

УДК 550.34.06

## РАСПОЗНАВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ РАЙОНА ПОЛИГОНА ЛОБНОР ПО ДАННЫМ СЕТИ KNET

<sup>1)</sup> Берёзина А.В., <sup>2)</sup> Соколова И.Н., <sup>1)</sup> Першина Е.В., <sup>1)</sup> Никитенко Т.В.

<sup>1)</sup> Институт сейсмологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

<sup>2)</sup> Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты сравнительного анализа волновой картины подземных ядерных взрывов, произведённых на испытательном полигоне Лобнор (КНР) за период 1992–1996 гг., по данным кыргызской сети станций мониторинга KNET и тектонических землетрясений с эпицентрами в том же районе. Исследованы спектральные отношения основных региональных фаз  $Sn/Pn$  и  $Lg/Pg$  с целью сейсмического распознавания природы источника. Наилучшим параметром распознавания является спектральное отношение  $Lg/Pg$  для узкополосных фильтров с центральными частотами 2,5 и 5 Гц.

В сентябре 1991 г. на территории Кыргызстана и Казахстана установлена современная цифровая телеметрическая сеть сейсмических станций KNET [1], которая в настоящее время включает 10 станций (рисунк 1): Ала-Арча (ААК), Алма-Ашу (АМЛ), Чумыш (СНМ), Еркин-Сай2 (ЕКС2), Карагай-Булак (КВК), Кызарт (КЗА), Токмак2 (ТКМ2), Учтор (УЧН), Улахол (УЛНЛ) и Успенровка (УСП) [1]. Станции укомплектованы трёхкомпонентными широкополосными сейсмометрами STS2 и дигитайзерами REFTEK-72 А [1]. Частота оцифровки составляет 40 Гц для каналов ВНЗ, ВНЕ, ВНН, 100 Гц для каналов ННЗ, ННЕ, ННН и 1 Гц для каналов ЛНЗ, ЛНЕ, ЛНН. На рисунке 2 представлена АЧХ приборов.

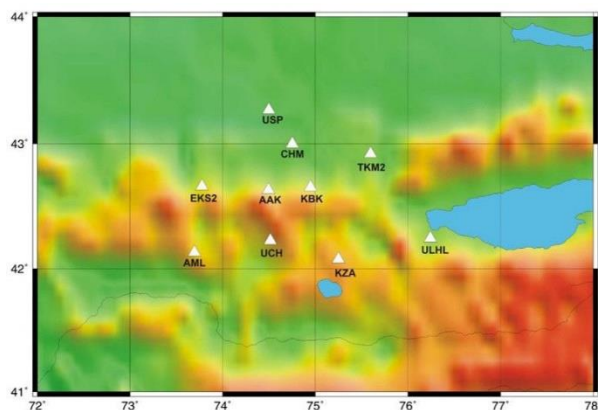


Рисунок 1. Расположение сейсмических станций сети KNET

Станции передают данные в режиме реального времени в Институт сейсмологии (ИС) НАН КР и Научную станцию РАН. В Кыргызском национальном центре данных ИС НАН КР (NDC-KG) ведётся круглосуточный мониторинг сейсмических событий разной природы, составляется сейсмологический бюллетень тектонических землетрясений для оценки сейсмической опасности. Контроль за проведением ядерных испытаний в регионе Центральной и Южной Азии сейсмическими методами не является основной задачей NDC-KG, однако для составления ка-

чественного бюллетеня необходимо распознавание природы источника события, так как на территории Азии, кроме тектонических землетрясений, регистрируются ядерные и карьерных взрывы, оползни, снежные лавины и др. За продолжительный период своего существования, почти 30 лет, сейсмическая сеть KNET зарегистрировала ядерные испытания на региональных и телесеизмических расстояниях, произведённых на полигонах Невада, Муруроа и Фангтауфа, Лобнор, Похаран, Чагай и Пунгери.

