

УДК 550.34

Берёзина А.В.¹, Соколова И.Н.²
Першина Е. В.¹, Никитенко Т. В.¹

¹Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан,

²Институт геофизических исследований Министерства энергетики Республики
Казахстан, г. Курчатов, Казахстан

РАСПОЗНАВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ ДЛЯ ПОЛИГОНА ЛОБНОР ПО ДАННЫМ СЕТИ KNET

Аннотация. По записям сейсмических станций Кыргызской сети мониторинга KNET проведён сравнительный анализ волновой картины подземных ядерных взрывов, произведённых на региональных расстояниях: на полигоне Лобнор в 1983 - 1996 гг. и тектонических землетрясений, произошедших в том же районе. Исследованы спектральные отношения основных сейсмических региональных фаз Sn/Pn и Lg/Pg с целью сейсмического распознавания природы источника.

Ключевые слова: мониторинг, ядерный взрыв, запись, частота, землетрясение.

KNET ТҮЙҮНҮНҮН МААЛЫМАТТАРЫ БОЮНЧА ЛОБНОР ПОЛИГОНУ ҮЧҮН АЙМАКТЫК АРАЛЫКТАРДАГЫ ЯДРОЛУК ЖАРЫЛУУЛАРДЫ ЖАНА ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮ ТААНУУ

Кыскача мазмуну. KNET мониторингинин Кыргыз түйүнүнүн сейсмикалык станцияларынын жазып алуулары боюнча аймактык аралыктарды жүргүзүлгөн жер алдындагы ядролук жарылуулардын толкундук сүрөтүнүн салыштырмалуу талдоосу жүргүзүлгөн: Лобнор полигонунда 1983 – 1996-жж. жана ошол эле райондо жүргүзүлүшкөн тектоникалык жер титирөөлөрдүн талдоосу аткарылган. Булактын жаратылышын сейсмикалык таануу максатында Sn/Pn жана Lg/Pg негизги сейсмикалык аймактык фазаларынын спектралдык катнаштары изилденген.

Негизги сөздөр: мониторинг, ядролук жардыруу, жазып алуу (каттоо), жыштык, жер титирөө.

DISCRIMINATION OF NUCLEAR EXPLOSIONS AND EARTHQUAKES AT REGIONAL DISTANCES FOR THE LOP NOR TEST SITE ACCORDING TO THE KNET NETWORK DATA

Annotation. Based on the records of the KNET network, a comparative analysis of the waveforms of underground nuclear explosions, conducted at regional distances, was carried out at the Lop Nor Test Site (1983 – 1996) and tectonic earthquakes in the same area. The spectral ratios of the Sn/Pn and Lg/Pg seismic regional phases were studied with the aim of seismic recognition of the source nature.

Keywords: monitoring, nuclear explosion, record, frequency, earthquake.

В сентябре 1991 г. на территории Кыргызстана была установлена сеть цифровых широкополосных сейсмических станций KNET, первая в Центральной Азии. В настоящее время она состоит из 10 станций: «Ала-Арча» (ААК), «Алма-Ашу» (АМЛ),

«Чумыш» (СНМ), «Еркин-Сай2» (EKS2), «Карагай-Булак» (КБК), «Кызарт» (KZA), «Токмак2» (TKM2), «Учтор» (UCH), «Улахол» (ULHL) и «Успенровка» (USP) [1]. В Центре данных ИС НАН КР ведётся круглосуточный мониторинг сейсмических событий разной природы с целью составления сейсмологических бюллетеней тектонических землетрясений, оценки сейсмической опасности и др. Контроль за проведением ядерных испытаний в регионе Центральной и Южной Азии сейсмическими методами не является основной задачей Центра, однако для составления качественного бюллетеня необходимо знать природу источника, так как на территории Азии кроме тектонических землетрясений регистрируется большое количество карьерных взрывов, а также существуют ядерные полигоны, часть из которых в настоящее время закрыта. Однако задача сейсмического распознавания подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях не потеряла своей актуальности. Ядерные полигоны Азии (Семипалатинский (Казахстан), Лобнор (Китай), Чагай (Пакистан) и Покхаран (Индия)) находятся на региональных расстояниях от станций кыргызской сети KNET [1]. С начала работы сеть KNET зарегистрировала 8 ПЯВ из района китайского испытательного полигона Лобнор, 1 из района индийского испытательного полигона Покхаран, и 2 из района пакистанского испытательного полигона Чагай. Основными этапами сейсмического распознавания на региональных расстояниях являются: определение местоположения источника и глубины события, построение механизма очага, расчёт спектра сигнала, определение амплитудных отношений региональных фаз, отношение магнитуд поверхностных и объёмных волн. Наиболее простым и эффективным методом распознавания подземных ядерных взрывов на региональных расстояниях является использование спектральных амплитудных отношений региональных фаз S/P, так как при ядерных взрывах меньшая доля энергии излучается в виде поперечных волн, чем при землетрясениях.

