

УДК 550.348

## ВЫБОР ПЛОЩАДОК И УСТАНОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП В КАЗАХСТАНЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ДОГОВОРОВ О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

<sup>1)</sup>Джунек В., <sup>1)</sup>Клаутер Д.А., <sup>1)</sup>Венанзи Ф., <sup>1)</sup>Роман-Нивс Дж., <sup>1)</sup>Байер С.А.,  
<sup>1)</sup>Кемерайт Р.К., <sup>2)</sup>Беляшова Н.Н., <sup>2)</sup>Михайлова Н.Н., <sup>2)</sup>Синева З.И.

<sup>1)</sup>*Центр прикладных технологий воздушных сил, Флорида, США*  
<sup>2)</sup>*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Приводится обзор совместных работ американских и казахстанских специалистов по созданию и эксплуатации в Казахстане трех сейсмических групп для проведения мониторинга соблюдения Договоров, запрещающих ядерные испытания.

На протяжении последних чуть более десяти лет Центр прикладных технологий воздушных сил Соединенных Штатов Америки (AFTAC) и Институт геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИГИ НЯЦ РК), тесно сотрудничая, создали и ввели в эксплуатацию три сейсмических группы в поддержку международного Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Масштаб данного сотрудничества охватывает выбор участков, пригодных для размещения сейсмических групп, установку и отладку оборудования, эксплуатацию и техническое обслуживание станций, анализ данных мониторинга и выполнение совместных исследовательских проектов. Ученые и инженеры обеих стран провели изучение геологии, топографии, климата и существующей инфраструктуры потенциальных участков с целью выбора наиболее подходящих площадок-кандидатов для размещения сейсмических групп. В состав работ вошли проведение ряда инженерно-геологических съемок, серия работ по изучению шумовых сейсмических характеристик на каждом исследуемом участке (рисунки 1, 2), оценка возможных осложнений при установке оборудования.

Окончательный выбор по результатам исследований пал на участки Кайракты (ABKAR - Акбулак), Ма-

канчи (MKAR - Маканчи), Карагату (KKAR- Карагату) – рисунок 3. Конфигурация сейсмических групп на этих участках предусматривала по девять элементов, три из которых являются широкополосными сейсмометрами. Данные сейсмического мониторинга, проводимого на каждой площадке, передаются в Казахстанский национальный центр данных (КНЦД) в г. Алматы, а затем - в Национальный центр данных США, расположенный на военно-воздушной базе Патрик во Флориде. Полученные данные обрабатываются в режиме, близком к реальному времени, с помощью автоматических систем обнаружения сигнала, локализации события и их характеристизации. Затем результаты, полученные автоматически, пересматриваются и уточняются командой аналитиков.

Данное сотрудничество породило несколько совместных исследовательских инициатив, включающих разработку базы данных Ground Truth, изучение закономерностей затухания сейсмических сигналов, а также анализ надежности характеристизации событий по параметрам азимут/медленность. Создана Казахстанско-Американская Рабочая группа из специалистов AFTAC и ИГИ НЯЦ РК, которая проводит ежегодные встречи для обсуждения вопросов технического обслуживания станций.

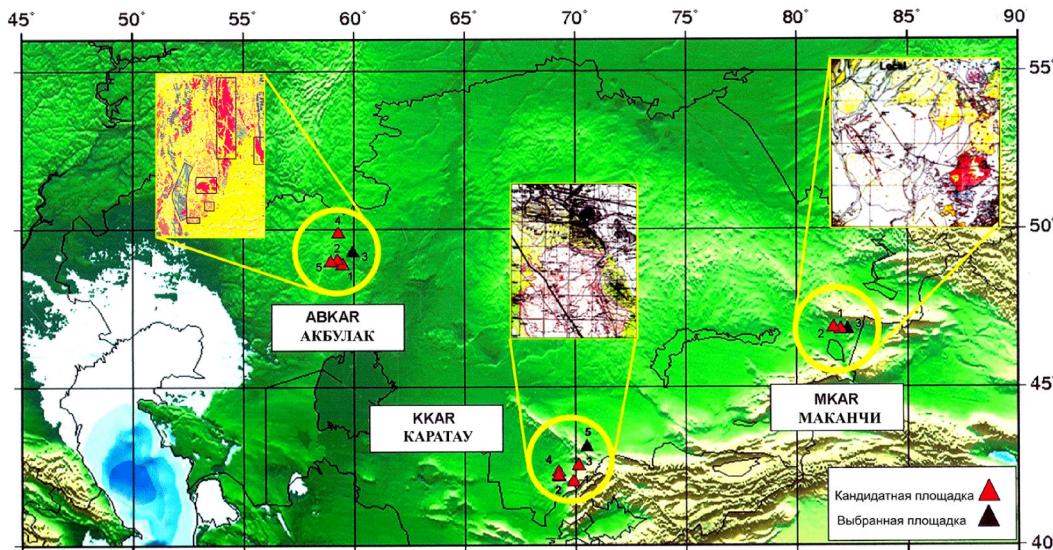


*Рисунок 1. Подготовка к размещению сейсмометров для изучения сейсмических шумов*