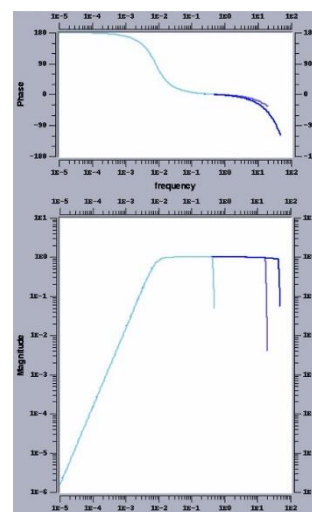
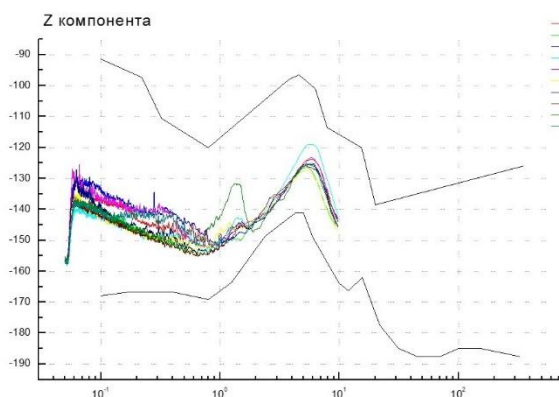
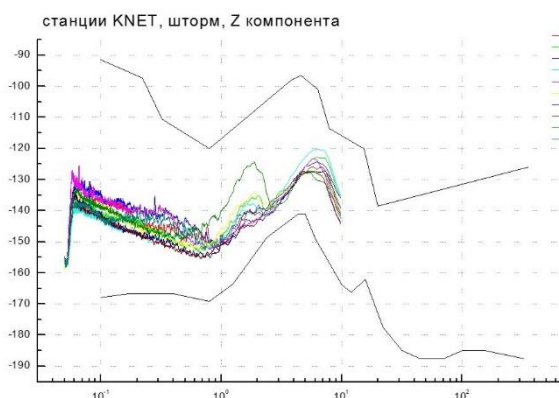


Рисунок 2. Амплитудно-частотно характеристики сейсмических станций сети KNET

Некоторые из этих полигонов в настоящее время закрыты, однако задача сейсмического распознавания подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях не потеряла актуальности. Азиатские испытательные ядерные полигоны (Лобнор, Чагай и Похаран) находятся на региональных расстояниях от станций кыргызской сети KNET [1]. С начала работы сеть KNET зарегистрировала 8 ПЯВ из района китайского испытательного полигона Лобнор, 2 – из района пакистанского испытательного полигона Чагай, 1 – из района индийского испытательного полигона Похаран.



а) дни без штормов на оз. Иссык-Куль



б) дни со штормами на оз. Иссык-Куль

по оси абсцисс – период, сек.; по оси ординат – спектральная плотность сейсмического шума

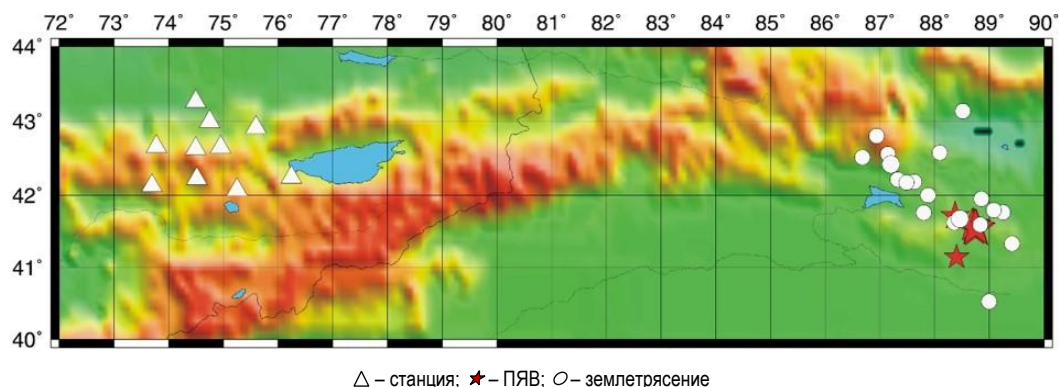
Рисунок 3. Спектральные кривые сейсмического шума по станциям сети KNET в дни без штормов и со штормами на озере Иссык-Куль

Эффективность регистрации сейсмических событий определяется многими факторами: техническими параметрами сейсмической аппаратуры, геологическим строением района расположения и условиями установки станции, наличием антропогенных помех, удалённостью от океанов и морей и др. Сейсмические станции KNET оборудованы чувствительной, с минимальным уровнем аппаратного шума, аппаратурой. Станции размещены на выходах коренных по-

