

УДК 550:34

Берёзина А.В.¹, Соколова И.Н.²¹Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан²Институт геофизических исследований
Министерства энергетики, Республика Казахстан

ЯДЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ПОЛИГОНЕ ПУНГЕРИ ПО ДАННЫМ СЕТИ МОНИТОРИНГА KNET

Аннотация. В 2018 году официально был закрыт Северокорейский испытательный ядерный полигон Пунгери. За период его функционирования было проведено шесть ядерных испытаний: 09.10.2006, 25.05.2009, 12.02.2013, 06.01.2016, 09.09.2016 и 03.09.2017. Все они были успешно зарегистрированы сейсмической сетью KNET, расположенной в Кыргызстане. В статье приводятся динамические и кинематические характеристики взрывов по данным сети KNET.

Ключевые слова: взрыв, испытательный полигон, станция, сеть, сейсмический шум, магнитуда.

KNET МОНИТОРИНГ ТҮЙҮНҮНҮН МААЛЫМАТТАРЫ БОЮНЧА ПУНГЕРИ ПОЛИГОНУНДАГЫ ЯДРОЛУК СЫНООЛОР

Кыскача мазмуну. 2018-жылы Пунгери Түндүк Кореянын сыноочу ядролук полигону расмий түрдө жабылган. Ал иштеп турган мезгил ичинде алты ядролук сыноо жүргүзүлгөн: 09.10.2006, 25.05.2009, 12.02.2013, 06.01.2016, 09.09.2016 жана 03.09.2017. Алардын бардыгы Кыргызстанда жайгашкан KNET сейсмикалык түйүнү тарабынан ийгиликтүү каттоодон өткөрүлгөн. Макалада KNET түйүнүнүн маалыматтары боюнча жарылуулардын динамикалык жана кинематикалык мүнөздөмөлөрү келтирилген.

Негизги сөздөр: жарылуу, сыноо полигону, станция, түйүн, сейсмикалык чуу, магнитуда.

NUCLEAR TESTS AT THE PUNGGYE-RI TEST SITE ACCORDING TO THE KNET NETWORK DATA

Abstract. In 2018, the North Korea nuclear test site Punggye-Ri was closed officially. During the period of its operation, six nuclear tests were conducted: 09.10.2006, 25.05.2009, 12.02.2013, 06.01.2016, 09.09.2016 and 03.09.2017. All of them were successfully registered by the KNET seismic network located in the Kyrgyzstan. The dynamic and kinematic characteristics of these explosions according to the KNET data are presented in the paper.

Keywords: explosion, test site, station, network, seismic noise, magnitude.

В сентябре 1991 года на территории Кыргызстана и Казахстана была установлена современная, цифровая, телеметрическая сеть сейсмических станций KNET [1]. В настоящее время, в её состав входят 10 станций, передающих данные в режиме реального времени в Институт сейсмологии НАН КР и Научную станцию РАН (таблица 1, рисунок 1).

Сейсмические станции укомплектованы трёхкомпонентными широкополосными сейсмометрами STS2 и дигитайзерами REFTEK-72 A [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.

Данные сейсмической сети KNET используются региональными и международными сейсмологическими центрами для составления бюллетеней сейсмических событий различной природы, научных исследований. За продолжительный период своего существования, почти 30 лет, сейсмическая сеть KNET зарегистрировала ядерные испытания региональных и телесеismicких расстояниях на полигонах: Невада (США), Муруроа и Фангатауфа (Франция), Лобнор (Китай), Похаран (Индия), Чагай (Пакистан) и Пунгери (Северная Корея).

Северокорейский ядерный испытательный полигон Пунгери расположен на телесеismicких расстояниях от сети станций KNET, диапазон расстояний составил 4302-4513 км, диапазон азимутов на эпицентр $71.78-73.53^\circ$ (рисунок 3).

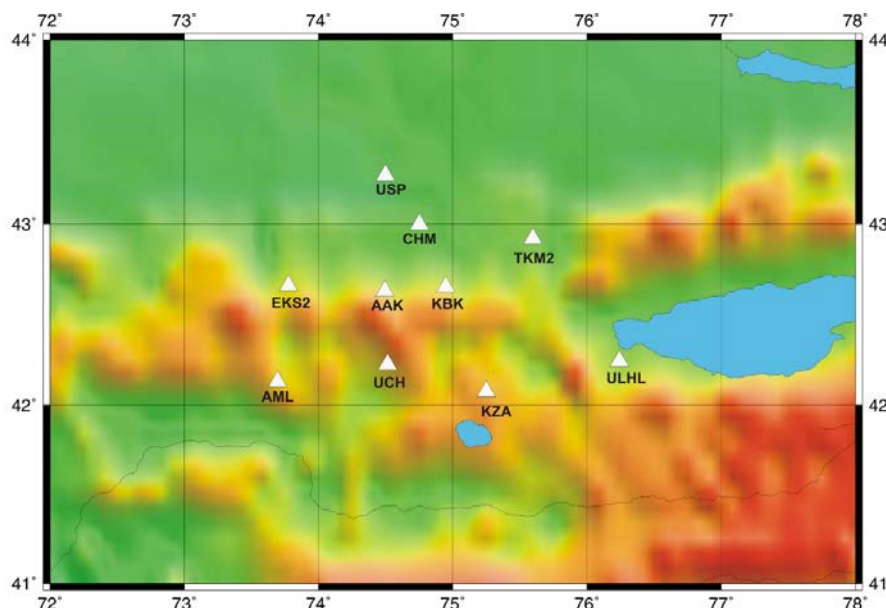


Рисунок 1. Карта расположения сейсмических станций сети KNET.

