

УДК 550.344

**ЯДЕРНОЕ ИСПЫТАНИЕ В СЕВЕРНОЙ КОРЕЕ В 2016 ГОДУ**

Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Основными задачами сети сейсмических и инфразвуковых станций ИГИ РК, является мониторинг ядерных испытаний. Станции успешно зарегистрировали все 4 северокорейских ядерных испытания (10.9.2006, 05.25.2009, 02.12.2013 и 01.06.2016). Диапазон эпицентральных расстояний от северокорейского ядерного полигона Пунгери составлял 3725–5375 км. Казахстанскому центру данных удалось с удовлетворительной точностью определить параметры взрывов в оперативном режиме. Для улучшения результатов обработки проведена перелокализация взрыва, произведенного 6 января 2016 г., после введения азимутальных поправок для сейсмических групп Акбулак, Курчатов-Крест и Маканчи. В результате уточнения параметров, координаты эпицентра взрыва значительно приблизились к решениям Международных Центров данных и к истинному положению штольни. Проведен сравнительный анализ кинематических и динамических параметров 4-х северокорейских испытаний по данным казахстанских сейсмических станций.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основной задачей Казахстанской сети мониторинга ядерных испытаний, часть станций которой входит в со-став Международной сети мониторинга в поддержку ДВЗЯИ, является обнаружение, определение параметров и распознавание ядерных взрывов на региональных и телесеизмических расстояниях. 6 января 2016 года все сейсмические станции РГП ИГИ [1] зарегистрировали сигналы от события, источник которого находился на территории КНДР, в районе испытательного полигона Пунгери. Оперативная обработка этих данных проведена в Казахстанском национальном центре данных (КНЦД). Станции Казахстана расположены на довольно большом расстоянии от источника испытания, все они сконцентрированы в узком азимутальном секторе. Диапазон эпицентральных расстояний от станций Казахстана до эпицентра в КНДР составляет 3725–5375 км, диапазон азимутов составляет всего 13 градусов. В связи с этим, очень важным является тот факт, что все станции РГП ИГИ являются частью различных глобальных сетей и участвуют наравне с другими станциями в обнаружении сигналов и обработке записей этого взрыва в международных центрах данных. Естественно, что результаты обработки по мировым данным будут более точными и надежными, чем данные отдельных национальных сетей. Очень важным является также тот факт, что обмен данными происходит в автоматическом режиме в реальном времени, что позволяет получать результаты обработки очень оперативно.

В работе показано [2], что сейсмическое событие 6 января 2016 года из района полигона Пунгери с большой вероятностью является ядерным взрывом. Следует отметить, что это уже четвертый по счету ядерный взрыв КНДР [2-4], ранее взрывы были проведены 9 октября 2006 г., 25 мая 2009 г. и 12 февраля 2013 г.

**СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

На рисунке 1 представлена система регистрации казахстанскими станциями ядерного мониторинга события в КНДР 6 января 2016 г.

На всех станциях зарегистрирован четкий сигнал. Записи вертикальной компоненты 3-х компонентных широкополосных приборов (фильтр с 1.0-2.5 Гц) приведены на рисунке 2. Четко можно выделить только вступления продольных волн Р и РсР. Другие сейсмические фазы на записях отсутствуют.

**ПАРАМЕТРЫ СЕВЕРОКОРЕЙСКИХ ВЗРЫВОВ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ**

В таблице 1 представлены кинематические характеристики и магнитуа сейсмического события 6 января 2016 г. по станциям РГП ИГИ. Данные казахстанских станций в реальном времени поступают в ряд международных Центров данных (USGS, IDC, GFZ), где используются для оценки параметров источников в комплексе с другими сейсмическими станциями мира. Кроме того, для ряда международных сейсмологических агентств центр данных КНЦД высылает сейсмологические бюллетени с результатами обработки казахстанских станций (ISC, GSRAS, EMSC), которые используются для определения параметров сейсмических событий. В таблице 2 представлены результаты определения параметров северокорейского события различными международными сейсмологическими центрами с использованием данных казахстанских станций [5–8]. Там же представлены и результаты локализации в центре КНЦД, хотя априори можно было утверждать, что только по данным казахстанских станций точность локализации будет ниже, чем при использовании данных глобальных сетей наблюдений.