род, в основном, в штольнях, удалены от океанов и антропогенных помех, что обеспечило, как показано на рисунке 3-а уровень спектральной плотности сейсмического шума, близкий к нижнеуровневой модели Петерсона [2]. Однако, как показано в [3], на станциях, расположенных в районе Северного Тянь-Шаня, на уровень сейсмического шума существенно влияют стоячие волны, генерируемые оз. Иссык-Куль во время штормов. Это влияние прослеживается на большой территории, вплоть до станции Каратау на удалении ~400 км от озера. Станции KNET расположены на удалении от 15 км (ULHL) до 200 км (AML). На рисунке 3 для сравнения приведены спектральные кривые сейсмического шума в дни, когда на оз. Иссык-Куль штормов не было и во время штормов. Видно, что влияние оз. Иссык-Куль на станцию ULHL в виде пика в области от 0,7–1,9 с наблюдается в любое время. Для большинства станций во время штормов пик шумов в диапазоне периодов 0,7–2,3 с возрастает. Это определяет необходимость использовать при обработке данных станций сети KNET соответствующих узкополосных фильтров.

По записям сейсмических станций сети KNET изучены возможности распознавания подземных ядерных взрывов, проведенных в районе полигона Лобнор, и землетрясений. Использован наиболее простой и эффективный метод спектральных амплитудных отношений региональных фаз  $S/P$ , основанный на том, что при ядерных взрывах в виде поперечных волн излучается меньшая доля энергии, чем при землетрясениях. Сейсмическое распознавание проводилось в несколько этапов: определение местоположения источника и глубины события, построение механизма очага, расчёт спектра сигнала, определение амплитудных отношений региональных фаз, расчет отношения магнитуд поверхностных и объёмных волн.

Были проанализированы записи, полученные всеми 10 цифровыми сейсмическими станциями сети KNET, за 1992–2018 гг. Тектонические землетрясения отбирались из района, ограниченного координатами 40,5°–43,5° N, 86,5°–90,5° E. Всего обработано 22 землетрясения с магнитудами  $mb=4,0\div5,9$  (рисунок 4).



△ – станция; ★ – ПЯВ; ○ – землетрясение

Рисунок 4. Расположение станций сети KNET относительно полигона Лобнор

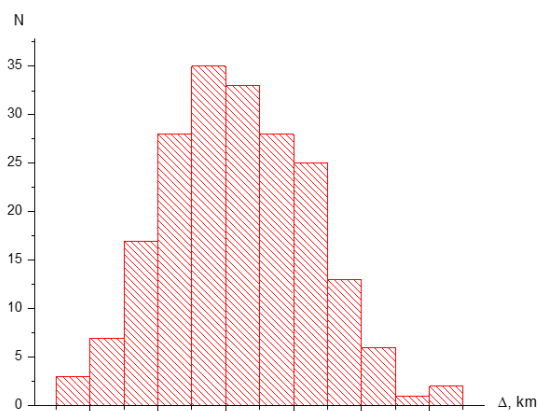


Рисунок 5. Распределение эпицентральных расстояний для тектонических землетрясений из района и vicinity полигона Лобнор

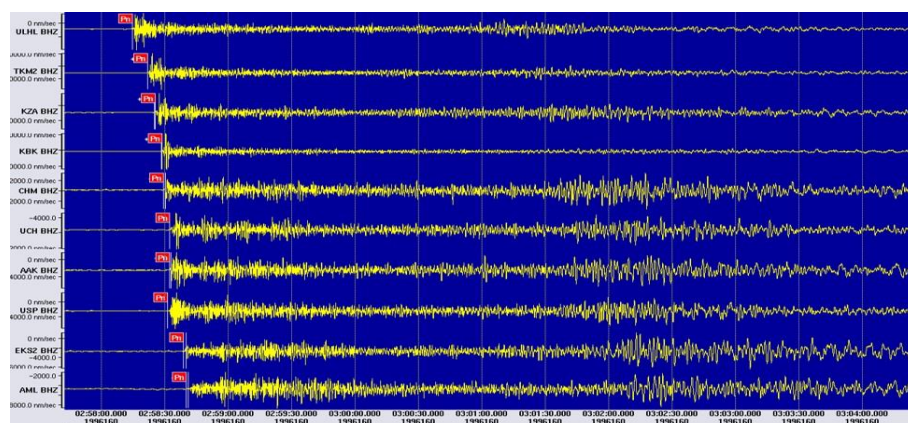
Диапазон эпицентральных расстояний для исследованных тектонических землетрясений из района и vicinity полигона Лобнор изменялся от 877 до 1406 км (рисунок 5). Обработаны записи 8 ПЯВ 1992–1996 гг. (рисунок 4) с магнитудами  $m_b=4,9 \div 6,5$ . Диапазон эпицентральных расстояний для ПЯВ составляет 1003–1246 км (рисунок 6).