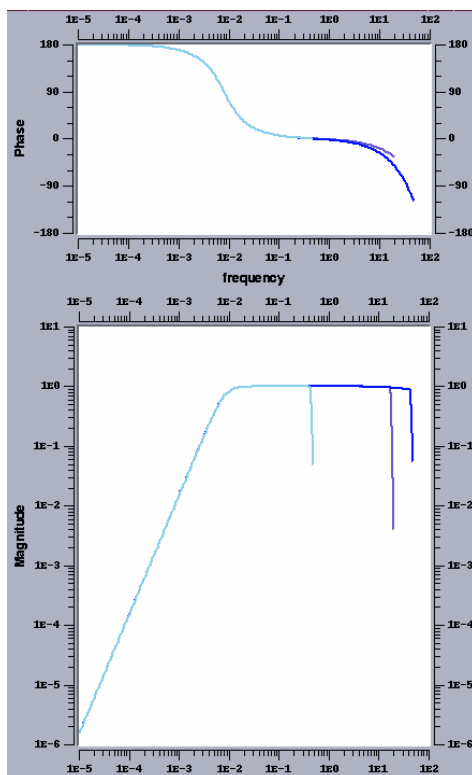


Рисунок 2. Амплитудно-частотные характеристики сейсмических станций сети KNET.

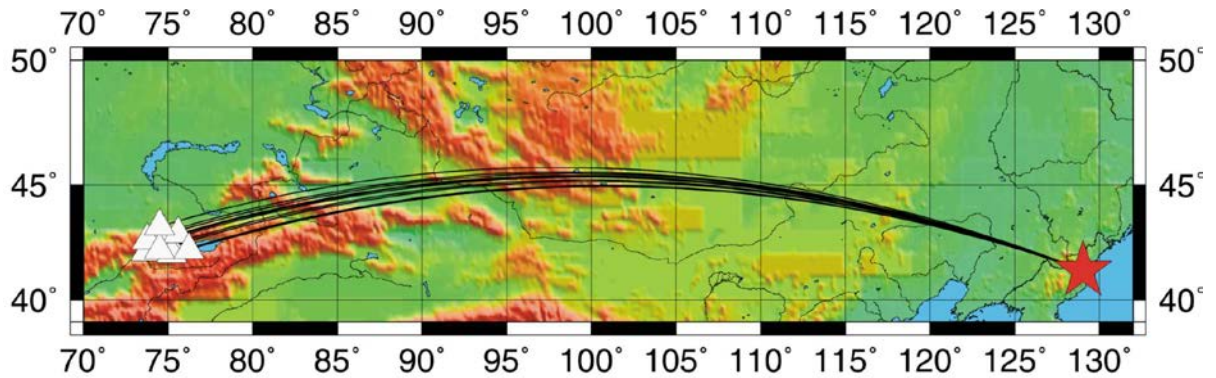


Рисунок 3. Расположение сейсмических станций KNET и ядерного испытания 3 сентября 2017 г. (Пунгери).

На эффективность регистрации сейсмических событий влияют много факторов: параметры сейсмической аппаратуры, условия установки станции, геологическое строение в районе расположения станции, наличие антропогенных помех, удалённость океанов и морей и др. На сейсмических станциях KNET установлена чувствительная, с минимальным уровнем аппаратного шума аппаратура. Сами станции расположены вдали от океанов и антропогенных помех, на выходах коренных пород, в основном в штольнях. На рисунке 4 (а) представлены спектральные плотности сейсмического шума станций KNET в ночное время, они близки к нижнеуровневой модели Петерсона [2].

Однако, как показано в работе [3], на уровень сейсмического шума для станций, расположенных в районе Северного Тянь-Шаня существенно влияют стоячие волны, генерируемые оз. Иссык-Куль во время штормов. Такое влияние прослеживается на большой территории, вплоть до станции Каратау (Казахстан), расположенной на 400 км от озера. Станции KNET расположены в диапазоне расстояний от 15 км (ULHL) до 200 км (AML). На рисунке 4 представлены спектральные кривые сейсмического шума в дни, когда не было штормов на оз. Иссык-Куль и во время штормов. Видно, что для станции ULHL, влияние оз. Иссык-Куль наблюдается в любое время в виде пика в области от 0.7 – 1.9 с. Во время штормов пик в диапазоне периодов 0.7-2.3 с возрастает для большинства станций сети.

На рисунке 5 представлены спектры записей Р-волны северокорейского ядерного испытания 1 января 2016 г., видно, что спектр взрыва ограничен частотами 0.8-2.2 Гц (0.45-1.25 с), что входит в область периодов штормовых микросейсм, генерируемых оз. Иссык-Куль. В связи с этим, сейсмический эффект северокорейских ядерных взрывов для станций KNET может быть снижен во время штормов на озере, и постоянно для станции ULHL, которая расположена близко к озеру. А для наилучшего выделения сигналов необходимо использовать узкополосную фильтрацию.