*Рисунок 2. Короткопериодные сейсмометры GS-13*

## ВЫБОР ПЛОЩАДОК И УСТАНОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП В КАЗАХСТАНЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ДОГОВОРОВ О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ



*Рисунок 3. Выбранные площадки для станций Акбулак (ABKAR), Карагатай (KKAR), Маканчи (MKAR)*

### КРИТЕРИИ ВЫБОРА УЧАСТКА

Основными критериями, по которым проводилась оценка исследуемых участков при выборе окончательного места размещения сейсмических станций, были следующие:

- сейсмический шум: низкий уровень фонового сейсмического шума; низкий уровень техногенного шума;
- топография: ландшафт с невысоким рельефом;
- геология: компактный однородный массив; твердая метаморфическая порода (например, гранитоидный массив);
- доступность и возможность для логистической поддержки: всепогодные дороги;
- возможность получения права на земельную собственность;
- доступность энергоснабжения: надежная коммерческая электроэнергия; энергия от солнца;
- доступность связи: прямая внутриучастковая связь; спутники дальней связи.

### ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

Данные о фоновом сейсмическом шуме были получены в результате полевых наблюдений по всем потенциальным участкам. Для этого использованы короткопериодные GS-13 (рисунок 2) и широкополосные сейсмометры STS-2. Разворачивание сейсмометров выполнялось, во-первых, как четырехэлементная группа - для оценки когерентности сигнала и шу-

ма, во-вторых, как одинарная широкополосная станция – для оценки фонового шума. Частота дискретизации – 40 Гц. На рисунке 4 приведены спектральные плотности сейсмического шума на площадках, выбранных, как наилучшие, для размещения сейсмических групп Акбулак, Карагатай, Маканчи. Сейсмические шумы изучены по нескольким десяткам (от 39 до 73) фрагментов записей (таблица 1).

Рассчитанные по результатам измерений спектральные плотности шума сравнены на рисунке 4 с моделью шума Петерсона [1]. Сравнение показывает, что практически во всем изучаемом частотном диапазоне стационарные кривые спектральной плотности шума тяготеют к нижнеуровневой мировой модели, что создает хорошие предпосылки для регистрации событий всеми тремя станциями.

### ОЦЕНКА УЧАСТКОВ ПО ИТОГАМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СЪЁМОК

Изучено по несколько участков в районах будущего размещения сейсмических групп. В таблице 2 дано сравнение характеристик некоторых из них на основе вышеописанных критерииев.

Выбор наилучшего участка базировался на лучшем сочетании характеристик по всем критериям. Простое качественное сравнение позволило выявить наилучшее сочетание геофизических и логистических черт каждого потенциального участка. [3, 4]. На рисунке 5 показан ландшафт этих выбранных участков.

*Таблица 1. К результатам изучения сейсмического шума на выбранных площадках для сейсмических групп*

Станция	Кол-во фрагментов, N	Длина фрагмента L, сек	Среднее, дБ	
			для 1 Гц	для 6 Гц
Акбулак	39	300	-11 ± 1,7	-38 ± 3,7
Карагатай	47	300	-9,6 ± 2,3	-38 ± 3,3
Маканчи	73	300	-10,5 ± 3,6	-37,4 ± 5,3

**ВЫБОР ПЛОЩАДОК И УСТАНОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП В КАЗАХСТАНЕ  
ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ДОГОВОРОВ О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