## ЯДЕРНОЕ ИСПЫТАНИЕ В СЕВЕРНОЙ КОРЕЕ В 2016 ГОДУ

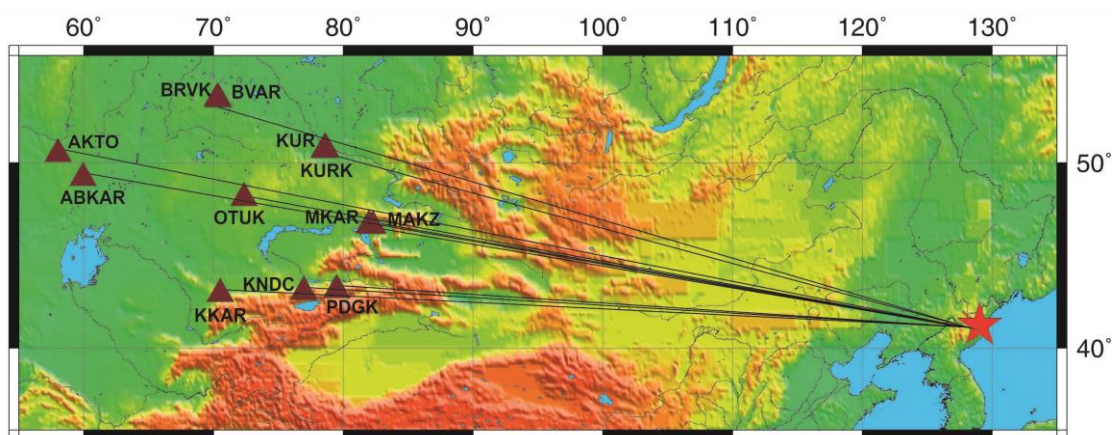


Рисунок 1. Карта расположения сейсмических станций ИГИ МЭ РК, записавших северокорейский ядерный взрыв. ★ – эпицентр взрыва

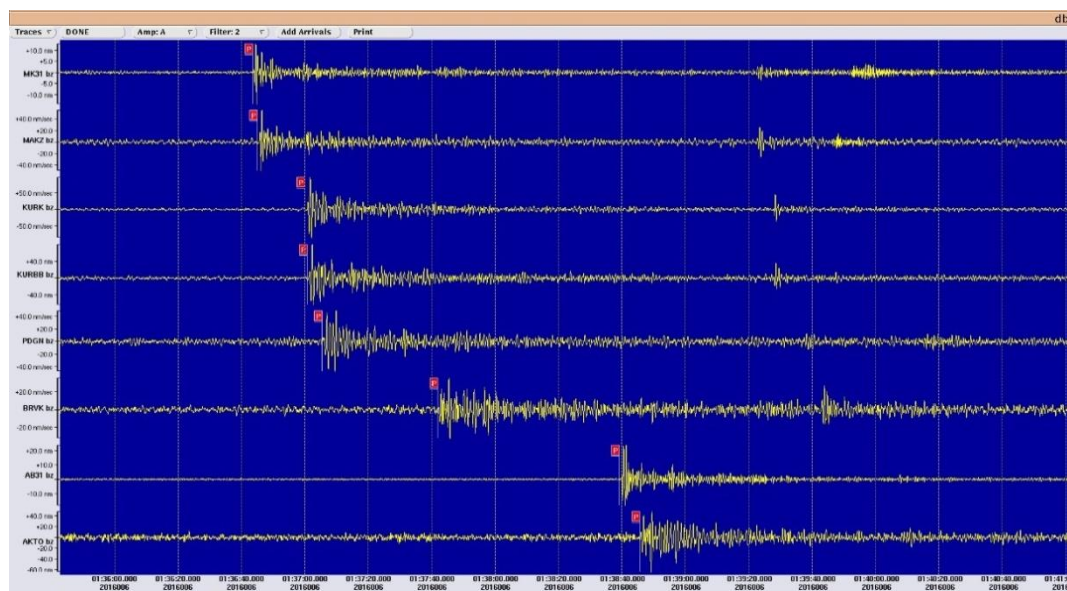


Рисунок 2. Запись взрыва 2016 г. станциями РГП ИГИ. Фильтр 1.0-2.5 Гц. Z-компоненты

Таблица 1. Кинематические и динамические характеристики сейсмических колебаний сейсмического события 6 января 2016 г.