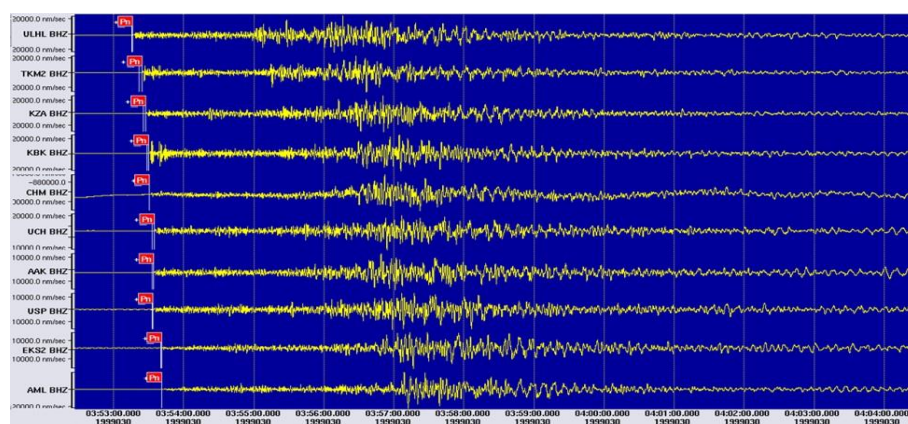
Рисунок 6. Распределение эпицентральных расстояний для ПЯВ, произведённых на полигоне Лобнор

Следует отметить, что станции KNET находятся в узком диапазоне азимутов относительно событий на полигоне Лобнор –  $Az = 87,7^\circ \div 94,7^\circ$ .

На рисунке 7 приведены 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].



а) ПЯВ 1996-06-08 (02:55:57.98,  $\varphi=41,657^\circ N$ ,  $\lambda=88,690^\circ E$ ,  $m_b=5,9$ )



б) тектоническое землетрясение 1999-01-30 (03:51:05.42,  $\varphi=41,674^\circ N$ ,  $\lambda=88,463^\circ E$ ,  $M_w=5,5$ )

Рисунок 7. Сейсмограммы 10 станций сети KNET ПЯВ и тектонического землетрясения из района полигона Лобнор

Таблица. Параметры сейсмического распознавания по станциям KNET

| Станция    | Кол-во<br>ПЯВ | Диапазон $\Delta$<br>для ПЯВ, км | Кол-во землетрясений | Диапазон $\Delta$ для<br>землетрясений, км | Частоты, с хорошим распознаванием по $S_n/P_n$ | Частоты, с хорошим распознаванием по $L_g/P_g$ |
|------------|---------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| AAK        | 6             | 1146÷1182                        | 19                   | 1034÷1347                                  | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |
| AML        | 4             | 1243÷1246                        | 18                   | 1066÷1409                                  | —                                              | 2,5; 5,0                                       |
| CHM        | 6             | 1126÷1162                        | 20                   | 991÷1331                                   | —                                              | 2,5; 5,0                                       |
| EKS2       | 6             | 1205÷1241                        | 21                   | 1054÷1406                                  | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |
| KBK        | 6             | 1109÷1145                        | 21                   | 959÷1311                                   | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |
| KZA        | 5             | 1085÷1119                        | 18                   | 940÷1281                                   | —                                              | 2,5; 5,0                                       |
| TKM2 (TKM) | 5             | 1057÷1116                        | 20                   | 923÷1262                                   | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |
| UCH        | 3             | 1145÷1179                        | 17                   | 998÷1342                                   | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |
| ULHL       | 4             | 1003÷1036                        | 20                   | 877÷1201                                   | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |
| USP        | 5             | 1148÷1185                        | 19                   | 994÷1355                                   | 2,5; 5,0                                       | 2,5; 5,0                                       |