На рисунке 6 представлены сейсмограммы северокорейских ядерных испытаний по данным станций сети KNET за период времени 2006-2017 гг. На рисунке 6 (а) приведена сейсмограмма ядерного испытания 9 октября 2006 г. [4], видно, что данное событие было слабым, оно едва выделяется на уровне фона после фильтрации. Северокорейские ядерные испытания 2009-2016 гг. [5-7] хорошо визуализируются на записях сети KNET после фильтрации и можно выделить сейсмические фазы Р, РР, РсР. На рисунке 6 (д) приведена сейсмограмма ядерного испытания 3 сентября 2017 г., на всех станциях хорошо выделяются сейсмические фазы Р, РР, РсР, L_Q и L_R.

Данные сети KNET были использованы различными сейсмологическими агентствами (ISC, USGS, ГС РАН, EMSC, КНЦД ИГИ РК) для определения параметров ядерных взрывов. Несмотря на телесеismicкие расстояния от взрывов и расположение станций сети KNET в узком створе азимутов на источник (рисунок 3), а также отсутствие сейсмических групп в сети, в оперативном режиме была проведена локализация

сейсмического события 3 сентября 2017 г. Конечно при локализации точность была хуже, чем для глобальных сейсмических сетей (таблица 2), однако для оперативной оценки принадлежности полигону, времени в очаге и магнитуды события результат не плохой.

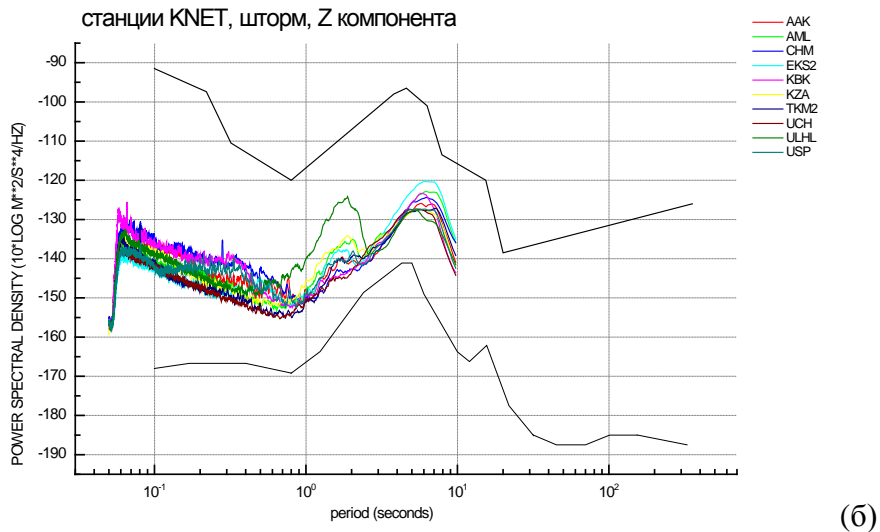
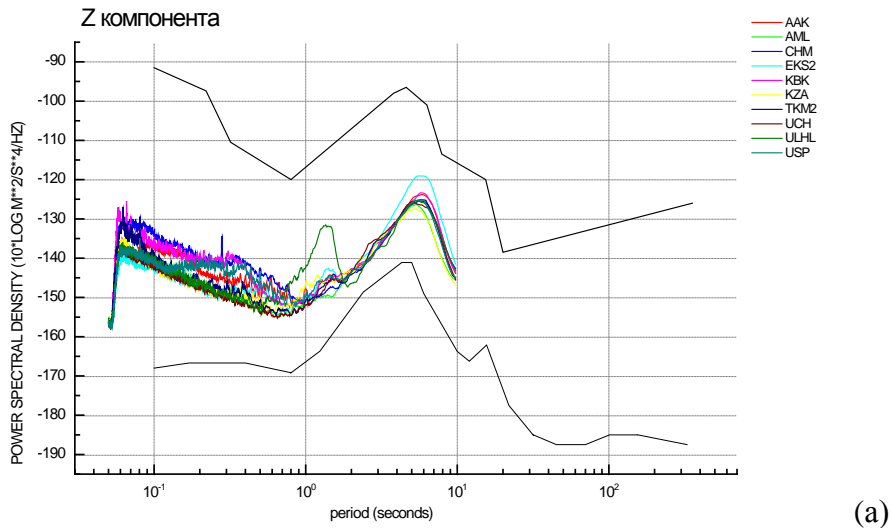


Рисунок 4. Спектральные кривые сейсмического шума: (а) в дни, когда не было штормов на оз.Иссык-Куль; (б) во время шторма.