Анализировались записи, полученные на цифровых сейсмических станциях KNET: ААК, АМЛ, СНМ, EKS2, КБК, KZA, TKM2(ТКМ), UCH, ULHL, USP за 1992-2018 гг. Тектонические землетрясения выбирались из района, ограниченного координатами 40.5° - 43.5° N, 86.5° - 90.5° E. Всего было обработано 22 землетрясения с магнитудами $m_b = 4.0 \div 5.9$ (рисунок 1) и диапазоном эпицентральных расстояний от 877 км до 1406 км. На рисунке 2 представлена гистограмма распределения эпицентральных расстояний для тектонических землетрясений из района и вблизи полигона Лобнор.

Обработаны записи 8 ПЯВ 1992-1996 гг. с магнитудами $m_b = 4.9 \div 6.5$ (рисунок 1) и диапазоном эпицентральных расстояний от 1003 км до 1246 км. На рисунке 3 представлена гистограмма распределения эпицентральных расстояний для ПЯВ (подземных ядерных взрывов), произведённых на полигоне Лобнор и зарегистрированных станциями сети KNET. Следует отметить, что станции KNET находятся в узком диапазоне азимутов $Az=87.7 \div 94.7$.

На рисунке 4 представлены примеры сейсмограмм ПЯВ 1996-06-08 в 02:55:57.98, $\varphi = 41.657^{\circ}$ N, $\lambda = 88.690^{\circ}$ E, $m_b = 5.9$ [2] и тектонического землетрясения из района полигона 1999-01-30 в 03:51:05.42, $\varphi = 41.674^{\circ}$ N, $\lambda = 88.463^{\circ}$ E, $M_w = 5.5$ [2].

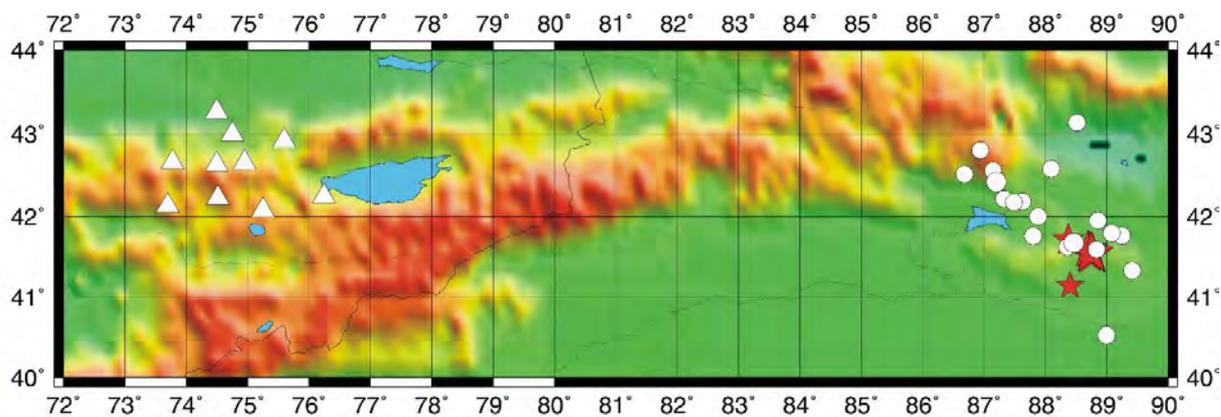


Рисунок 1. Карта расположения станций KNET (треугольники), ПЯВ (звёздочки), землетрясений (кружки).