Станция	$\Delta$ , км	Истинный азимут	$t_p$	$m_b$
MKAR	3726	82.02	01:36:43.5	4.6
MAKZ	3749	81.36	01:36:44.8	4.6
KURK	3946	85.314	01:37:00.1	4.9
KUR	3953	85.12	01:37:00.1	4.8
PDGK	4017	75.70	01:37:04.8	4.7
KNDC	4217	74.45	01:37:21.7	5.2
OTUK	4434	78.13	01:37:37.4	4.4
BRVK	4489	82.44	01:37:41.7	4.5
AVKAR	5283	72.02	01:38:39.1	4.7
AKTO	5373	71.91	01:38:45.5	4.7

Примечание: цветом выделены станции, записавшие все четыре взрыва в Северной Корее

**ЯДЕРНОЕ ИСПЫТАНИЕ В СЕВЕРНОЙ КОРЕЕ В 2016 ГОДУ**

*Таблица 2. Параметры северокорейских взрывов по данным различных сейсмологических центров*

Дата	Источник	Время в очаге, чч:мм:сс.	Широта, с.ш.	Долгота в.д.	К-во станций	mб	Станции Казахстана, участвовавшие в обработке
10.09.2006	ГС РАН (Россия)	01:35:26.0	41.35	128.96	11	4.0	МКАР
05.25.2009	ГС РАН (Россия)	00:54:40.9	41.29	129.07	51	5.0	МКАР, KURK, VOS, BRVK, ZRNK, ABKAR, AKTO
02.12.2013	ГС РАН (Россия)	02:57:49.4	41.31	129.1	70	5.3	МКАР, MAKZ, KURK, PDGK, OTUK, BRVK, K KAR, ABKAR, AKTO
06.01.2016	ГС РАН (Россия)	01:29:59.0	41.28	129.09	39	5.2	МКАР, KURK, BRVK
10.09.2006	NEIC (США)	01:35:28.0	41.294	129.094	31	4.3	CHKZ, ZRNK, BRVK, МКАР
05.25.2009	NEIC (США)	00:54:43.3	41.306	129.029	75	4.7	МКАР, KURK, BRVK, BVAR, AKTO
02.12.2013	NEIC (США)	02:57:51.4	41.308	129.076	5.1	168	МКАР, MAKZ, KURK, BRVK, K KAR, ABKAR
06.01.2016	NEIC (США)	01:30:01.5	41.308	129.049	5.1	103	МКАР, MAKZ, BRVK, KURK, ABKAR
10.09.2006	IDC (REB)	01:35:27.6	41.312	129.019	22	4.1	МКАР
05.25.2009	IDC (REB)	00:54:42.8	41.311	129.046	59	4.5	МКАР, KUR, BVAR, AKTO
02.12.2013	IDC (REB)	02:57:50.8	41.301	129.065	51	4.9	МКАР, KUR, BVAR, AKTO
06.01.2016	IDC (REB)	01:30:00.5	41.304	129.048	83	4.8	МКАР, KURK, BVAR, AKTO
05.25.2009	EMSC (Франция)	00:54:44.5	41.31	128.98	126	4.8	МКАР, KURK, BRVK
02.12.2013	EMSC (Франция)	02:57:51.4	41.32	128.99	514	5.0	ABKAR, AKTO, BRVK, BVAR, K KAR, KURK, MAKZ, МКАР, OTUK, PDGK
06.01.2016	EMSC (Франция)	01:30:00.7	41.31	129.05	140	5.1	МКАР, MAKZ, KURK, BRVK, ABKAR
10.09.2006	КНЦД	01:35:30.7	41.105	128.518	6	3.9	KUR, ZRNK, VOS, CHKZ, BRVK, ABKAR
05.25.2009	КНЦД	00:54:43.2	41.386	129.139	11	4.5	МКАР, KURK, KUR, VOS, BRVK, BVAR, ZRNK, ABKAR, AKTO, CHKZ, KNDC, K KAR,
02.12.2013	КНЦД	02:57:53.3	41.554	128.997	12	4.7	ABKAR, AKTO, BRVK, BVAR, K KAR, KURK, KUR, MAKZ, МКАР, OTUK, PDGK, KNDC
06.01.2016	КНЦД (оперативное решение)	01:30:01.3	41.089	128.949	12	4.7	AKTO, ABKAR, BRVK, BVAR, K KAR, KUR, KURK, KNDC, MAKZ, МКАР, OTUK, PDGK
06.01.2016	КНЦД (с использованием поправок)	01:30:01.3	41.462	128.760	3	4.7	AKTO, ABKAR, BRVK, K KAR, KUR, KURK, MAKZ, МКАР, OTUK, PDGK, ZAL, MDO, AAK