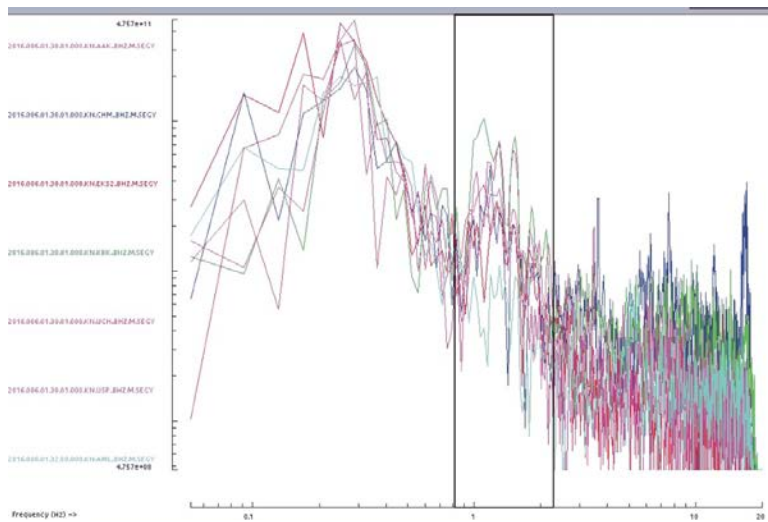
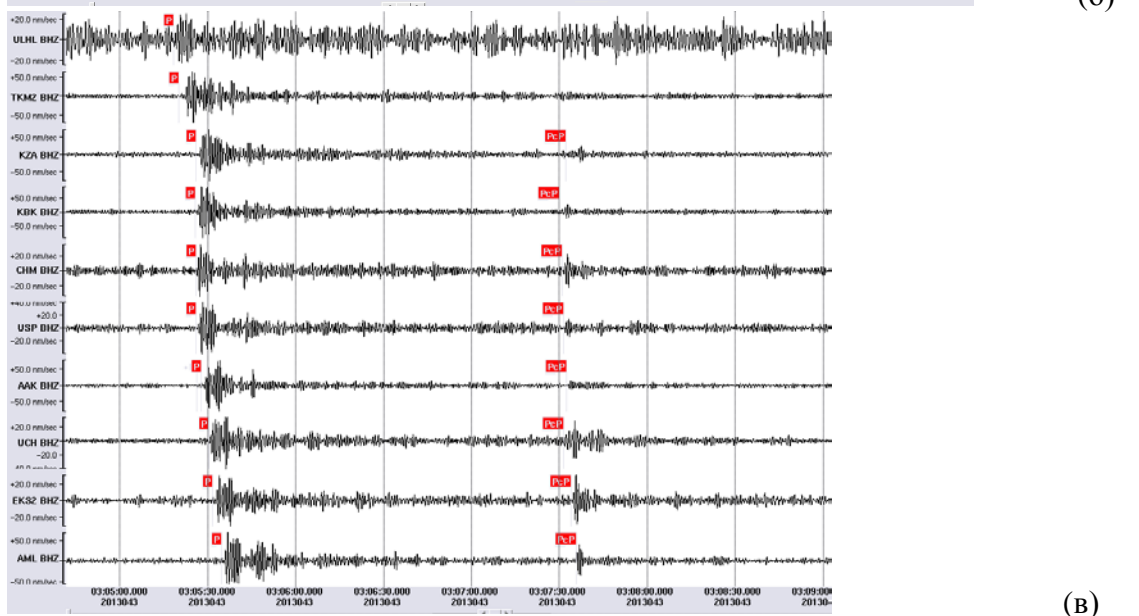
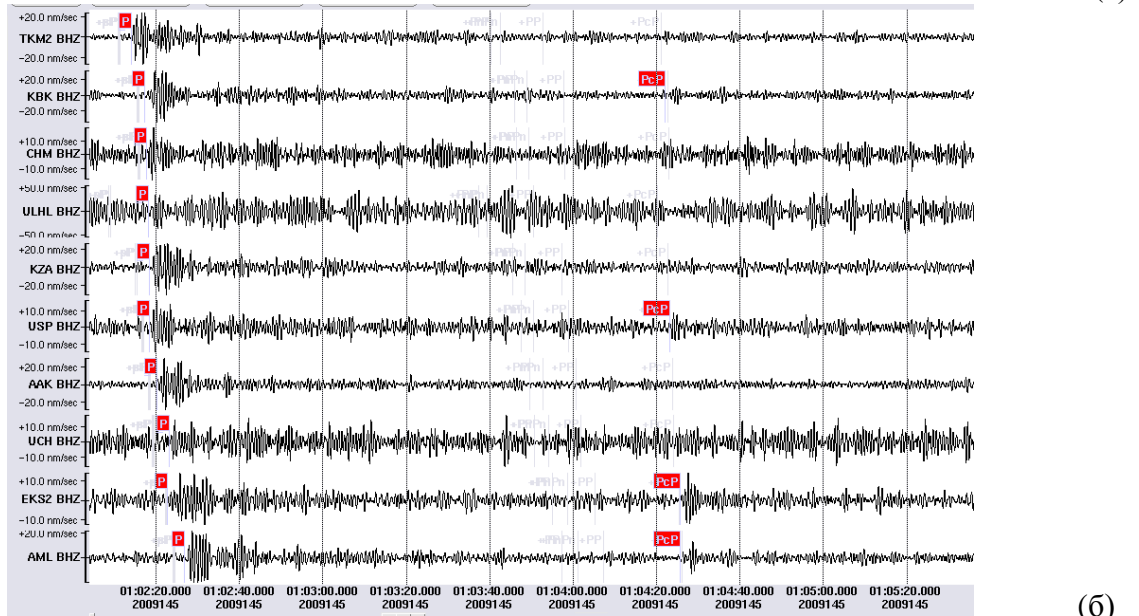
