**Вестник НЯЦ РК** выпуск 1, март 2012

УДК 550.34

## **ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК** СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СЕТИ KRNET

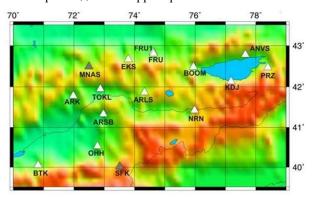
<sup>1)</sup>Берёзина А.В., <sup>2)</sup>Соколова И.Н., <sup>1)</sup>Мозолева Е.Л., <sup>1)</sup>Никитенко Т.В., <sup>1)</sup>Рагульская А.К.

1) Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек 2) Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены динамические характеристики сейсмического шума для новой цифровой сейсмической сети KRNET, расположенной на территории Кыргызстана. Рассмотрены сезонные вариации уровня спектральной плотности сейсмического шума по данным станции Нарын для различных диапазонов временных периодов. Изучено влияние штормовых микросейсм, генерируемых озером Иссык-Куль, на динамические параметры сейсмического шума станций KRNET.

Географически Кыргызстан расположен в пределах Тянь-Шанского орогена, который на современном этапе характеризуется активной тектонической деятельностью, проявляющейся в высоком уровне сейсмичности. Поэтому сейсмический мониторинг является одной из самых актуальных задач для Республики. Северная часть территории Кыргызстана достаточно хорошо исследована благодаря хорошему покрытию сетью сейсмических станций KNET, данные которых обрабатываются в режиме реального времени. Однако юг и юго-восток Республики попрежнему остаются недостаточно изученной территорией. До недавнего времени в этих районах сейсмические наблюдения велись только с использовасущественно аналоговых станций, что сказывалось на оперативности и точности результатов обработки записей землетрясений.

Новая сеть цифровых широкополосных сейсмических станций KRNET (рисунок 1) установлена в 2007 г. совместно с норвежским центром NORSAR и в совокупности со станциями сети KNET существенно повысила эффективность сейсмического мониторинга данной территории.



Значки: белый треугольник – станции, установленные совместно с центром NORSAR, серый треугольник – по проекту CAREMON

Рисунок 1. Расположение сейсмических станций сети KRNET в Кыргызстане

Как видно из рисунка 1, кроме цифровых сейсмических станций, установленных совместно с NORSAR, имеются две новые сейсмические станции: Суфикурган (SFK) и Манас (MNAS) [1], которые установлены в 2010 г. в соответствии с договором между Институтом геофизических исследований (ИГИ НЯЦ РК) и Центром исследований Земли (GFZ) ФРГ, а также согласно Плану сотрудничества CASCADE (Central Asian Cross-border Natural Disaster prevention) в рамках проекта CAREMON. К началу 2012 г. сеть KRNET включает 16 станций, расположенных равномерно по территории Республики. Сведения о станциях приведены в таблице 1. Планируется дальнейшее увеличение количества станций сети для обеспечения более равномерного покрытия территории Республики.

На всех станциях, за исключением станций Ош и Арсланбоб, установлены широкополосные сейсмометры GURALP CMG-3ESPC (частотный диапазон от 0,033 с до 50 Гц) и дигитайзеры DM24. На станциях Ош и Арсланбоб установлены сейсмометры CMG6T. Количество отсчётов в секунду для станций KRNET в течение 2007-04.2011 гг. составляла 50 Гц, в настоящее время на станциях установлена частота оцифровки 40 Гц. Исключение составляют станции Манас и Суфикурган, где частота оцифровки - 100 Гц [1]. Кроме широкополосного 3-хкомпонентного чувствительного сейсмометра CMG-3ESPC на этих станциях дополнительно установлен акселерометр CMG5T для регистрации сильных движений.

В 2009 г. новая сеть станций была зарегистрирована в Международной Федерации цифровых сейсмографических сетей (FDSN) как сеть KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network). Учитывая, что важнейшей составляющей работы любой цифровой сети является оперативная передача данных, Институт сейсмологии НАН КР ведёт работу по налаживанию системы передачи данных в режиме реального времени со станций сети KRNET в Центр данных ИС НАН КР (рисунок 2).

Предусмотрена передача данных в Центр данных Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР) на базе GPRS-интернета и, далее, посредством высокоскоростного интернета в FDSN, где данные будут иметь свободный доступ. Эти работы ведутся при финан-

совой поддержке IRIS (Consortium - Incorporated Research Institutions for Seismology), США и NORSAR (Норвегия). В Центр данных IRIS (DMC) в режиме реального времени уже поступают данные 6 станций сети KRNET. Кроме того, по данным всех

станции сети KRNET формируются seed-архивы (Standart for the Exchange of Earthquake Data), которые поступают в IRIS DMC с запозданием на 3 месяца и находятся в свободном доступе с  $2007~\Gamma$ .