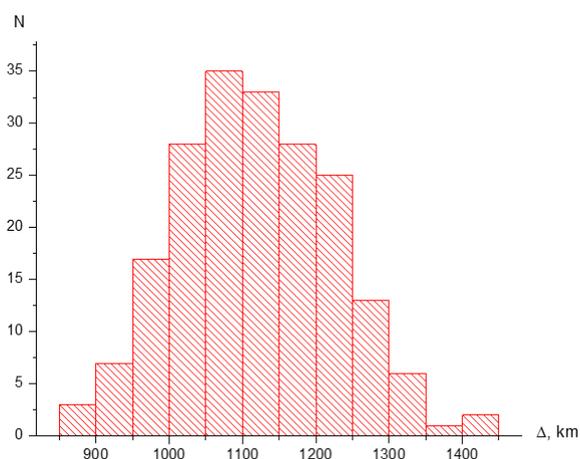


Рисунок 2. Гистограмма распределения эпицентральных расстояний для тектонических землетрясений из района и вблизи полигона Лобнор.

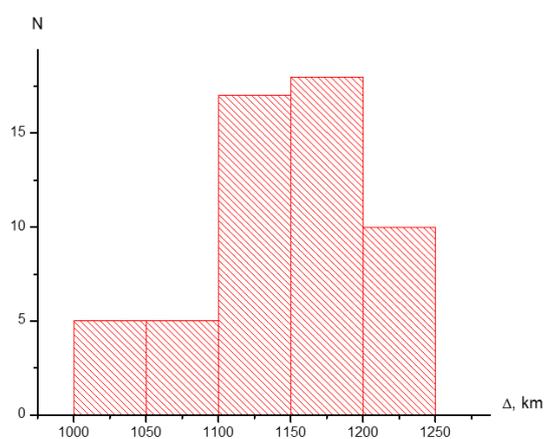


Рисунок 3. Гистограмма распределения эпицентральных расстояний для ПЯВ, произведённых на полигоне Лобнор.