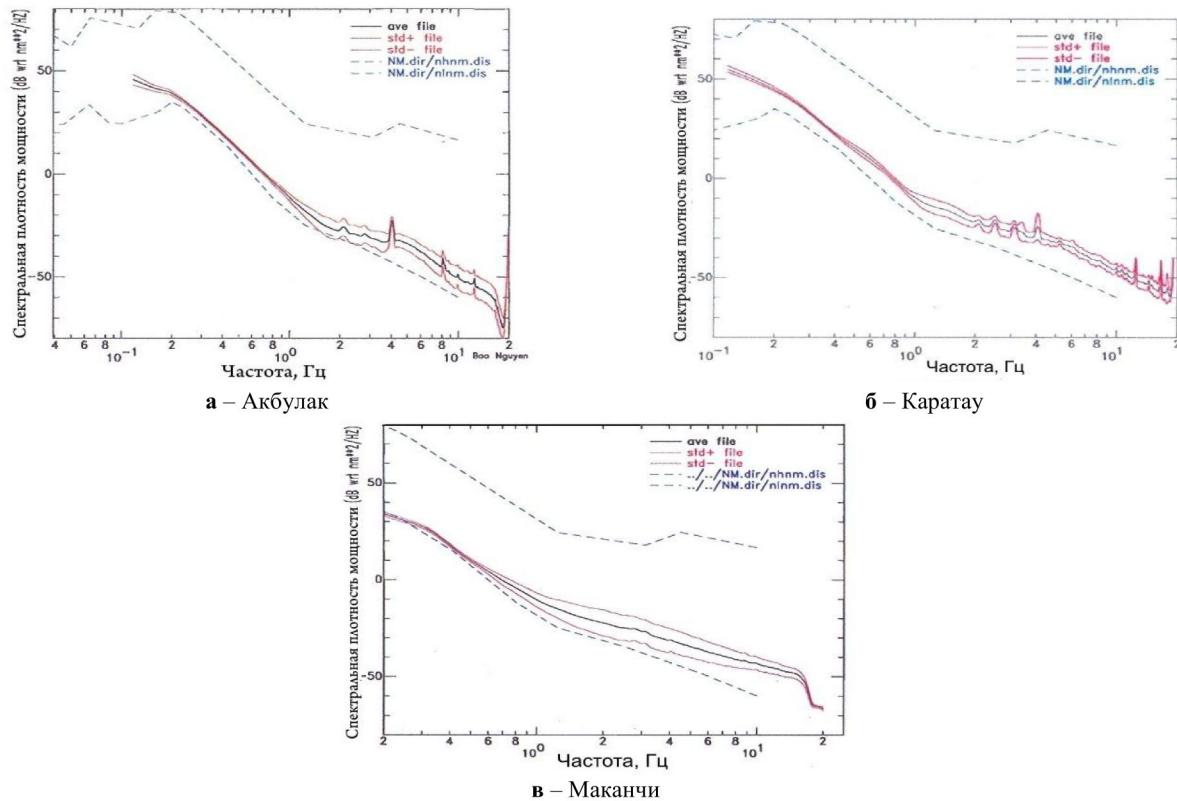


Рисунок 4. Результаты изучения сейсмического шума при поиске наилучших участков для размещения сейсмических групп

Таблица 2. Сравнение характеристик участков, изученных при выборе места размещения сейсмических групп

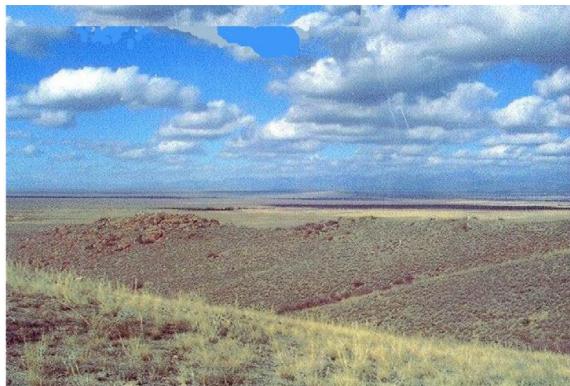
Оценочные критерии	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Участок 5
<b>Акбулак - АВКАР</b>					
Местоположение	Фоновый шум	●	○	○	○
Удаленность от источников техногенного шума	●	○	○	○	○
Геология	Компонентность породы	○	○	○	○
	Гомогенность	○	○	○	○
Доступность	Наличие подъездных дорог	○	○	○	○
	Доступность в пределах группы	○	○	○	○
Коммуникации	Внешние и внутренние	○	○	○	○
Электропитание	Доступ. коммерч. электроэнергии	○	○	○	○
Землевладение	Риск для получения доступа	○	○	○	○
<b>Каратай - ККАР</b>					
Местоположение	Фоновый шум	●	○	○	○
Удаленность от источников техногенного шума	●	○	○	○	○
Геология	Компонентность породы	○	○	○	○
	Гомогенность	○	○	○	○
Доступность	Наличие подъездных дорог	○	○	○	○
	Доступность в пределах группы	○	○	○	○
Коммуникации	Внешние и внутренние	○	○	○	○
Электропитание	Доступ. коммерч. электроэнергии	○	○	○	○
Землеевладение	Риск для получения доступа	○	○	○	○
<b>Маканчи - МКАР</b>					
Местоположение	Фоновый шум	●	●	○	○
Удаленность от источников техногенного шума	○	●	●	○	○
Геология	Компонентность породы	●	○	○	○
	Гомогенность	○	○	○	○
Доступность	Наличие подъездных дорог	○	○	○	○
	Доступность в пределах группы	○	○	○	○
Коммуникации	Внешние и внутренние	○	○	○	○
Электропитание	Доступ. коммерч. электроэнергии	○	○	○	○
Землеевладение	Риск для получения доступа	○	○	○	○
<span style="color: green;">●</span> лучший <span style="color: yellow;">○</span> нейтральный <span style="color: red;">●</span> худший					