Таблица 1. Сведения о цифровых сейсмических станциях сети KRNET

<b>№</b> п/п	Наиме– нование цифр. станции	Код	Координаты (град.)		Тип приборов		Высота	Дата открытия	Породы фунда	Приборное	Основной источник
			Ши– рота	Дол– гота	Сейсмо– метр	Диги тайзер	(Н), м	дд.мм.гг	мента	сооружение	помех
1.	Ананьево	ANVS	42.78	77.66	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1864	27.11.07	Гранит	штольня	оз. Иссык-Куль (10 км), река (40 м)
2.	Арал	ARLS	41.87	74.33	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1526	18.07.08	Грано- сиениты	штольня	река Кокемерен (60 м), дорога (10 м)
3.	Аркит	ARK	41.78	71.98	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1420	25.03.08	Галечник	подвал	дорога (15 м), река Аркит (40м)
4.	Арсланбоб	ARSB	41.33	72.97	СМG-6TD (40 Гц)	C24	1378	28.11.09	Галечник	здание сейсмостанции	река Арсланбоб (60 м)
5.	Баткен	BTK	40.06	70.82	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	980	25.07.09	Известняк	сейсмо- павильон	Антропогенные шумы, город
6.	Бишкек*	FRU	42.84	74.61	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	836	21.11.07	Валуно- галечник	подвал	Антропогенные шумы, город
7.	Боом	воом	42.49	75.94	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1737	05.06.10	Грано- сиениты	штольня	оз. Иссык-Куль (22 км)
8.	Еркинсай*	EKS	42.67	73.79	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1168	22.11.07	галечник	сейсмо- павильон	
9.	Каджи-Сай	KDJ	42.12	77.18	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1830	15.04.11	Граниты, грано- сиениты	штольня	оз.Иссык-Куль (10 км)
10.	Каракол	PRZ	42.47	78.40	СМG-3Т (40 Гц)	DM24	1835	01.11.10	Галечник	сейсмо- павильон	оз. Иссык-Куль (20 км)
11.	Манас	MNAS	42.49	72.50	CMG-3ESPC, CMG-5T (100 Гц)	DM24	1465	25.03.10	Мрамори зованные известняки	сейсмо- павильон	река Талас (90 м)
12.	Нарын	NRN	41.42	75.98	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	2120	15.06.08	Грано- сиениты	штольня	Антропогенные шумы, город
13.	Ош	ОНН	40.53	72.78	CMG-6TD (40 Гц)	C24	800	23.03.08	Известняк	подвал	Антропогенные шумы, город
14.	ССД	FRU1	42.81	74.63	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	929	30.06.10	Валуно- галечник	подвал	Антропогенные шумы, город
15.	Суфи- Курган	SFK	40.02	73.51	CMG-3ESPC, CMG-5T (100 Γц)	DM24	2110	29.03.10	Галечник	сейсмо -павильон	река Суфи- Курган (60 м), дорога (10 м)
16.	Токтогул	TOKL	41.94	72.87	CMG-3ESPC (40 Гц)	DM24	1097	27.11.09	Гранит	здание сейсмостанции	река Чычкан (70 м), дорога
* Пр	* Примечание – станция временно не работает										

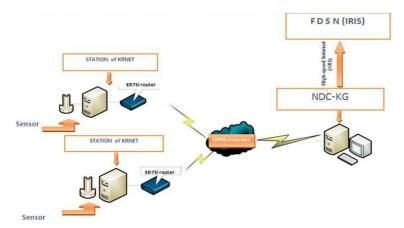
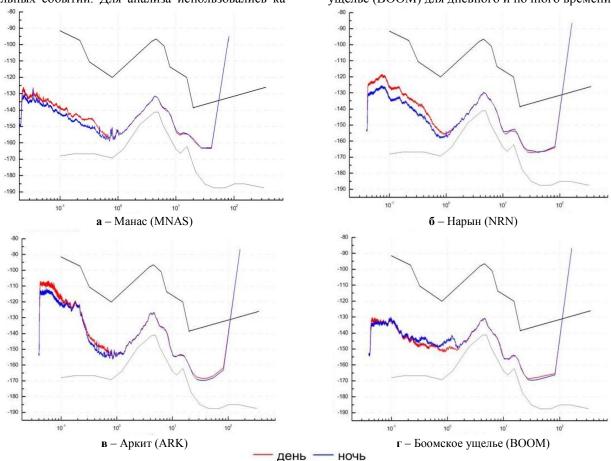


Рисунок 2. Схема передачи данных сети KRNET

Для действующей сети станций ведется анализ качества их работы, оценка чувствительности сети и др. Изучение динамических характеристик сейсмического шума является важным этапом в проведении подобных исследований. Кроме того, изучение параметров сейсмического шума позволяет вести мониторинг состояния регистрирующей аппаратуры, выявление изменений, связанных с аппаратурными сбоями для своевременного их устранения.

Структура микросейсмических помех изучалась путем построения спектров плотности сейсмического шума для всех трех регистрируемых компонент. Методика такого анализа подробно описана в [2 - 8]. Выбирались 10 минутные отрезки записей без сейсмических событий или коды предшествующих сильных событий. Для анализа использовались ка-

талог NEIC (USGS, Геологической службы США), а так же региональный интерактивный сейсмический бюллетень Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ) ИГИ НЯЦ РК и сейсмический каталог ИС НАН КР. Отдельно выбирались фрагменты записей за ночное (17 - 18 ч. GMT) и дневное время (7 - 8 ч. GMT). Для анализа создавались выборки, состоящие из 20 фрагментов сейсмических записей, по которым строились медианные спектры. Проводилось сравнение полученных зависимостей с верхне- и нижнеуровневой моделью сейсмического шума Петерсона [5]. На рисунке 3 показаны спектральные плотности сейсмического шума для Z-компоненты станций KRNET Manac (MNAS), Нарын (NRN), Аркит (ARK) и Боомское ущелье (ВООМ) для дневного и ночного времени.