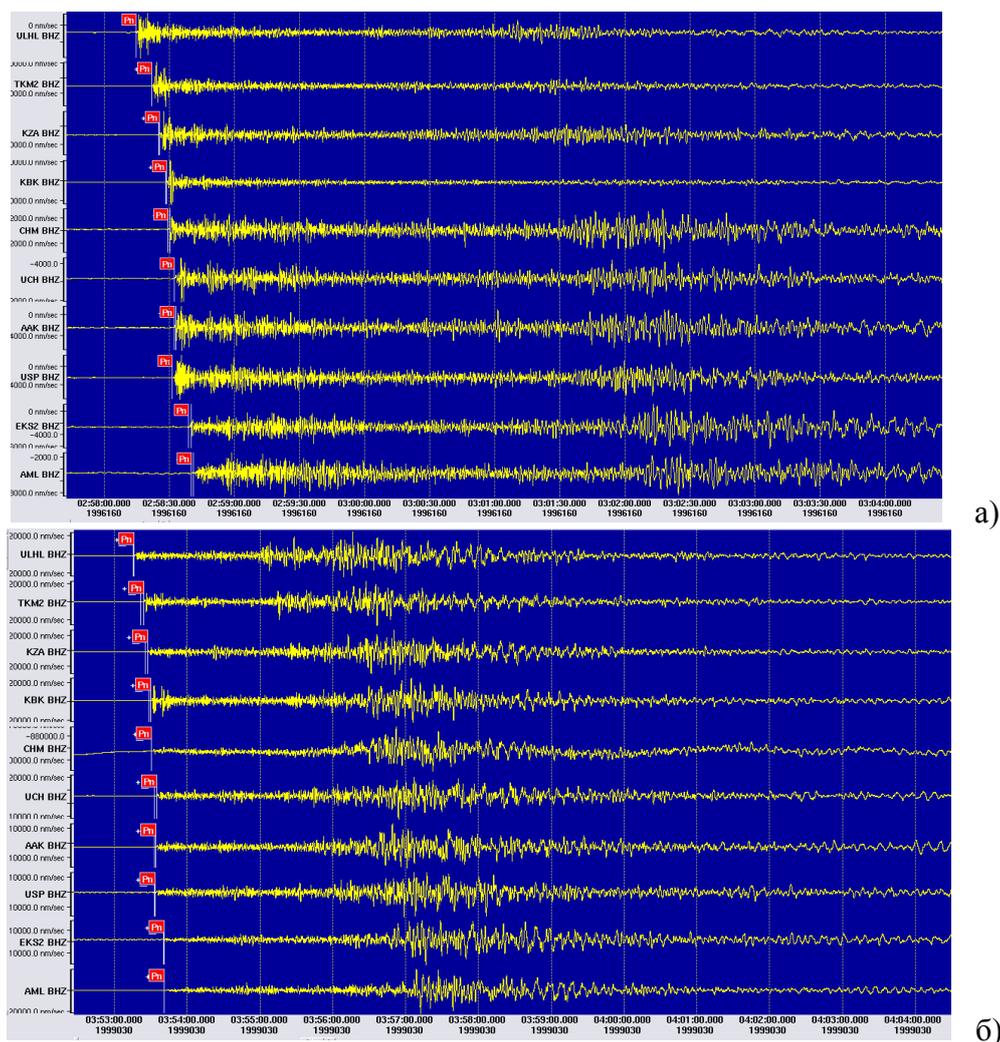


Рисунок 4. Сейсмограммы: а) ПЯВ 1996-06-08 в 02:55:57.98, $\varphi = 41.657^\circ\text{N}$, $\lambda = 88.690^\circ\text{E}$, $m_b = 5.9$; б) тектонического землетрясения из района полигона 1999-01-30 в 03:51:05.42, $\varphi = 41.674^\circ\text{N}$, $\lambda = 88.463^\circ\text{E}$, $M_w = 5.5$.

Сейсмические записи предварительно были отфильтрованы с использованием узкополосных фильтров с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5.0 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне -3 Дб от максимума [3-6] (рисунок 5). Общий частотный диапазон определялся характеристиками аппаратуры, магнитудой и эпицентрными расстояниями. За пределами этого диапазона отношение сигнал/шум не позволяло проводить измерения.

Были замерены максимальные амплитуды в волнах Pn, Pg, Sn, Lg и для анализа были использованы десятичные логарифмы отношений амплитуд $\lg(A_{Sn}/A_{Pn})$ (для краткости Sn/Pn), $\lg(A_{Lg}/A_{Pg})$ (для краткости Lg/Pg), замеренные на Z-компоненте.

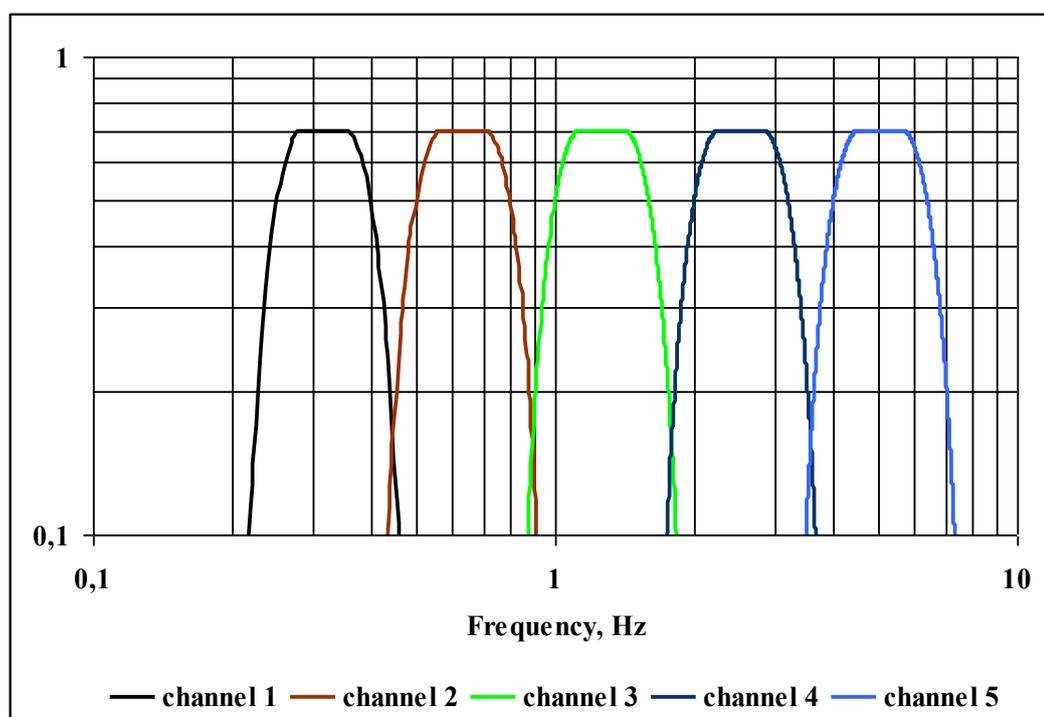


Рисунок 5. Частотные характеристики узкополосных каналов ЧИСС.