**a – Акбулак**



**б – Карагатай**



**в – Маканчи**

*Рисунок 5. Выбранные площадки для строительства сейсмических групп*

#### **УСТАНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ**

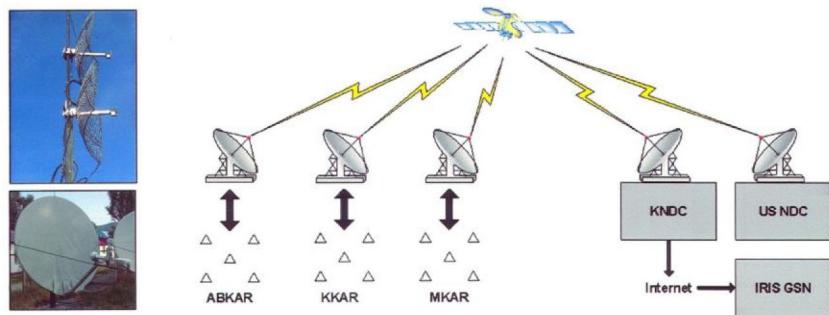
Для установки сейсмометров на площадках каждой станции были пробурены скважины. Глубина типичных скважин для установки короткопериодных сейсмометров составляет 30 м, для долгопериодных сейсмометров - 60 м. На каждой площадке размещены девятиэлементные сейсмические группы и трехкомпонентные широкополосные сейсмометры (таблица 2).

Как следует из таблицы 2, в скважинах всех трех сейсмических групп установлены сейсмометры GS-21, GS-13 и KS 54000 фирмы Neledyn Geotech (США).

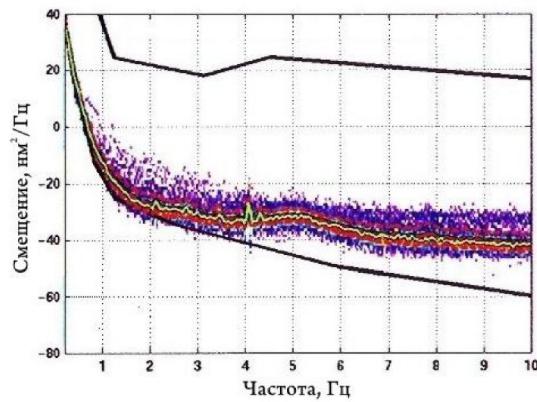
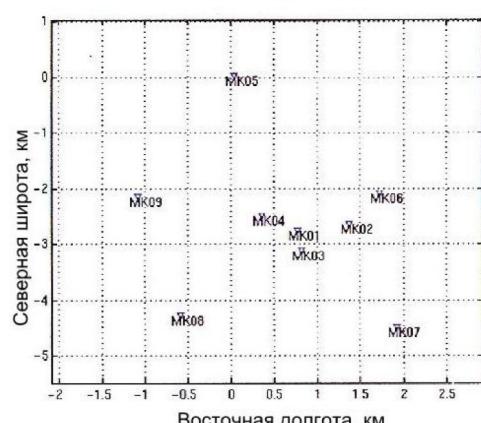
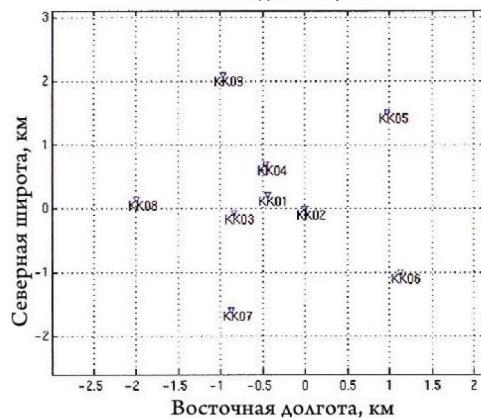
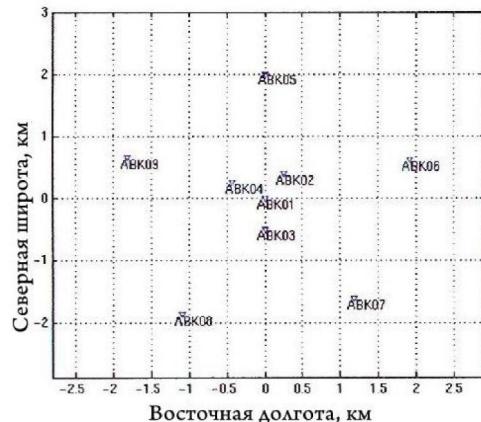
*Таблица 2. Сейсмометры, установленные на площадках сейсмических групп*