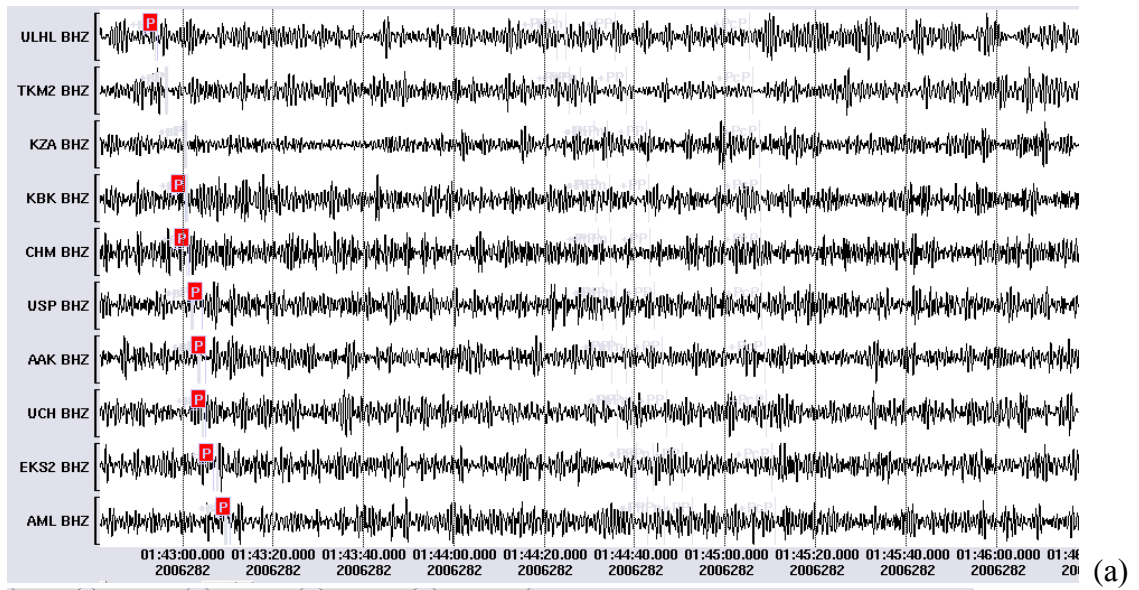
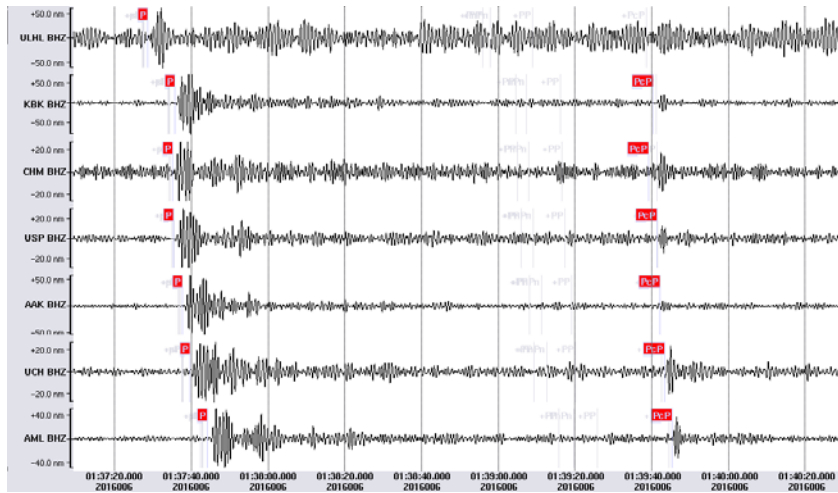
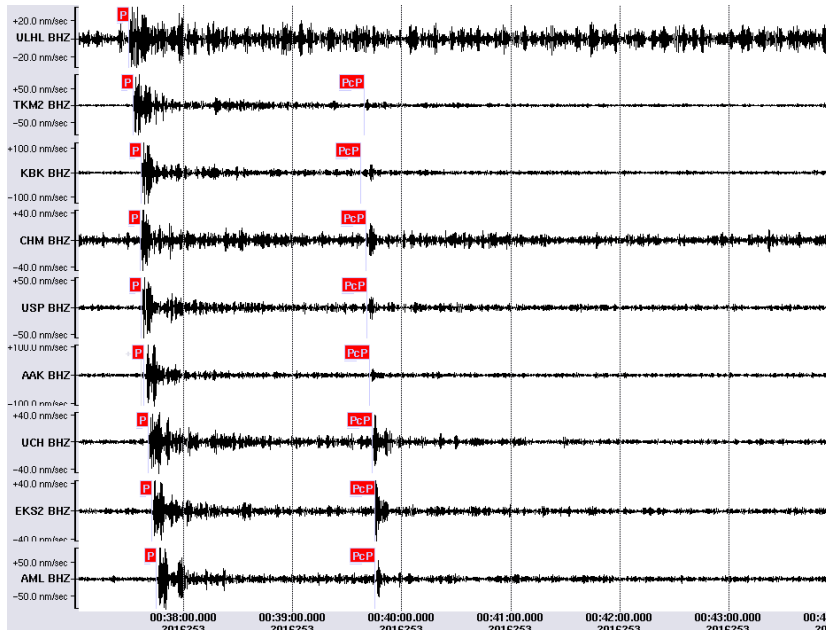