Ось абсцисс – период, сек; ось ординат – спектральная плотность сейсмического шума

Рисунок 3. Спектральная плотность сейсмического шума для Z-компоненты для дневного и ночного времен станций KRNET

Станции KRNET расположены в различных условиях. Так станции, установленные на осадочных породах в больших городах, таких как Бишкек, Ош, Баткен, обладают высоким уровнем сейсмического шума, близким к верхнеуровневой модели Петерсона [5]. Для этих станций наблюдается большая разница между дневным и ночным шумом, достигающая 10 дБ, они уступают по чувствительности и дальности регистра-

ции станциям, установленным на коренных породах, вдали от населенных пунктов. Однако станции, расположенные в крупных городах, чрезвычайно важны для изучения сейсмического режима этих городов и позволяют быстро реагировать на ощутимые в этих городах землетрясения.

Другая группа станций - Ананьево, Арал, Еркин-Сай, – имеет среднюю чувствительность, разница между дневным и ночным уровнем сейсмического шума достигает 5 дБ, кроме того станция Ананьево расположена вблизи Иссык-Куля и на характеристики сейсмического шума в большой степени влияют штормовые микросеймы озера. Уровень сейсмического шума для станций Арсланбоб, Боом, Суфи-Курган Нарын и Манас в рабочем диапазоне периодов является близким к нижнеуровневой модели Петерсона. Разница уровня сейсмического шума в дневное и ночное время несущественна.

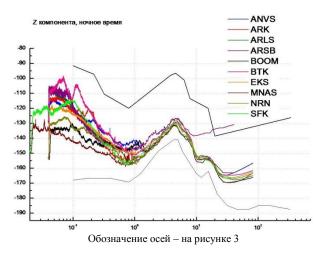


Рисунок 4. Спектральная плотность сейсмического шума по данным станций сети KRNET (ночное время)

На рисунке 5 представлена спектральная плотность сейсмического шума по данным станции Нарын (дневное время) почти за 3 года. Рассмотрено 3 диапазона периодов сигналов, характеризующих: 0.1 с – техногенные шумы, 1.7 - 2 с – штормовые микросейсмы озера Иссык-Куль [7, 8], 6 с – штормовые океанические микросейсмы. Наблюдаются значительные сезонные вариации. Летом уровень сейсмического шума, связанного с антропогенной деятельностью, является максимальным, зимой минимальным. Особенно заметна такая закономерность в небольших поселках в сельской местности без развитой индустриальной инфраструктуры [6]. Основная деятельность в таких районах - сельскохозяйственная, максимум активности которой наблюдается в теплое время года, что отражается на уровне сейсмических шумов. Для периода 1.7 - 2с выявлена высокая корреляция экстремальных значений спектральной плотности сейсмического шума со штормами на озере Иссык-Куль. Станция Нарын находится на расстоянии 100 км от озера. Анализ ее данных позволяет не только выявлять шторм в определенный день и судить об его интенсивности, но и рекомендовать для аналитиков определенный набор частотных фильтров, минимизирующих влияние штормовых микросейсм на сейсмическую запись события. Для периода 6 с, связанного с океаниНа рисунке 4 сопоставлена спектральная плотность сейсмического шума по Z-компоненте для 10 станций сети KRNET для ночного времени суток. Видно, что самым низким уровнем сейсмических шумов характеризуется станция Манас, что определяет ее высокую эффективность при сейсмическом мониторинге. Для большинства станций, кроме установленных на осадочных породах в больших городах (Бишкек, Ош, Баткен), характерен низкий уровень шумов, близкий к нижнеуровневой модели Петерсона [5].

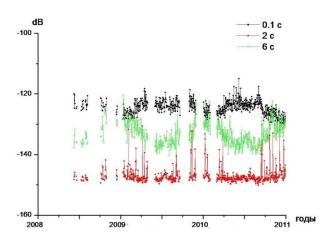


Рисунок 5. Спектральная плотность сейсмического шума по данным станции Нарын за 3 года для периодов 0,1 – 6 сек (дневное время)

ческими микросейсмами, отчетливо выделяются годовые, сезонные вариации, (максимум в зимнее время), а также вариации с периодом 14 суток, связанные с лунно-солнечными приливами и другими природными факторами.

Озеро Иссык-Куль, на котором во время штормов генерируются стоячие волны, существенно влияет на чувствительность практически всех северотяньшаньских станций [7, 8]. Информация о штормах за длительный промежуток времени была получена независимо из сведений, имеющихся на станциях ИС НАН КР, расположенных вблизи оз. Иссык-Куль (Ананьево, Каракол и Каджи-Сай). На рисунке 6 показан временной ход ежемесячного количества штормов за 1999 - 2010 гг. Хорошо прослеживаются сезонные вариации количества штормов с максимумом в зимнее время (декабрь - февраль) и минимумом в летнее время (июнь - июль). На рисунке 7 приведен годовой ход нормированного ежемесячного количества штормовых дней.