По станции ААК были обработаны сейсмограммы 6 ПЯВ на эпицентральных расстояниях $\Delta = 1146 \div 1182$ км и 19 тектонических землетрясений ($\Delta = 1034 \div 1347$ км). Анализ, проведённый для станции ААК, показал, что хорошее разделение параметров наблюдается для отношений амплитуд Sn/Pn и Lg/Pg на частотах 2.5, 5.0 Гц.

По станции АМЛ были обработаны записи 4 ПЯВ ($\Delta = 1243 \div 1246$ км) и 18 тектонических землетрясений ($\Delta = 1066 \div 1409$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц только для параметра Lg/Pg.

По станции СНМ были обработаны записи 6 ПЯВ ($\Delta = 1126 \div 1162$ км) и 20 тектонических землетрясений ($\Delta = 991 \div 1331$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц только для параметра Lg/Pg.

По станции ЕКС2 были обработаны записи 6 ПЯВ ($\Delta = 1205 \div 1241$ км) и 21 тектонических землетрясений ($\Delta = 1054 \div 1406$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц как для Sn/Pn, так и для Lg/Pg.

По станции КВК были обработаны записи 6 ПЯВ ($\Delta = 1109 \div 1145$ км) и 21 тектоническое землетрясение ($\Delta = 959 \div 1311$ км). На рисунке 6 представлены распределения значений Sn/Pn и Lg/Pg для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Лобнор. Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц как для Sn/Pn, так и для Lg/Pg.

Для сейсмической станции КЗА были обработаны записи 5 ПЯВ ($\Delta = 1085 \div 1119$ км) и 18 тектонических землетрясений ($\Delta = 940 \div 1281$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц только для параметра Lg/Pg.

По станции ТКМ2(ТКМ) были обработаны записи 5 ПЯВ ($\Delta = 1057 \div 1116$ км) и 20 тектонических землетрясений ($\Delta = 923 \div 1262$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц как для Sn/Pn, так и для Lg/Pg.

По станции УСН были обработаны записи 3 ПЯВ ($\Delta = 1145 \div 1179$ км) и 17 тектонических землетрясений ($\Delta = 998 \div 1342$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц как для Sn/Pn, так и для Lg/Pg.

По станции ULHL были обработаны записи 4 ПЯВ ($\Delta = 1003 \div 1036$ км) и 20 тектонических землетрясений ($\Delta = 877 \div 1201$ км). На рисунке 7 представлены распределения значений Sn/Pn и Lg/Pg для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Лобнор. Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц как для Sn/Pn, так и для Lg/Pg.

По станции USP были обработаны записи 5 ПЯВ ($\Delta = 1148 \div 1185$ км) и 19 тектонических землетрясений ($\Delta = 994 \div 1355$ км). Хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2.5, 5.0 Гц для Lg/Pg и на частоте 5 Гц для параметра Sn/Pn.