Рисунок 5. Спектры записей северокорейского ядерного испытания 1 января 2016 г.

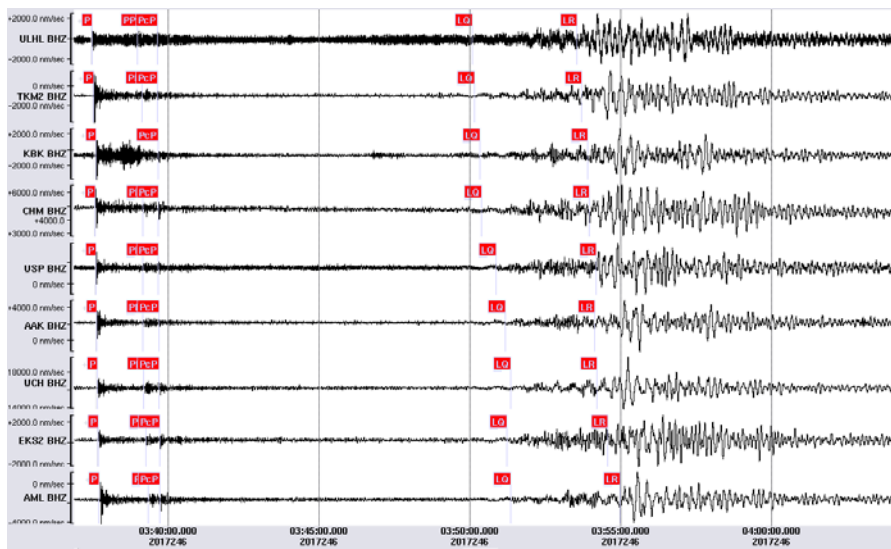




(а)



(б)



(в)

Рисунок 6. Сейсмограммы северокорейских ядерных испытаний по данным станции сети KNET, Z-компонента: (а) - 9 октября 2006 г.; (б) - 25 мая 2009 г.; (в) - 12 февраля 2013 г.; (г) - 6 января 2016 г.; (д) - 9 сентября 2016 г., фильтр 1.25 Гц; (е) - 3 сентября 2017 г., без фильтра.

Таблица 2. Параметры северокорейского ядерного испытания 3 сентября 2017 г. по данным различных сетей мониторинга.

Дата	Время в очаге	Широта	Долгота	mb	Ms	ML	N станций	Автор решения
2017/09/03	03:29:59	41.3000	129.1000	6.3			28	ГС РАН
2017/09/03	03:30:01.1	41.3205	129.0349	6.1	4.9	5.2	189	IDC
2017/09/03	03:30:01.8	41.332	129.030	6.3	5.1		323	USGS
2017/09/03	03:30:03.4	41.3400	129.0700	5.7			30	GFZ
2017/09/03	03:29.59.5	41.0225	129.4348	6.0			7	KNET

На рисунке 7 приведены сейсмограммы 6 северокорейских ядерных испытаний, зарегистрированные станцией ААК, нормированные по максимальной амплитуде трассы, а также в реальном масштабе. Видно, что сейсмограммы всех взрывов похожи по форме записи, однако сильно различаются по амплитудам.