Из рисунка 7 следует, что наилучшие условия регистрации сейсмических событий северотянь-шаньскими станциями имеют место в период времени апрель - июль, а наихудшие — в период октябрь февраль. Среднее количество штормовых дней составляет 23 - 25% в год.

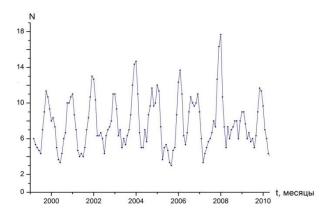


Рисунок 6. Ежемесячное количество штормовых дней на озере Иссык-Куль

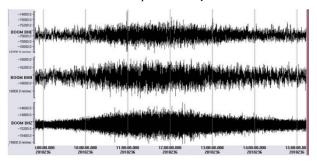


Рисунок 8. Сейсмическая запись станции BOOM во время шторма на озере Иссык-Куль

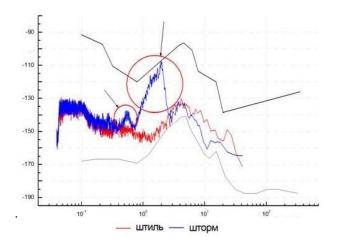


Рисунок 9. Спектральные кривые сейсмического шума в день, когда не было штормов на озере Иссык-Куль, и в штормовой день. Станция ВООМ, вертикальная компонента

Из рисунке 9 видно, что во время шторма наблюдается резкое возрастание спектральной плотности сейсмического шума в диапазоне периодов от 1.5 до 2.2 с, а также в диапазоне периодов  $\sim$  0.4 - 0.6 с. На рисунке 10 приведен характер изменения приращения уровня спектральной плотности шума  $\delta S$  (дБ) в штормовые дни по отношению к дням без шторма.

Проведенный анализ показывает, что новая цифровая сейсмическая сеть KRNET вместе со станциями сети KNET, расположенными на севере и северо-

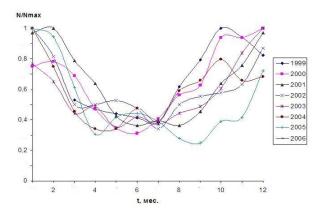


Рисунок 7. Годовой ход нормированного месячного количества штормовых дней на озере Иссык-Куль

В дополнение к [7, 8] проведен анализ влияния штормов озера Иссык-Куль по данным станции KRNET на примере конкретного шторма 24 августа 2010 г., который продолжался в течение 4 часов (с 11ч до 15 ч), а высота отдельных волн достигала 50 - 70 см. На рисунке 8 приведена сейсмограмма, зарегистрированная во время шторма станцией Боом, расположенной на расстоянии 22 км от берега озера.

Сейсмограмма позволяет определить время начала и окончания шторма. На рисунке 9 показана спектральная плотность сейсмического шума во время шторма в сравнении со спокойными днями на записях станции ВООМ (Боомское ущелье).

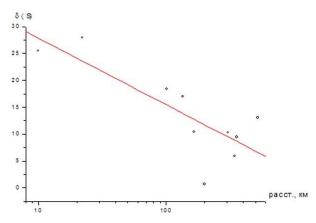


Рисунок 10. Затухание максимальной амплитуды микросейсм с расстоянием в области 1.7с при итормах на озере Иссык-Куль

западе республики, обеспечивает хорошее покрытие территории Кыргызстана и позволила значительно улучшить точность локализации сейсмических событий региона. Благодаря удачному выбору мест расположения станций с точки зрения характеристик сейсмического шума, все станции системы являются высокочувствительными как к локальным, так и региональным событиям и могут быть использованы в рамках национального и международного мониторинга.

#### Литература

- 1. Стролло, А. Новые казахстанские станции, установленные в рамках проекта CAREMON / А. Стролло, Д. Бинди, А.Е. Великанов, В.Г. Кунаков, И.И. Комаров, Н.Н. Михайлова, З.Й. Синева // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: тезисы докладов. VI Междунар. конф., Курчатов, 09-13 авг. 2010. НЯЦ РК, 2010. С. 21 22.
- 2. Комаров, И.И. Модель сейсмического шума по наблюдениям геофизической обсерватории «Маканчи» / И.И. Комаров, 3.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, Г.С. Абдрахманова // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2000. — Вып.2. — С. 17 - 24.
- 3. Синёва, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций казахстанской сети / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2000. Вып.2. С. 24 30.
- 4. Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2006. Вып. 2. С.19 26.
- 5. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise // Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993. P.42.
- 6. Соколова, И.Н. Модель сейсмического шума по наблюдениям сейсмической станции «Подгорное» / И.Н. Соколова, А.С. Мукамбаев // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2007. Вып. 3. С. 111 117.
- 7. 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.
- 8. Соколова, И.Н. Влияние озера Иссык-Куль на эффективную чувствительность сейсмических сетей центрального Тянь-Шаня / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии: Сб. докл. 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума 2-4 июня 2010 г. – Алматы: «Эверо», 2010. – С. 363 - 366.

## KRNET ЖЕЛІСІ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКЛЫҚ ШУДЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ

 $^{1)}$ Берёзина А.В.,  $^{2)}$ Соколова И.Н.,  $^{1)}$ Мозолева Е.Л.,  $^{1)}$ Никитенко Т.В.,  $^{1)}$ Рагульская А.К.