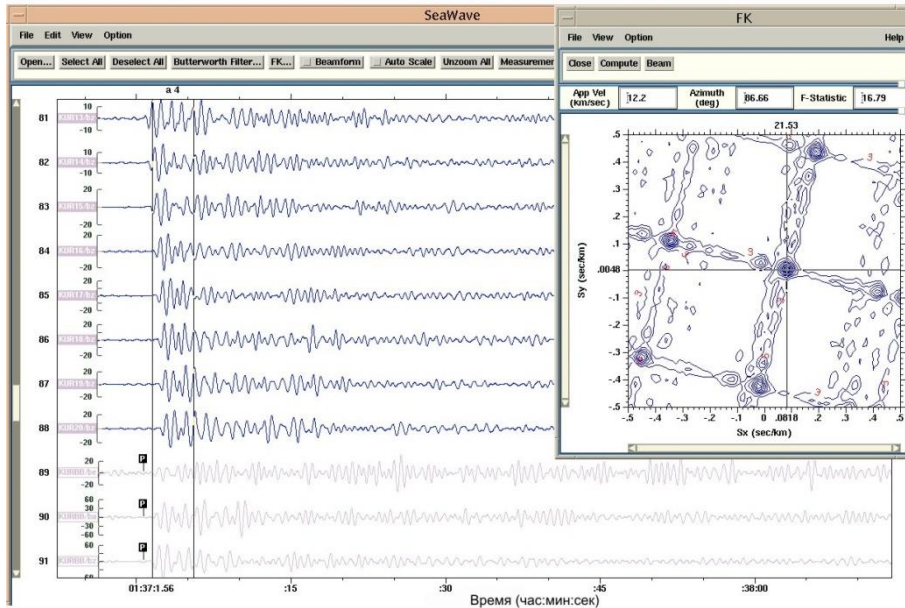
**Уточнение параметров локализации сейсмического события 6 января 2016 г.**

После оперативной обработки сейсмического события, для значительного количества событий проводится уточнение параметров локализации. Для этой задачи на региональных расстояниях добавляется большее количество станций, используется региональный или локальный годограф, SCSSI поправки, магнитудные, азимутальные поправки и др. Для сейсмического события в Северной Корее была проведена перелокализация с использованием азимутальных поправок по станциям, записавшим все 4 взрыва (таблица 1). В таблице 3 представлены результаты сравнения наблюденных и истинных азимутов на эпицентр взрывов по всем 4-м северокорейским взрывам. Найдены средние значения азимутальных поправок  $\delta AZ_{ср}$ . Определение расчетного

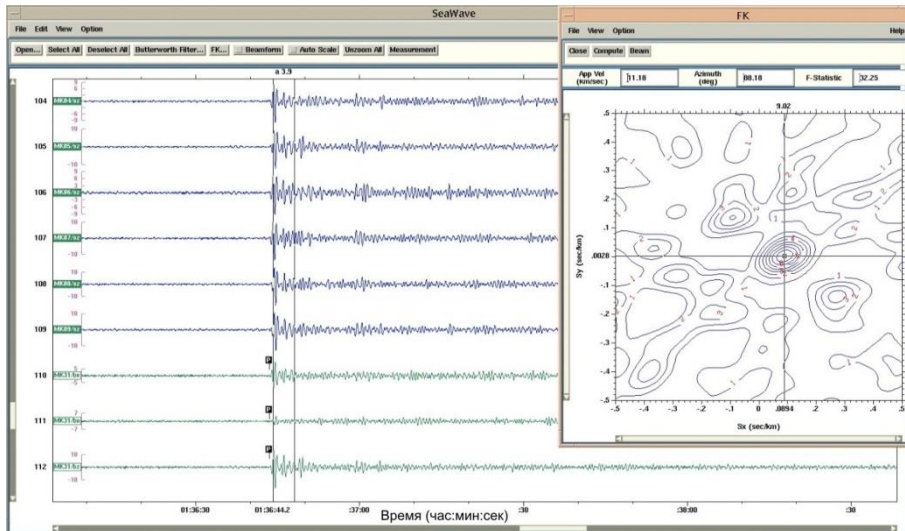
азимута на эпицентр проводилось при помощи fк-анализа, на рисунке 3 приведены результаты fк-анализа по сейсмическим группам Курчатова Крест и Маканчи. При помощи программного обеспечения SEATOOLS, после введения азимутальных поправок для сейсмических групп Акбулак, Курчатова Крест и Маканчи проведена перелокализация взрыва, произведенного 6 января 2016 г. (рисунок 4). В результате уточнения параметров, координаты эпицентра взрыва сместились к юго-востоку от оперативного решения, и значительно приблизились к решениям Международных Центров данных и к истинному положению штольни (рисунок 5). Для аналитиков КНЦД, занимающихся круглосуточной обработкой данных в режиме реального времени сделаны рекомендации для уточнения определения координат событий из района Северной Кореи.