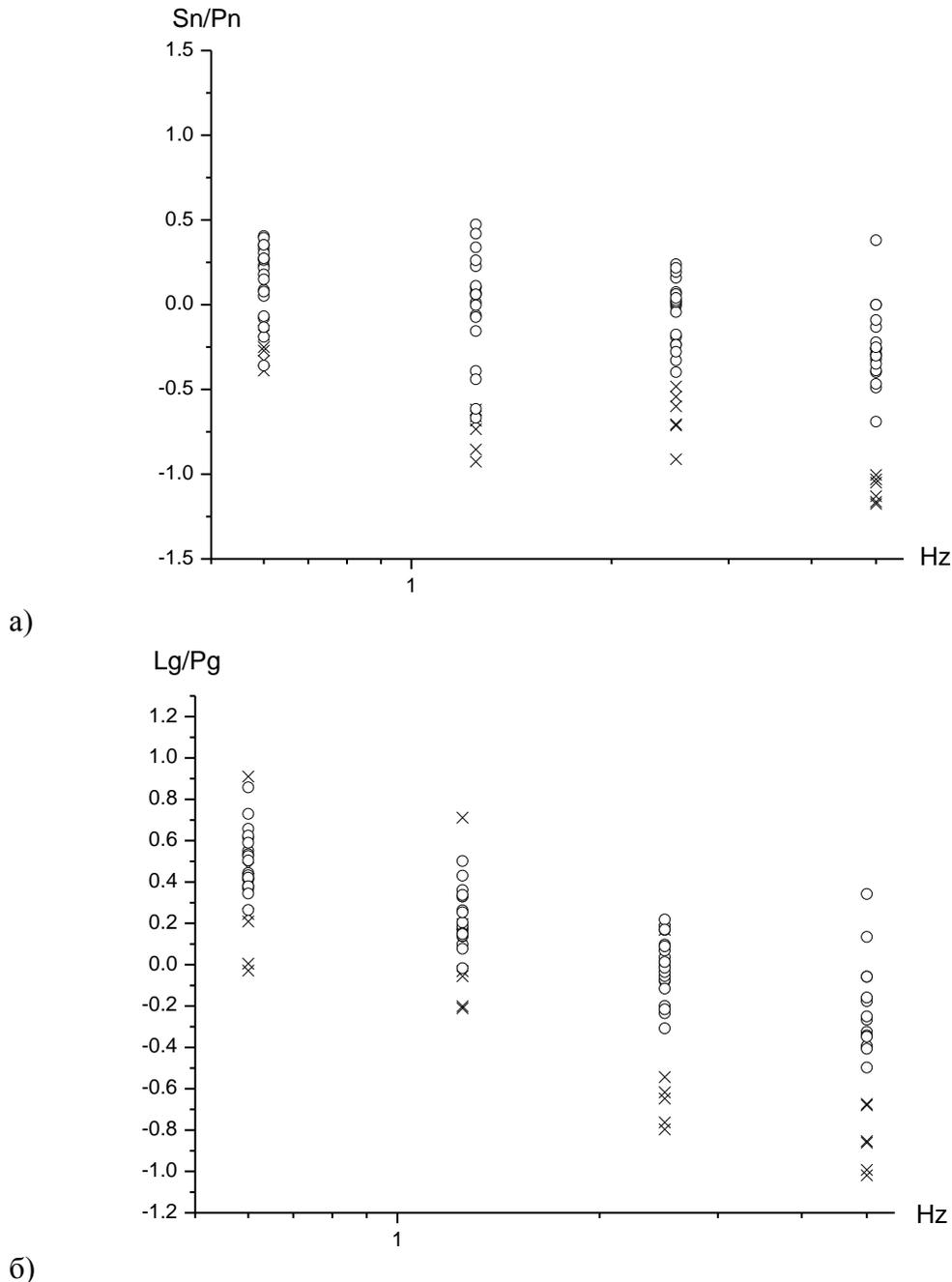


Рисунок 6. Распределение значений: а) Sn/Pn и б) Lg/Pg для взрывов (крестики) и землетрясений (кружки) из района испытательного полигона Лобнор, канал Z, станция KBK.