<b>Акбулак - ABKAR</b>		<b>Карагатай - KKAR</b>		<b>PS23- Маканчи - MKAR</b>	
<b>Номер скважины</b>	<b>Тип прибора</b>	<b>Номер скважины</b>	<b>Тип прибора</b>	<b>Номер скважины</b>	<b>Тип прибора</b>
ABK31	Geotech KS 54000	KK 31	Geotech KS 54000	MK 31	Geotech KS 54000
ABK01	Geotech GS-21	KK 01	Geotech GS-21	MK 32	Geotech GS-13
ABK02	Geotech GS-21	KK 02	Geotech GS-21	MK 01	Geotech GS-21
ABK03	Geotech GS-21	KK 03	Geotech GS-21	MK 02	Geotech GS-21
ABK04	Geotech GS-21	KK 04	Geotech GS-21	MK 03	Geotech GS-21
ABK05	Geotech GS-21	KK 05	Geotech GS-21	MK 04	Geotech GS-21
ABK06	Geotech GS-21	KK 06	Geotech GS-21	MK 05	Geotech GS-21
ABK07	Geotech GS-21	KK 07	Geotech GS-21	MK 06	Geotech GS-21
ABK08	Geotech GS-21	KK 08	Geotech GS-21	MK 07	Geotech GS-21
ABK09	Geotech GS-21	KK 09	Geotech GS-21	MK 08	Geotech GS-21
				MK 09	Geotech GS-21

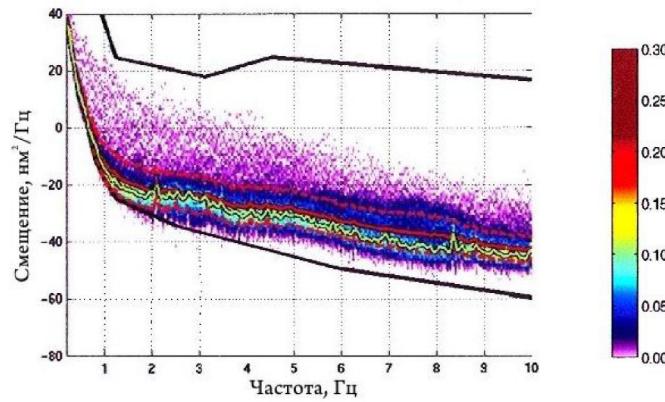
**ВЫБОР ПЛОЩАДОК И УСТАНОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП В КАЗАХСТАНЕ  
ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ДОГОВОРОВ О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**



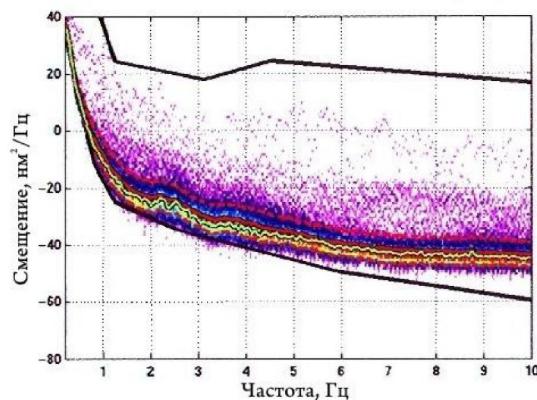
*Рисунок 6. Реализованная схема коммуникаций для сбора и передачи данных*