<sup>1)</sup>Қырғыз Республикасы Ұлттық академиясының Сейсмология институты, Бишкек <sup>2)</sup>ҚР ҰЯО Ггеофизикалық зерттеудер институты, Қурчатов, Қазақстан

Қырғызстан аумағында орналасқан жаңа цифрлық сейсмикалық КRNET желісі үшін сейсмикалық шудың динамикалық сипаттамалары келтірілген. Нарын станцияның деректері бойынша периодтардың әр түрлі ауқымдары үшін сейсмикалық шудың спектрлік тығыздығы деңгейінің маусымдық вариациялары қаралған. KRNET станциялардың сейсмикалық шуының динамикалық параметрлеріне Ыстықкөл өндіретін теңіз дауылдық микросейсмолардың әсері зерделеніп болған.

## THE STUDY OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SEISMIC NOISE ACCORDING TO THE KRNET DATA

<sup>1)</sup>A. Beroyzina, <sup>2)</sup>I. Sokolova, <sup>1)</sup>E. Mozoleva, <sup>1)</sup>T. Nikitenko, <sup>1)</sup>A. Ragulskaya

1) Insitute of Seismology of National Academy of Science of Kyrgyzstan, Bisckek. Kyrgyzstan
2) Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

We have been mapping S wave attenuation field in the lithosphere of the Eastern Tien Shan. A method, based on an analysis of Sn and Pn wave amplitude ratio, was applied. Earthquake recordings, obtained by station Makanchi (MKAR) at distances of ~350-1200 km, were processed. Zones of high attenuation, which are not connected with large earthquakes (M≥7.0), occurred during last 200 years, were picked out. Ring-shaped seismicity structures have been formed in two such zones, to the west of Urumchi city and in an area of Lop Nor test site, similarly to the region of the Central Tien Shan. It is supposed, that these zones are connected with a preparation for large earthquakes.

**Вестник НЯЦ РК** выпуск 1, март 2012

УДК 531.7:550.34

### ПОРТАТИВНЫЕ ЦИФРОВЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ В СИСТЕМАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

<sup>1)</sup>Башилов И.П., <sup>1)</sup>Волосов С.Г., <sup>2)</sup>Зубко Ю.Н., <sup>3)</sup>Королёв С.А., <sup>1)</sup>Николаев А.В.

<sup>1)</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия <sup>2)</sup>ФГУП ОКБ Океанологической техники РАН, Россия <sup>3)</sup>Институт динамики геосфер РАН, Россия

Разработаны и созданы опытные образцы портативного сейсмометра и трёхканальной сейсмической станции с цифровой регистрацией для работ в «поле», в труднодоступных местах, а также макет портативного сейсмометра для донных исследований. Проведены всесторонние испытания технических решений, использованных в разработанной аппаратуре. В результате испытаний подтверждена работоспособность сейсмометра и сейсмостанции и определены их основные технические характеристики.

#### Ввеление

Развитие экспериментальной геофизики неразрывно связано с совершенствованием существующего и созданием нового приборно-методического обеспечения, в первую очередь, для работ в «поле», на инженерных сооружениях, в труднодоступных местах, включая работы на шельфе. Особенно это касается сейсмической аппаратуры для исследований и контроля характеристик микросейсмического волнового поля при решении целого ряда задач [1]. Специфика проведения этих работ предъявляет определенные требования к эксплуатационным характеристикам сейсмометров. Сейсмометр должен быть цифровым, компактным, удобным и надёжным в эксплуатации, с простыми процедурами установки, запуска регистрации, последующего съёма полученных данных и, кроме того, должен соответствовать современным требованиям к метрологическим характеристикам.



Рисунок 1. Внешний вид макета донного ПЦС

## Испытания ПЦС

Основные технические решения сейсмометра прошли комплекс исследований и испытаний, включая сравнительные испытания совместно с контрольными станцией «Экспресс-4», длиннопериодным датчиком СМ-5МП и короткопериодным

#### Портативный цифровой сейсмометр

С учётом вышеперечисленных требований разработан портативный цифровой сейсмометр (ПЦС) [1] и изготовлены его макет для работ на шельфе, а также наземный опытный образец, пригодные, в том числе, и для мониторинга ядерных испытаний как дополнительные средства оперативного контроля.

Макет сейсмометра, предназначенного для донных исследований (рисунок 1), состоит из контейнера сейсмоприёмника СМ-5ДВ, где размещены плата фильтра и плата регистратора, конструктивно закреплённые на одном шасси, а также отдельная аккумуляторная батарея. Макет имеет USB разъём для подключения к компьютеру, разъём RS-232 для подключения приёмника GPS, а также разъём аналогового сигнала и питания сейсмоприёмника СМ-5ДВ, выведенный через фланец шасси.

Использование контейнера от сейсмоприёмника СМ-3КВ обеспечивает возможность наземного применения разработанного сейсмометра (рисунок 2).



Рисунок. 2. Внешний вид опытного образца ПЦС для наземных исследований

датчиком СМ-6П. Регистрация колебаний, принимаемых контрольными датчиками, проводилась по двум каналам станции «Экспресс-4», а регистрация колебаний сейсмоприёмника СМ-5Д, входящего в состав ПЦС, велась одновременно регистратором разработанного сейсмометра и одним из каналов

станции «Экспресс-4». Данные испытания проведены на постаменте в Институте динамики геосфер РАН.