*Таблица 3. Результаты сравнения наблюденных и истинных азимутов на эпицентр взрывов*

Дата	Станция	Истинный азимут	Расчётный азимут, f-k анализ	$\delta AZ$	$\delta AZ_{ср}$
10.09.2006	ABKAR	72.07	75.27	-3.2	-3.175
05.25.2009		72.09	74.41	-2.32	
02.12.2013		72.04	75.95	-3.91	
01.06.2016		72.02	75.29	-3.27	
10.06.2006	MKAR	82.06	89.40	-7.34	-7.05
05.25.2009		82.07	89.64	-7.57	
02.12.2013		82.02	89.15	-7.13	
01.06.2016		82.02	88.18	-6.16	
10.06.2006	KURBB	85.14			-0.95
05.25.2009		85.16	85.66	-0.5	
02.12.2013		85.11	85.93	-0.82	
01.06.2016		85.12	86.66	-1.54	



а)



б)

Рисунок 3. Результаты фк-анализа по сейсмическим группам (а) – Курчатов Крест и (б) – Маканчи

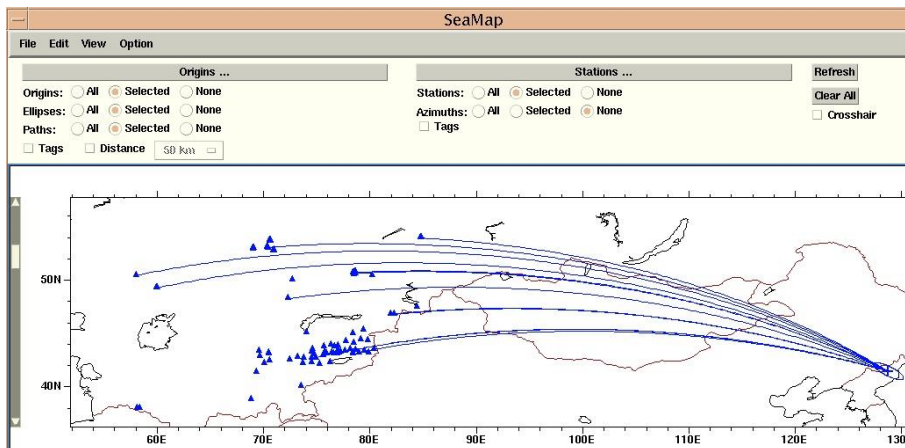


Рисунок 4. Система наблюдения и результат перелокализации Северо-Корейского взрыва 2016 г.