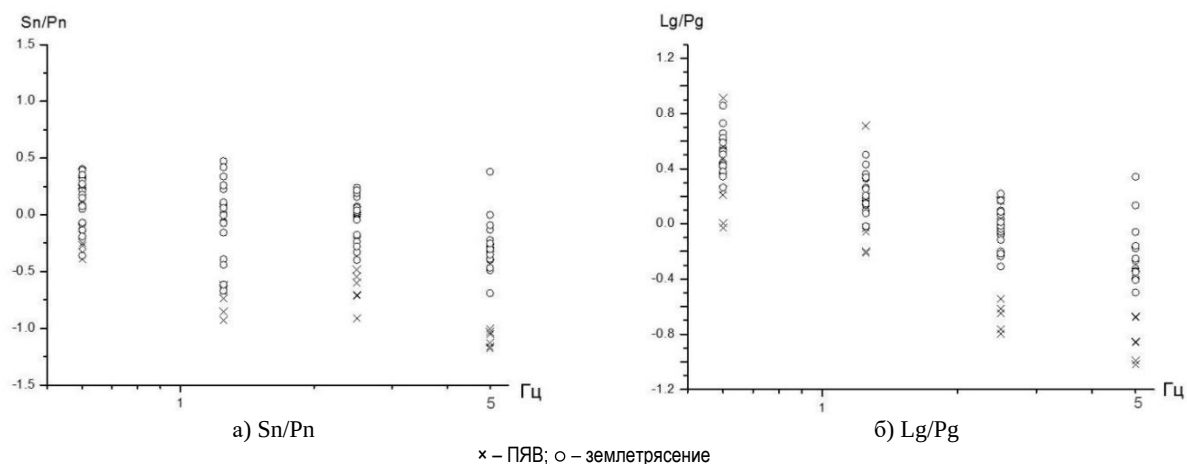


Рисунок 8. Станция КВК. Распределение значений  $\text{Sn/Pn}$  и  $\text{Lg/Pg}$  для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Лобнор. Канал Z

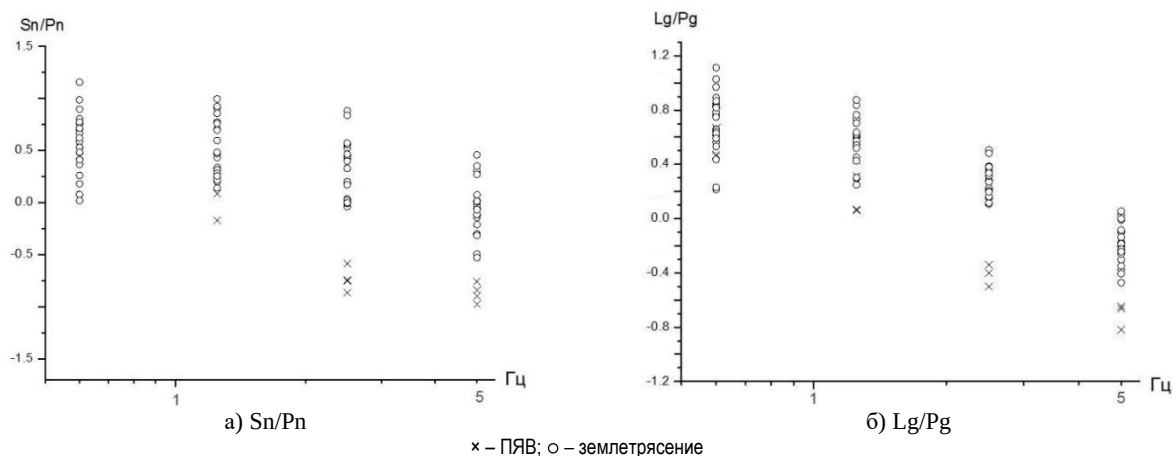


Рисунок 9. Станция ULHL. Распределение значений Sn/Pn и Lg/Pg для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Лобнор. Канал Z

В процессе обработки сейсмические записи предварительно фильтровались с использованием узкополосных фильтров с центральными частотами 0,6; 1,25; 2,5; 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне  $-3$  Дб от максимума [5–7]. Измерялись максимальные амплитуды в волнах  $Pn$ ,  $Pg$ ,  $Sn$ ,  $Lg$ . Для анализа были использованы десятичные логарифмы отношений амплитуд  $\lg(ASn/APn)$  (для краткости  $Sn/Pn$ ),  $\lg(ALg/APg)$  (для краткости  $Lg/Pg$ ), замеренные на записи компоненты  $Z$ .

Результаты сейсмического распознавания ПЯВ и землетрясений для района полигона Лобнор по данным станций сети KNET приведены в таблице.