Записи сейсмических сигналов сейсмоприёмника СМ-5ДВ, сделанные регистратором разработанного сейсмометра и станцией «Экспресс-4», идентичны. Это хорошо видно на примере сейсмограмм землетрясения, произошедшего во время испытаний, 11.09.2008 на о. Хоккайдо (Япония) в 4:32:45 по московскому времени с магнитудой 5,5 mb на глубине 10 км. На рисунке 3 проиллюстрировано вступление сигнала землетрясения, а на рисунке 4 — мощной поверхностной волны, дошедшей до Москвы примерно через полчаса после толчков в эпицентре. Три верхние сейсмограммы на рисунках 3, 4 записаны станцией «Экспресс-4», а нижняя сейсмограмма — регистратором ПЦС.

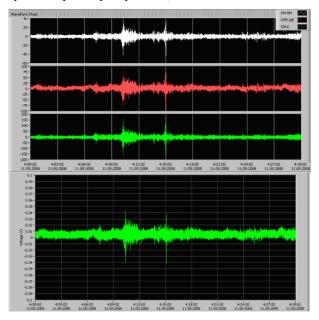


Рисунок 3. Записи сейсмограмм землетрясения станцией «Экспресс-4» и регистратором ПЦС

### Портативная цифровая сейсмическая станция

Технические решения, заложенные в ПЦС, получили своё развитие при создании трёхканальной портативной цифровой сейсмической станции ПЦСС (рисунок 5). Структурная схема станции приведена на рисунке 6, а технические характеристики – в таблице.

Станция комплектуется широкополосными 100-секундными датчиками СМ-3Е, хотя ничто не препятствует использованию совместно с ней любых других сейсмоприёмников, в т.ч. и импортных. ПЦСС может работать как в автономном режиме с записью данных во внутреннюю флэш-память, так и с передачей данных по кабелю в режиме реального времени. Связь с компьютером при этом может быть осуществлена по любому из интерфейсов: RS-232, RS-485, USB или Ethernet. Настройка режимов

Как следует из рисунков 3 и 4, сейсмограммы портативного цифрового сейсмометра хорошо согласуются с аналогичными записями контрольных сейсмоприёмников СМ-6П и СМ-5МП с учётом рабочих диапазонов частот последних. Так, вступление волн землетрясения (рисунок 3) с частотой колебаний ~1 Гц и выше всеми тремя датчиками записано одинаково, а поверхностная волна (рисунок 4) с периодом ~20 с записана только широкополосными сейсмоприёмниками СМ-5МП и СМ-5ДВ.

Проведённый комплекс испытаний показал, что портативный цифровой сейсмометр является работоспособным и, в основном, удовлетворяет большинству технических требований, предъявляемых к таким устройствам, обеспечивая максимальную простоту и удобство в эксплуатации в полевых условиях.

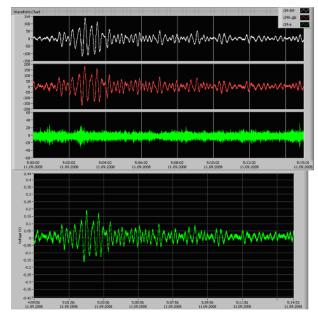


Рисунок 4. Сейсмограммы поверхностной волны землетрясения, записанные станцией «Экспресс-4» и регистратоома ПЦС

работы проводится с компьютера по любому из перечисленных выше интерфейсов. Все настройки сохраняются во внутренней памяти станции, поэтому при установке станции на объекте достаточно только включить питание. Это обеспечивает возможность работы со станцией даже низко квалифицированному персоналу.

Важной отличительной особенностью разработанной ПЦСС в сравнении с существующими отечественными станциями, такими, как, например, «Байкал», является одновременная выборка аналогового сигнала по всем трём каналам, что обеспечивает восстановление поляризации сейсмического сигнала. Более того, если несколько таких станций являются элементами мобильной сети, то синхронизация выборок всех станций обеспечивается с точностью до 10 мкс. ПЦСС имеет и ряд отличий от ПЦС.



Рисунок 5. Внешний вид ПЦСС (без крышки корпуса)

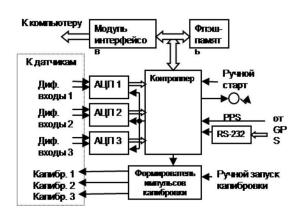


Рисунок 6. Структурная схема ПЦСС

Таблица. Основные технические характеристики ПЦСС

Параметр	Значения			
Рабочий диапазон температур	От -40°С до +60°С			
Напряжение питания	Постоянное от 9 до 18 В			
Потребляемая мощность (без передачи данных)	~650мВт			
Потребляемая мощность (с передачей данных)	~1,5 Bτ			
Тип АЦП	Дельта-сигма			
Разрядность АЦП	24			
Количество каналов	3 синхронных			
Входное сопротивление	108 кОм			
Тип входа	Дифференциальный			
KOCC	65 дБ			
Диапазон входных сигналов	± 10 B			
Цена младшего разряда АЦП	1,589 мкВ			
Уровень шумов	3 разряда СКЗ на 100 Гц			
Частоты оцифровки	10 Гц – 1 кГц			
Динамический диапазон	125 дБ			
Точность привязки времени к PPS меткам приёмника GPS	100 мкс			
Точность привязки времени без GPS	0,1 - 10 ppm в зависимости от кварца			
Вывод данных	USB, Ethernet, RS-232,			
	RS-485			
Режимы сбора данных	Непрерывный			
Ёмкость флэш-памяти	3 Гбайт (1 мес. на 100 Гц )			
Формат записи	E-24			