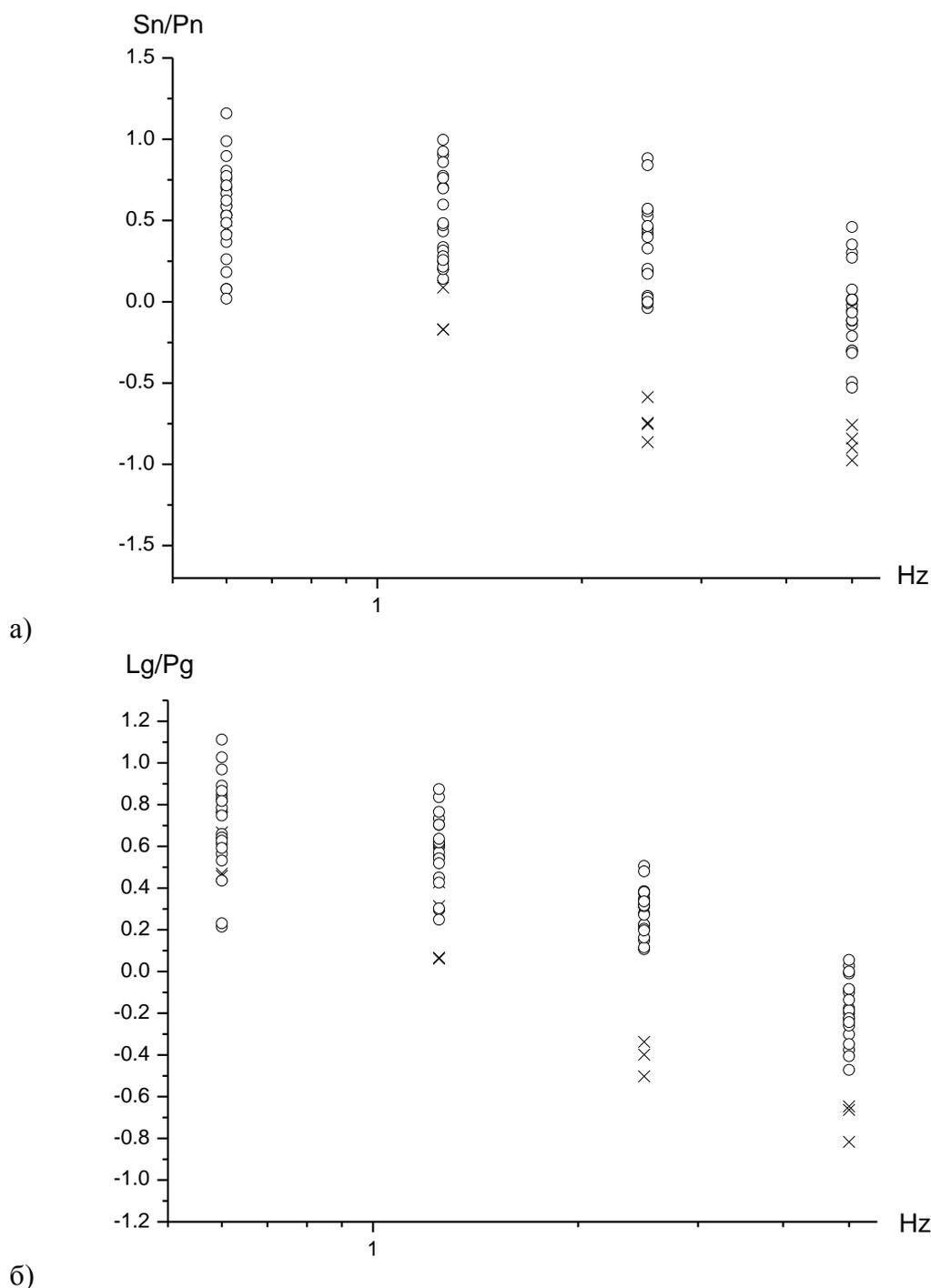


Рисунок 7. Распределение значений: а) Sn/Pn и б) Lg/Pg для взрывов (крестики) и землетрясений (кружки) из района испытательного полигона Лобнор, канал Z, станция ULHL.

Заключение

Проведён детальный анализ короткопериодных волновых полей для сейсмических событий из района испытательного полигона Лобнор (КНР). Рассматривались спектральные отношения Sn/Pn , Lg/Pg , замеренные для октавных фильтров с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5.0 Гц.

В результате исследований выявлено, что станции сети KNET можно успешно использовать для сейсмического распознавания подземных ядерных взрывов (ПЯВ) и

землетрясений для района полигона Лобнор. Наилучшим параметром распознавания являются спектральные отношения Lg/Pg для фильтров с центральными частотами 2.5 и 5.0 Гц. Параметр Sn/Pn эффективен для станций ААК, ЕКС2, КВК, ТКМ2, УСН.

Созданная в процессе работ база данных записей подземных ядерных взрывов (ПЯВ) может успешно использоваться для калибровки сейсмических станций Кыргызстана, а также для построения региональных годографов.

Литература

1. Vernon F. Kyrgyzstan seismic telemetry network. IRIS Newslett / F.Vernon. - 1992. – Vol. 11, № 1. – P. 7 – 9.
2. Электронный ресурс: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>.
3. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях для полигона Лобнор. // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, вып.2, 2000, с.65-77.
4. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор. // Физика Земли, № 12, 2001, с.64-77.
5. Соколова И.Н. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях //Российский геофизический журнал. Санкт-Петербург, № 35-36, 2004.
6. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н. О сейсмическом событии 6 января 2016 года в районе Северной Кореи // Вестник АО КАЗНИИСА.Наука. 2016. N 3. С.30-39.

Рецензент: к.ф.-м.н. Фролова А.Г.