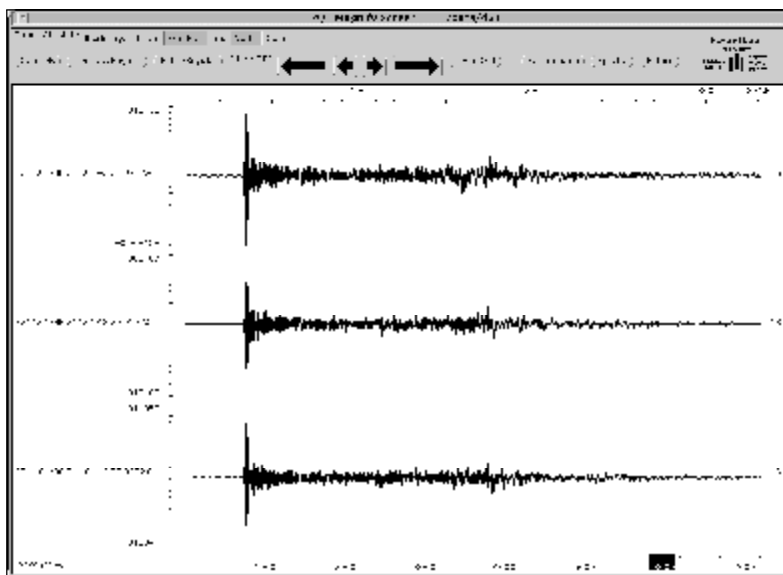


Рис. 8. Пример записи ядерного взрыва, произведенного на полигоне Лобнор 29 июня 1996 года в 1 час 48 мин 57 сек, $m_b=4.9$, расстояние до станции Маканчи $r=754$ км.

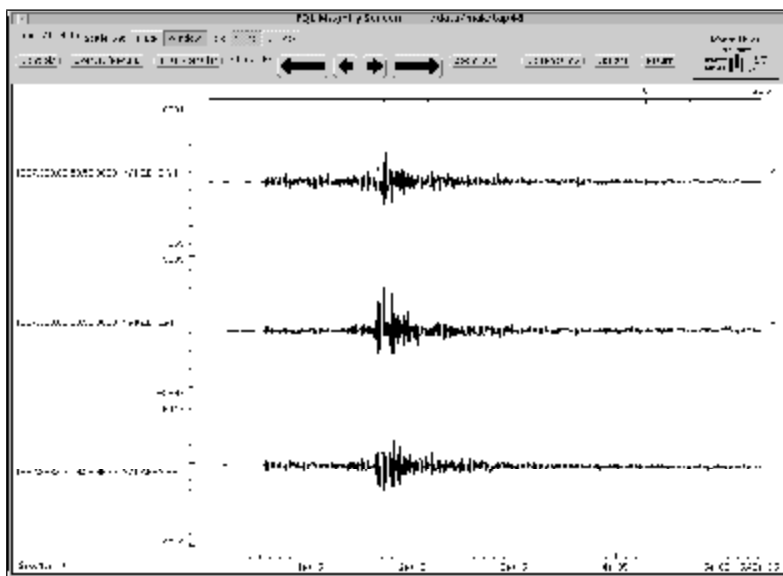


Рис 9. Пример записи сейсмического события, произошедшего в 200 км к северо-востоку от станции Маканчи 29 декабря 1997 года в 12 часов 29 минут, $M_s=2.7$.

Литература

- 1) William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling. Numerical Recipes. Cambridge University Press, 1987 year, 818 pp.
- 2) Jon Peterson, Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year, 42 pp.

«Мақаншың геофизикалық обсерваториясының бақылауы бойынша шығарылған сейсмикалық шудың моделі

Комаров И.И., Синева З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С.

Геофизикалық зерттеу институты

«Мақаншың геофизикалық обсерваториясының берген есептеулері бойынша алтыдан астам реттік маңызы бар жиі диапазондағы сейсмикалық шу кеңінен зерттелген. Сейсмикалық шудың тығыз спектрі Глобалды жүйедегі сейсмикалық бақылаудан алынған сейсмикалық шудың моделімен салыстырылған. Техногендік және табиғи факторлардың әсерімен сейсмикалық шудың вариациясын сипаттайтын параметрлерге баға берілген.

Seismic Noise Model from Observations at Geophysical Observatory Makanchi

I.I. Komarov, Z.I. Sinyova, N.N. Mikhailova, G.S. Abdrakhmanova

Institute of Geophysical Research

Seismic noise has been studied in a wide range of frequencies (more than 6 orders). The seismic noise density spectrum was compared with seismic noise models, obtained for observations of the Global Seismic Network (GSN IRIS). The parameters, characterizing variations of seismic noise from technological and natural sources were estimated.