Так, в ней предусмотрена возможность импульсной калибровки каждого из измерительных каналов. На рисунке 7 показана АЧХ, полученная в результате импульсной калибровки канала Е-W станции. Калибровку инициирует команда с компьютера при нажатии кнопки на корпусе станции или в определённое время. Кроме того, в станции расширен рабочий диапазон входных сигналов, который составляет  $\pm 10~{\rm B}$ , в то время как у ПЦС он составляет  $\pm 2,5~{\rm B}$  при примерно одинаковом уровне шума.

Формат, в котором разработанными приборами кодируется сейсмическая информация, аналогичен формату АЦП Е-24, т.е. совместим со стандартными программными пакетами обработки сейсмических данных.

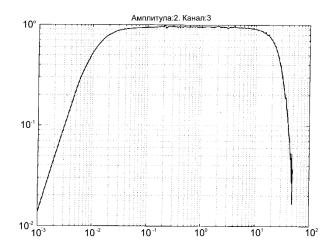


Рисунок 7. AЧX, полученная в результате импульсной калибровки канала E-W  $\Pi$ ДCC

## Опытная эксплуатация ПЦСС

Опытный образец ПЦСС с сейсмоприёмниками СМ-3Е работает в составе группы на сейсмическом полигоне «Михнево» в Московской области совместно с контрольными широкополосными приборами СМ-3. Как контрольная, так и исследуемая аппаратура размещены на постаменте в шахте на глубине 20 м. Передача сейсмических данных с ПЦСС производится по сети Ethernet с помощью оптоволоконного кабеля, а с СМ-3 сигнал передается в обрабатывающий центр в аналоговом виде.

Разработанной аппаратурой было зарегистрировано слабое землетрясение магнитудой 2 mb в районе Бердянска 14 мая 2010 г. в 23 ч. 19 мин. Сейсмограммы этого события, полученные контрольными датчи-

ками СМ-3 с помощью 3-х АЦП Е-24 и датчиками СМ-3Е с помощью ПЦСС, приведены на рисунке 8.

Как видно из сейсмограмм, показания обеих систем мало отличаются друг от друга. Следует отметить, что небольшие габариты платы регистратора ПЦСС (верхняя плата на рисунке 5) позволяют разместить её в корпусе трёхкомпонентного сейсмоприёмника, например, ТС-5МП, что обеспечит возможность создания трёхкомпонентного автономного ПЦС. Такой прибор сочетает в себе возможность получения научной информации от трёхкомпонентных датчиков с простотой и удобством в эксплуатации автономных портативных сейсмометров.

Разработанная аппаратура готова для серийного выпуска в ООО НТЦ «Поиск».

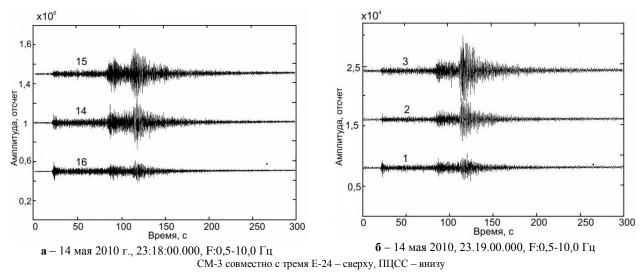


Рисунок 8. Сейсмограммы события в районе г. Бердянск

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башилов, И.П. Автономный портативный сейсмоприёмник с цифровой регистрацией для сейсмологических исследований / И.П. Башилов, С.Г. Волосов, Ю.Н. Зубко, С.А. Королёв, А.В. Николаев // Вестник НЯЦ РК, 2009. — Вып.3 (39). — С. 29 - 32.

# СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІ ЖҮЙЕСІНДЕ ПОРТАТИВТІК ЦИФРЛЫҚ СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫ

<sup>1)</sup>Башилов И.П., <sup>1)</sup>Волосов С.Г., <sup>2)</sup>Зубко Ю.Н., <sup>3)</sup>Королёв С.А., <sup>1)</sup>Николаев А.В.

<sup>1)</sup>PFA О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Ресей <sup>2)</sup>PFA ФМБК Мұхиттік техника ТКБ, Ресей <sup>3)</sup>PFA Геосфера динамкасы институты, Ресей

Жетуге жолы қиын аудандарда, далалық жағдайларында жұмыстар үшін әзірленген және жасалған цифрлық тіркеуімен портативтік сейсмометр мен үш арналық сейсмикалық станциялардың тәжірибелік нұсқаларының, сондай-ақ су түбіндегі зерттеулер үшін портативтік сейсмометр макетінің сипаттамалары келтіріледі. Әзірленген аппаратурада пайдаланған техникалық шешімдерін жан жақты сынамалау нәтижелерінде сейсмометр мен сейсмостанцияның жұмысқа қабілеттілігі расталған, олардың негізгі техникалық сипаттамалары анықталған.