Наилучшим параметром распознавания для всех станций является спектральное отношение  $Lg/Pg$  для фильтров с центральными частотами 2,5 и 5 Гц. Параметр  $Sn/Pn$  эффективен для 5 станций: ААК, ЕКС2, КВК, ТКМ2, УЧН. На рисунке 8 показано распределение значений  $Sn/Pn$  и  $Lg/Pg$  для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Лобнор по данным станции КВК, на рисунке 9 – по стан-



ции ULHL. Для обеих станций хорошее разделение параметров наблюдается на частотах 2,5; 5,0 Гц как для спектрального отношения  $Sn/Pn$  так и для  $Lg/Pg$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый детальный анализ короткопериодных волновых полей для сейсмических событий из района испытательного полигона Лобнор (КНР) и рассмотрение спектральных отношений  $Sn/Pn$ ,  $Lg/Pg$  для октавных фильтров с центральными частотами 0,6; 1,25; 2,5; 5 Гц показали, что станции сети KNET можно успешно использовать для сейсмического

распознавания ПЯВ и землетрясений, происходящих в районе полигона Лобнор. Наилучшим параметром распознавания является спектральное отношение  $Lg/Pg$  для фильтров с центральными частотами 2,5 и 5 Гц. Параметр  $Sn/Pn$  эффективен для станций ААК, ЕКС2, КВК, ТКМ2, УСН.

В процессе исследований создана база данных записей ПЯВ, которая 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. Search Earthquake Catalog [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>, свободный.
3. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise / J. Peterson // Open-File Report 93-322/ – Albuquerque, New Mexico, 1993. – 42 pp.
4. Соколова, И.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1.7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня / И.Н.Соколова, Н.Н.Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 1. – С. 48–53.
5. Копничев, Ю.Ф. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях для полигона Лобнор / Ю.Ф. Копничев, О.М. Шепелев, И.Н.Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2000. – Вып. 2. – С. 65–77.
6. Копничев, Ю.Ф. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор / Ю.Ф. Копничев, О.М. Шепелев, И.Н.Соколова // Физика Земли, 2001. – № 12. – С. 64–77.
7. Соколова, И.Н. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях / И.Н. Соколова // Российский геофизический журнал. – Санкт-Петербург, 2004. – № 35–36.

#### KNET ЖЕЛІСІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ЛОБНОР ПОЛИГОНЫНЫҢ АУМАҒЫ ҮШІН ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР МЕН ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІ ТАҢУ

<sup>1)</sup> А.В. Берёзина, <sup>2)</sup> И.Н. Соколова, <sup>1)</sup> Е.В. Першина, <sup>1)</sup> Т.В. Никитенко

<sup>1)</sup> *Қырғыз Республикасының Ұлттық Ғылым Академиясының Сейсмология институты, Бішкек, Қырғызстан*

<sup>2)</sup> *Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

1992–1996 жж. Лобнор (ҚХР) сынау полигонындағы жерасты ядролық жарылыстарының толқындық көрінісінің салыстырмалы талдауы келтірілген, сол аудандағы KNET мониторинг станциясының қырғыз желісінің деректері бойынша және эпиорталықтары бар тектоникалық жерсілкінулер бойынша. Көздің табиғатын сейсмикалық таңу мақсатымен  $Sn/Pn$  және  $Lg/Pg$  негізгі аймақтық фазаларының спектрлік талдауы зерттелді. Танудың ең жақсы параметрлері орталық жиілікті 2,5 және 5 Гц жіңішке жолақты сүзгілер үшін спектрлік қатынастыр.

#### DISCRIMINATION OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS AND EARTHQUAKES FOR LOP NOR TEST SITE AREA BASED ON KNET NETWORK

<sup>1)</sup> A.V. Beryozina, <sup>2)</sup> I.N. Sokolova, <sup>1)</sup> Ye.V. Pershina, <sup>1)</sup> T.V. Nikitenko

<sup>1)</sup> *Institute of Seismology of National Academy of Science of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan*

<sup>2)</sup> *Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

A comparative analysis of the KNET waveforms of underground nuclear explosions conducted at regional distances at the Lop Nor test site (China) in 1992–1996, as well as tectonic earthquakes with epicenters in the same area, was carried out for the purposes of seismic discrimination. The spectral ratios of the main regional phases of  $Sn/Pn$  and  $Lg/Pg$  were studied with the aim of seismic recognition of the source nature. The best discrimination parameter is the  $Lg/Pg$  spectral ratios for narrow-band filters with central frequencies of 2,5 and 5 Hz.