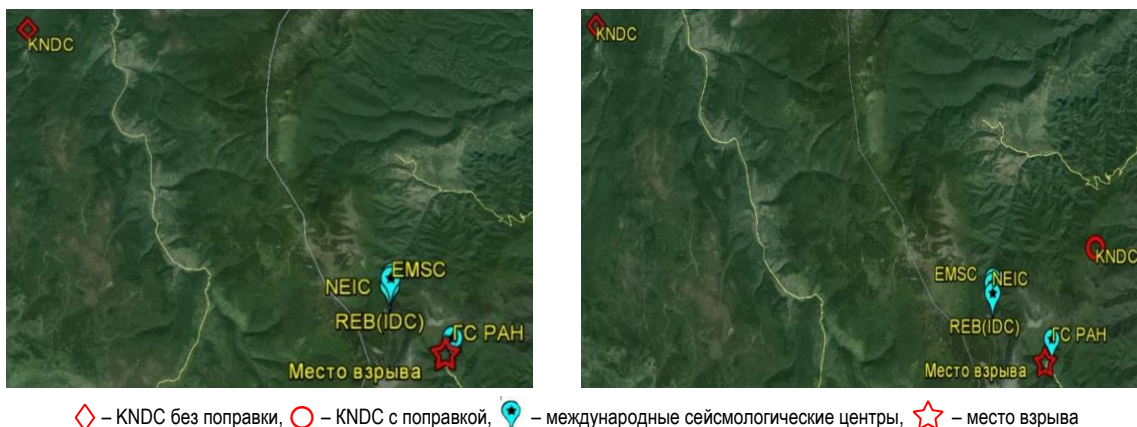
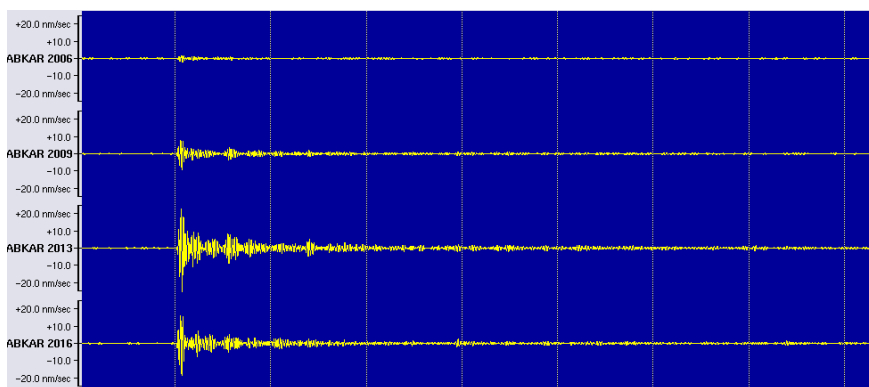


Рисунок 5. Координаты 4-го Северо-Корейского взрыва 2016 г. по данным различных международных центров

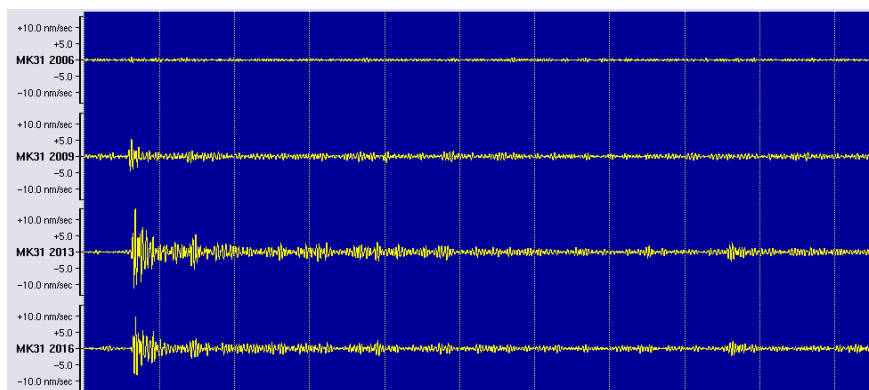
### ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СЕВЕРНОЙ КОРЕЕ

Из станций сети РГП ИГИ три сейсмические группы – АВКАР (Акбулак в Западном Казахстане), МКАР (Маканчи в Восточном Казахстане) и Курчатов-Крест (в Восточном Казахстане близ бывшего Семипалатинского испытательного полигона) ранее зарегистрировали все три предыдущих северо-корейских взрыва. Большой интерес представляет сопоставление параметров записей северо-корейских взры-

вов по одним и тем же станциям сети с целью сравнения волновой картины и оценки относительной разницы магнитуд разных взрывов. На рисунке 6 представлены сейсмограммы северо-корейских взрывов по вертикальным компонентам элементов сейсмических группы АВКАР и МКАР. Обращает на себя внимание очень большое сходство всех записей от разных событий по одной и той же станции. Это может свидетельствовать о близости в пространстве источников и сходстве природы источников.



а) станция АВКАР



б) станция МКАР. Z-компонента

Рисунок 6. Сравнительный анализ северо-корейских ядерных испытаний по данным станций РГП ИГИ (трассы записей сверху-вниз: 9 октября 2006, 25 мая 2009, 12 февраля 2013, 6 января 2016 г.)