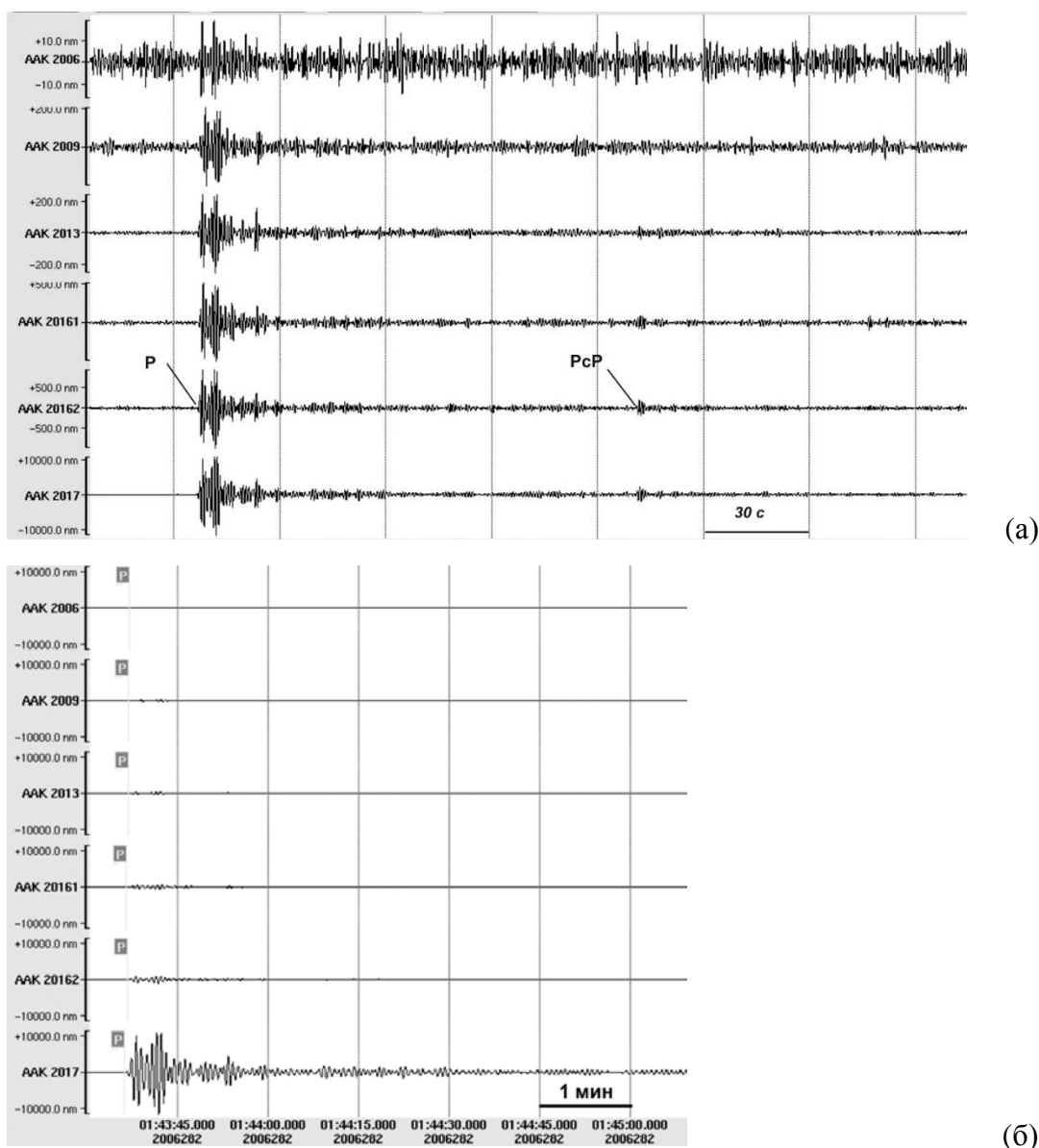


Рисунок 7. Сейсмограммы северокорейских ядерных испытаний по данным станции ААК (трассы записей сверху-вниз: 9 октября 2006 г., 25 мая 2009 г., 12 февраля 2013

г, 6 января 2016, 9 сентября 2016 г., 3 сентября 2017 г. Z-компонента, фильтр 1.25 Гц: (а) нормирование по максимуму трассы; (б) реальный масштаб.

В связи с этим были замерены амплитуды и периоды для всех записей взрывов, зарегистрированных станциями KNET, и рассчитаны магнитуды m_b . В таблице 3 приведены результаты замеров магнитуд по каждой станции, а также разница станционных магнитуд с магнитудой каталога NEIC (USGS) и средней магнитудой по сети KNET.

Все магнитуды по станциям KNET занижают значения по отношению к NEIC (USGS), это может быть связано с несколькими фактами (фильтрацией фильтром СКМ для замеров амплитуд, станционные условия, затухание амплитуд на трассе Пунгери-станция). На рисунке 8 представлены магнитуды m_b северокорейских ядерных испытаний по данным станций KNET. В таблице 4 приведены магнитуды m_b по сети KNET и данные Геологической службы США, магнитуды m_b по сети KNET занижают по отношению к USGS в среднем на 0.5.

Таблица 3. Магнитуды северокорейских ПЯВ по данным станций сети KNET.

Время в очаге	Станция	Δ	$m_{b_{ст}}$	$m_{b_{USGS}} - m_{b_{ст}}$	$m_{b_{KNET}} - m_{b_{ст}}$	Время в очаге	Станция	Δ	$m_{b_{ст}}$	$m_{b_{USGS}} - m_{b_{ст}}$	$m_{b_{KNET}} - m_{b_{ст}}$
2006-10-09 01:35:28.0	AAK	4433	3.62	0.68	0.06	2016-01-06 01:30:01.5	AAK	4429	4.67	0.43	-0.15
2006-10-09 01:35:28.0	AML	4513	3.68	0.62	0.00	2016-01-06 01:30:01.5	AML	4509	4.7	0.40	-0.18
2006-10-09 01:35:28.0	CHM	4401	3.81	0.49	-0.13	2016-01-06 01:30:01.5	CHM	4397	4.41	0.69	0.11
2006-10-09 01:35:28.0	EKS2	4488	3.56	0.74	0.12	2016-01-06 01:30:01.5	KBK	4393	4.73	0.37	-0.21
2006-10-09 01:35:28.0	KBK	4397	3.66	0.64	0.02	2016-01-06 01:30:01.5	UCH	4441	4.4	0.70	0.12
2006-10-09 01:35:28.0	KZA	4393	3.96	0.34	-0.28	2016-01-06 01:30:01.5	ULHL	4305	4.65	0.45	-0.13
2006-10-09 01:35:28.0	TKM2	4338	3.73	0.57	-0.05	2016-01-06 01:30:01.5	USP	4408	4.38	0.72	0.14
2006-10-09 01:35:28.0	UCH	4445	3.35	0.95	0.33	2016-09-09 00:30:01.4	AAK	4432	4.89	0.41	-0.17
2006-10-09 01:35:28.0	ULHL	4309	3.81	0.49	-0.13	2016-09-09 00:30:01.4	AML	4512	4.93	0.37	-0.21
2006-10-09 01:35:28.0	USP	4412	3.6	0.70	0.08	2016-09-09 00:30:01.4	CHM	4400	4.65	0.65	0.07
2009-05-25 00:54:43.1	AAK	4428	4.42	0.28	-0.06	2016-09-09 00:30:01.4	EKS2	4487	4.55	0.75	0.17
2009-05-25 00:54:43.1	AML	4508	4.27	0.43	0.09	2016-09-09 00:30:01.4	KBK	4396	5.01	0.29	-0.29
2009-05-25 00:54:43.1	CHM	4397	4.28	0.42	0.08	2016-09-09 00:30:01.4	TKM2	4337	4.68	0.62	0.04
2009-05-25 00:54:43.1	EKS2	4483	4.25	0.45	0.11	2016-09-09 00:30:01.4	UCH	4444	4.55	0.75	0.17
2009-05-25 00:54:43.1	KBK	4392	4.49	0.21	-0.13	2016-09-09 00:30:01.4	ULHL	4308	4.45	0.85	0.27
2009-05-25 00:54:43.1	KZA	4388	4.4	0.30	-0.04	2016-09-09 00:30:01.4	USP	4411	4.74	0.56	-0.02
2009-05-25 00:54:43.1	TKM2	4333	4.44	0.26	-0.08	2017-09-03 03:30:01.8	AML	4506	5.98	0.32	-0.09
2009-05-25 00:54:43.1	UCH	4441	4.28	0.42	0.08	2017-09-03 03:30:01.8	AAK	4427	6.09	0.21	-0.20
2009-05-25 00:54:43.1	ULHL	4304	4.62	0.08	-0.26	2017-09-03 03:30:01.8	ULHL	4303	5.83	0.47	0.06
2009-05-25 00:54:43.1	USP	4408	4.19	0.51	0.17	2017-09-03 03:30:01.8	TKM2	4331	5.63	0.67	0.26
2013-02-12 02:57:51.5	AAK	4426	4.8	0.30	-0.12	2017-09-03 03:30:01.8	KBK	4391	6.16	0.14	-0.27