#### PORTABLE DIGITAL SEISMIC STATIONS IN SYSTEMS OF SEISMIC MONITORING

<sup>1)</sup>I.P. Bashilov, <sup>1)</sup>S.G. Volosov, <sup>2)</sup>Y.N. Zubko, <sup>3)</sup>S.A. Korolyov, <sup>1)</sup>A.V. Nikolaev

1)Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia
2)EDBOE RAS, Moscow, Russia
3)Institute of Dynamics of Geospheres RAS Moscow, Russia

Pre-production models of a portable seismometer and three-channel seismic station with digital registration for works in "field", in hard-to-reach spots are developed and created. Also a breadboard model of a portable seismometer for shelf researches is created. All-round tests of the technical decisions used in mentioned equipment are carried out. As a result of tests working capacity of the seismometer and the seismic station is confirmed and their basic technical characteristics are defined.

**Вестник НЯЦ РК** выпуск 1, март 2012

УДК 550.34: 639.9

#### **НОВЫЕ КАЗАХСТАНСКИЕ СТАНЦИИ, УСТАНОВЛЕННЫЕ В РАМКАХ ПРОЕКТА CAREMON**

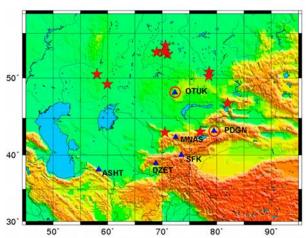
<sup>1)</sup>Михайлова Н.Н., <sup>2)</sup>Стролло А., <sup>1)</sup>Кунаков В.Г., <sup>1)</sup>Великанов А.Е., <sup>1)</sup>Синёва З.И.

1) Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан 2) Центр исследований Земли Федеративной Республики Германии

Приведено описание двух станций (PDGN и OTUK), установленных на территории Казахстана в 2010 г. в рамках проекта CAREMON. Данные этих станций активно используются как при срочной обработке событий, так и при составлении регионального бюллетеня.

#### Введение

В соответствии с Меморандумом о взаимопонимании между Институтом геофизических исследований НЯЦ РК и Центром изучения Земли (GFZ), ФРГ, а также согласно Плану сотрудничества CASCADE (Central Asian Cross-border Natural Disaster prevention) в 2009 – 2010 гг. на территории Казахстана в рамках проекта CAREMON установлены две новые трехкомпонентные сейсмические станции. В проекте CAREMON, кроме Казахстана, участвуют другие республики Центральной Азии – Кыргызстан, Таджикистан, Туркмения, Узбекистан. К апрелю 2010 г. в рамках этого проекта установлены 6 сейсмических станций (рисунок 1): ОТИК и PDGN в Казахстане, SFK и MNAS - в Кыргызстане; АSHT в Туркмении и DZET - в Таджикистане.



Синий треугольник – станция сети CAREMON; красная звездочка - станция сети НЯЦ РК; красный кружок- станция сети CAREMON в Казахстане

Pucyнoк 1. Расположение сейсмических станций сети CAREMON

В соответствии со стандартами проекта CAREMON оборудование станций включает широкополосный трехкомпонентный сейсмометр CMG-3ESPC и акселерометр CMG-5T (Gularp, Англия), которые совместно с аппаратурой оцифровки, обработки и накопления GuralpCMG-DM246S и GuralpCMG-EAMPC обеспечивают качественную передачу информации с разрешением 24 бита и частотой оцифровки 100 отсчетов/сек. Потоки данных,

формируемые на станциях, передаются непрерывно в режиме реального времени по спутниковым каналам сначала в центр спутниковой компании ASTEL (г. Алматы), а затем по каналам Интернет - в GFZ (Потстдам). Информация, полученная от всех станций, также по каналам Интернет является доступной всем участвующим странам. Накопление информации на станциях осуществляется комбинированно: помимо передачи данных в режиме реального времени ведется ее запись на диск, входящий в состав комплекта оборудования станции, что позволяет восстанавливать, при необходимости, информацию, потерянную при прерывании связи.

#### Станция Подгорное (**PDGN**)

Станция Подгорное (PDGN) расположена на юго-востоке Казахстана в поселке Киргизсай (прежнее название Подгорное) Уйгурского района Алматинской области (рисунок 2). Станция установлена на коренных выходах в краевой части малой субвулканической интрузии, имеющей размеры ~1×2 км и сложенной трахилипарит—трахидацитами верхнепалеозойского возраста. Район является сейсмически активным и сейсмически опасным из-за близости к мегаполису Алматы. Станция установлена в приборном сооружении ранее существовавшей автономной станции PDG, у которой не было каналов связи с Центром данных. Ее обслуживание и снятие данных проводилось через 2 - 3 месяца.

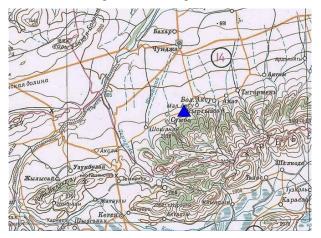


Рисунок 2. Местоположение сейсмической станции PDGN- Подгорное