Таблица 4. Сравнение амплитуд колебаний по трем компонентам для трех ядерных испытаний по станциям Акбулак и Маканчи

Станции	1 взрыв, 2006 год			2 взрыв, 2009 год			3 взрыв, 2013 год			4 взрыв, 2016 год		
	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm
ABKAR	0.5	0.5	0.8	1.0	2.1	3.4	1.8	6.1	8.4	1.4	3.7	5.2
MKAR	0.3	0.1	0.4	1.5	1.4	1.8	1.6	4.0	6.2	0.9	3.7	6.9
KUR	0.4	0.9	1.5				3.0	12.8	23.3	2.2	7.8	13.8

Таблица 5. Параметры четырех северокорейских испытаний по данным станций ABKAR, MKAR, KUR20

Дата	Станция	Азимут	$\Delta AZ$	Amp, nm	mb	mb-mb(2006)	mb-mb(NEIC)
10.09.2006	ABKAR	76.02	3.95	0.8	3.82	0	-0.5
05.25.2009		74.07	1,98	3.4	4.45	0.63	-0.3
02.12.2013		75.63	3.59	8.4	4.84	1.02	-0.3
01.06.2016		76.90	4.88	6.9	4.72	0.9	-0.4
10.06.2006	MKAR	89.17	7.11	0.4	3.48	0	-0.8
05.25.2009		89.41	7.34	1.8	4.17	0.69	-0.5
02.12.2013		89.6	7.58	6.2	4.67	1.19	-0.4
01.06.2016		88.69	6.67	5.2	4.56	1.08	-0.5
10.06.2006	KUR20*	85.39	0.25	1.2	3.54	0	-0.8
05.25.2009		85.52	0.36	2.0	4.1	0.56	-0.6
02.12.2013		85.55	0.44	7.8	4.6	1.06	-0.5
01.06.2016		85.04	1.56	5.8	4.4	0.86	-0.7

\* Элемент сейсмической группы Курчатов-Крест

В таблице 4 приведено сравнение амплитуд колебаний по трем компонентам для четырех ядерных испытаний по этим сейсмическим группам. Заметим, что во время регистрации 2-го взрыва трехкомпонентный элемент группы Курчатов-Крест KUR21 не работал, остальные элементы KUR01-KUR20 были исправны. По первым трем взрывам по всем станциям Казахстана наблюдается закономерное увеличение амплитуд сигналов, что свидетельствует о возрастании сейсмического эффекта взрывов, как следствие большей мощности – второй взрыв был сильнее первого, третий – сильнее второго. С этим связано и увеличение количества сейсмических станций, регистрирующих каждый последующий взрыв. Четвертый взрыв имеет несколько более слабый сигнал, чем третий взрыв.

Приращение магнитуд второго взрыва по сравнению с первым по всем трем станциям согласуется между собой и составляет  $mb(2009)-mb(2006)\sim 0.6$ , третьего со вторым  $mb(2013)-mb(2009)\sim 0.4$ ,  $mb(2016)-mb(2013)\sim 0.14$  (таблица 4). Четвертый взрыв оказался слабее третьего взрыва. Как следует из таблицы 5, его магнитуда  $mb$  в среднем на 0.14 единиц магнитуд меньше, чем у третьего взрыва [2].

Что касается сравнения магнитуды  $mb$  по станциям Казахстана с решениями других международных центров, наблюдается занижение магнитуд по станциям РГП ИГИ, что, возможно, связано с особенностью обработки в KNDC, а также с особенностью размещения регистрирующей аппаратуры сейсмических групп в скважинах. Например, по

сравнению с решением NEIC, занижение магнитуд  $mb$  составляет 0.4-0.7 (таблица 2).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Четыре северокорейские ядерные испытания 9 октября 2006 г., 25 мая 2009 г., 12 февраля 2013 г., 6 января 2016 г. были успешно зарегистрированы как казахстанской сейсмической сетью, так и глобальными сейсмическими сетями. Все определения положения эпицентра взрывов в Международных центрах данных с участием аналитиков характеризуются высокой точностью в несколько километров и показывают, что эпицентры взрывов относятся к полигону ядерных испытаний в КНДР. Большое сходство записей этого взрыва с записями трех предыдущих, скорее всего, говорит о том, что это было ядерное испытание.