2013-02-12 02:57:51.5	AML	4506	4.8	0.30	-0.12	2017-09-03 03:30:01.8	CHM	4395	6.1	0.20	-0.21
2013-02-12 02:57:51.5	CHM	4394	4.58	0.52	0.10	2017-09-03 03:30:01.8	USP	4406	5.78	0.52	0.11
2013-02-12 02:57:51.5	EKS2	4481	4.43	0.67	0.25	2017-09-03 03:30:01.8	UCH	4439	5.6	0.70	0.29
2013-02-12 02:57:51.5	KBK	4390	4.92	0.18	-0.24	2017-09-03 03:30:01.8	EKS2	4482	5.87	0.43	0.02
2013-02-12 02:57:51.5	KZA	4385	4.78	0.32	-0.10						
2013-02-12 02:57:51.5	TKM2	4331	4.78	0.32	-0.10						
2013-02-12 02:57:51.5	UCH	4438	4.52	0.58	0.16						
2013-02-12 02:57:51.5	ULHL	4302	4.51	0.59	0.17						
2013-02-12 02:57:51.5	USP	4405	4.65	0.45	0.03						

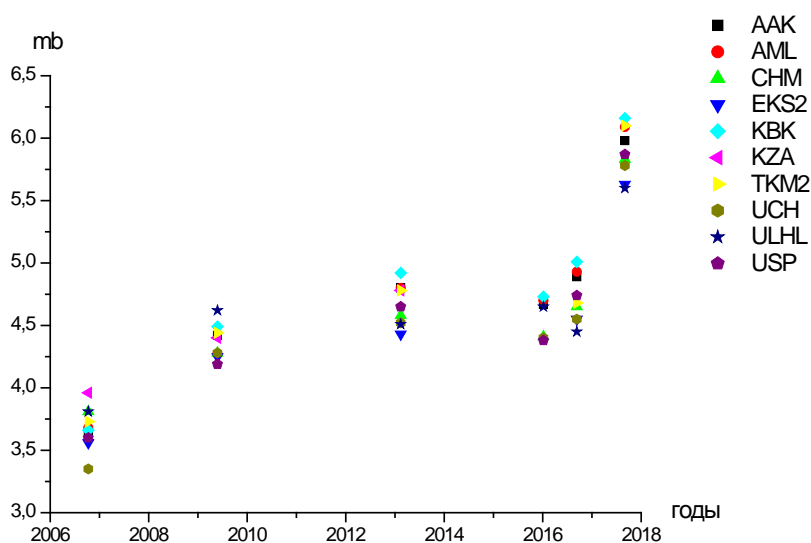


Рисунок 8. Магнитуды mb северокорейских ядерных испытаний по данным станций KNET.

Таблица 4. Магнитуды mb северокорейских ядерных испытаний по данным сети KNET и USGS.

Дата испытания	mb (USGS)	mb (KNET)	mb (USGS) - mb _(KNET)
2006-10-09	4.3	3.7	0.6
2009-05-25	4.7	4.4	0.3
2013-02-12	5.1	4.7	0.4
2016-01-06	5.1	4.5	0.6
2016-09-09	5.3	4.7	0.6
2017-09-03	6.3	5.9	0.4

Заключение

1. Все 6 северокорейских ядерных испытания 2006-2017 гг. были успешно зарегистрированы сетью KNET на телесеismicких расстояниях.

2. Магнитуды m_b по сети KNET занижают по отношению к m_b каталога NEIC USGS в среднем на 0.5.
3. Необходимо провести работу по выявлению азимутальных магнитудных поправок для станций сети KNET с целью улучшения качества каталогов сейсмических событий Кыргызстана и Центральной Азии.

Литература

1. Vernon F. Kyrgyzstan seismic telemetry network. IRIS Newslett. 1992, Vol. 11, № 1, p. 7-9.
2. Peterson J., Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year, 42 pp.
3. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1.7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня // Вестник НЯЦ РК. Выпуск 1. 2008 г. С. 48-53.
4. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Северокорейское ядерное испытание 9 октября 2006 г. по данным Казахстанской и глобальной систем мониторинга. // Вестник НЯЦ РК. Выпуск 1. 2008 г. С.17-26.
5. Михайлова Н.Н. Северокорейское ядерное испытание 25 мая 2009 г. по данным казахстанской системы мониторинга // Вестник НЯЦ РК. - 2009. - Вып. 3. С. 17-21.
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.
7. Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А. Ядерное испытание в Северной Корее в 2016 году// Вестник НЯЦ РК. Выпуск 4. декабрь 2016г. С.85-92.

Рецензент: канд. физ.-мат. наук Фролова А.Г.