Для улучшения результатов обработки проведения перелокализация взрыва, произведенного 6 января 2016 г., после введения азимутальных поправок для сейсмических групп Акбулак, Курчатов-Крест и Маканчи. В результате уточнения параметров, координаты эпицентра взрыва значительно приблизились к решениям Международных Центров данных и к истинному положению штольни.

По данным казахстанских станций мониторинга определены характеристики волновых форм записей и рассчитаны приращения магнитуд для трех взрывов относительно первого. Последнее испытание наиболее близко по мощности к третьему испытанию, но незначительно уступает ему: магнитуда  $mb$  на 0,14 единиц меньше.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Казахская система мониторинга Института геофизических исследований Национального ядерного центра и ее возможности / Н.Н. Михайлова, З.И. Синева, И.Н. Соколова // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана / РЦСС НАНА. – 2012. – С. 329–336.
2. Соколова, И.Н. О сейсмическом событии 6 января 2016 года в районе Северной Кореи / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник АО КАЗНИИСА. Наука. – 2016. – № 3. – С. 30–39.
3. Михайлова, Н.Н. Северокорейское ядерное испытание 9 октября 2006 г. по данным Казахской и глобальной систем мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып.1. – С. 17–26.
4. Михайлова, Н.Н. Северокорейское ядерное испытание 25 мая 2009 г. по данным казахстанской системы мониторинга / Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2009. – Вып. 3. – С. 17–21.
5. [Электронный ресурс]: // <http://www.isc.ac.uk>.
6. [Электронный ресурс]: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic>.
7. [Электронный ресурс]: <http://www.ceme.gsras.ru/ccd.htm>.
8. [Электронный ресурс]: <http://www.emsc-csem.org>.

## 2016 ЖЫЛҒЫ СОЛТҮСТІК КОРЕЯДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚ

Р.Б. Узбеки, Н.А. Сейнасинов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

ҚР ГЗИ сейсмикалық және инфрадыбыстық станциялары желісінің негізгі міндеттері болып табылатыны – ядролық сынақтардың мониторингі. Станциялар барлық 4 солтүстіккореялық ядролық жарылыстарды табысты тіркеген (10.9.2006, 05.25.2009, 02.12.2013 және 01.06.2016). Солтүстіккореялық Пунгери ядролық полигонынан эпиорталықтық қашықтықтардың ауқымы 3725–5375 км. құрайды. Қазақстандық деректер орталығы жедел режимінде қанағаттанарлық дәлдігімен жарылыстың параметрлерін анықтаған. Өңдеудің нәтижелерін жақсарту үшін, 2016 ж. 6 қаңтарда жүргізілген жарылысты, Ақбұлақ, Курчатов-Крест және Мақаншы сейсмикалық топтары үшін азимутальдік түзетулерін енгізгеннен кейін, қайта жергіліктеуі жүргізілген. Параметрлерін дәлдеу нәтижесінде жарылыс эпиорталығының координаттары Халықаралық деректер орталығының шешіміне және шотльняның іс-жүзінде орналасқан жеріне едәуір жақын болды. Қазақстандық сейсмикалық станцияларының деректері бойынша 4 солтүстіккореялық сынақтардың кинематикалық және динамикалық параметрлерін салыстырма талдауы жүргізілген.

## NUCLEAR TEST IN NORTH KOREA 2016

R.B. Uzbekov, N.A. Seinassinov

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

Monitoring of the Nuclear Tests is one of the main objectives of the seismic and infrasound stations of IGR RK. These stations had successfully registered all 4 North Korean nuclear tests (10.9.2006, 05.25.2009, 02.12.2013 и 01.06.2016). The epicentral distances from the North Korean test site Punggye-ri are in the range of 3725–5375 km. Kazakh National Center succeeded in determining the parameters of these explosions with sufficient accuracy. To improve the results, the explosion conducted on January 6, 2016 is relocated after introducing azimuthal corrections for the Akbulak, Kurchatov and Makanchi seismic arrays. As a result of the parameters correction the coordinates of the explosion epicenter became considerably closer to the solutions of the International Data Centers as well as to the original location of the tunnel. A comparative analysis of the kinematic and dynamic parameters is conducted for 4 tests using the data from Kazakh seismic stations.