ABK31, Z-компоненты. 11 июня 2007 г., Акбулак



KK31, Z-компоненты. 30 – 31 июля 2007 г., Карагат



MK31, Z-компоненты. 30 – 31 июля 2007 г., Маканчи

— 1 — мировая модель шума Петерсона; 2 — среднее ± стандарт; 3 — среднее; 4 — мода

1 — мировая модель шума Петерсона; 2 — среднее ± стандарт; 3 — среднее; 4 — мода

*Рисунок 7. Характер вероятной спектральной плотности шума на сейсмических группах, 2007 г.*

## ВЫБОР ПЛОЩАДОК И УСТАНОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП В КАЗАХСТАНЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ДОГОВОРОВ О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Выбранное размещение девятиэлементных групп характеризуется хорошими характеристиками чувствительности. На рисунке 8 показана характеристика направленности сейсмических групп.

Эффективность группирования по каждой станции подтверждается практическими результатами.

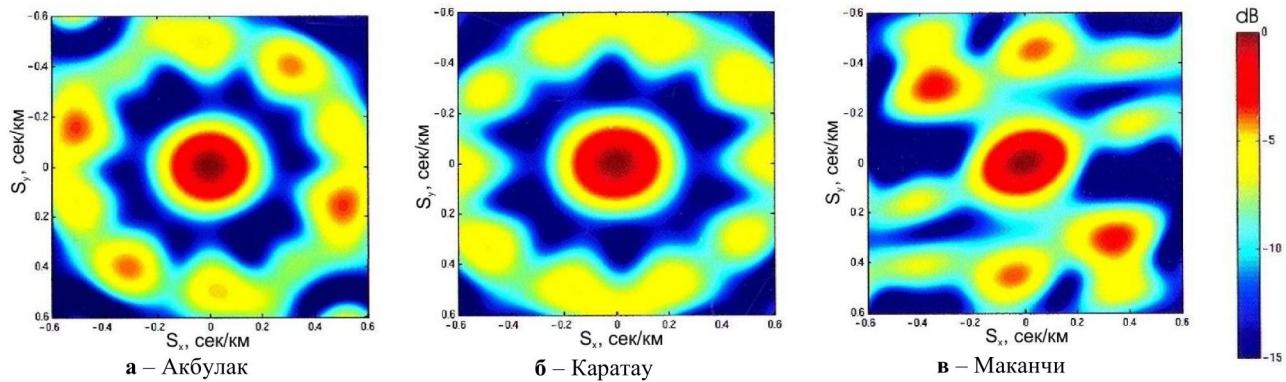


Рисунок 8. Характеристика направленности (в дБ) на частоте 1 Гц сейсмических групп



Рисунок 9. Казахстанско-американское сотрудничество в поддержку ядерного нераспространения

### СОТРУДНИЧЕСТВО

Ежегодно, два раза в год, на протяжении более десяти лет проводятся заседания Казахстанско-американской рабочей группы, поочередно в США и Казахстане, для решения текущих и перспективных вопросов в обеспечении надежной работы станций мониторинга (рисунок 9).

Для повышения эффективности сейсмических групп дополнительно используются методы для определения обратного азимута приходящих сигналов и для повышения соотношения сигнал/шум.

Оценки обратных азимутов используются для повышения качества локализации событий.



AIR FORCE  
TECHNICAL APPLICATIONS  
CENTER

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сотрудничество между ИГИ НЯЦ РК и АФТАС привело к созданию и эксплуатации трех высокочувствительных и надежных сейсмических групп, расположенных в различных регионах Казахстана, что обеспечивает эффективный мониторинг в поддержку соблюдения Договоров, запрещающих ядерные испытания.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Peterson, J Observations and Modeling of Seismic Background Noise, U.S.G.S. / J, Peterson // Open-File Report 93-322, 1993.
2. Clauter, D.A. Joint Report on Candidate Sites for a Seismic Array Near Makanchi, Kazakhstan // D.A. Clauter, B.V. Nguyen // AFTAC, Report, 1998.
3. Clauter, D.A. Joint Report on Candidate Sites for a Seismic Array Near Kaindy, Kazakhstan // D.A. Clauter, B.V. Nguyen // AFTAC, Report, 2000.
4. McNamara, D.E. Seismic Noise Analysis System Using Power Spectral Density Probability Functions: A Stand Alone Software Package, Open-File U.S.G.S. / D.E.McNamara, R.I. Boaz // Report 2005-1438, 2005.

## **ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАРЫНА ТҮЙЫМ САЛУ ТУРАЛЫ ШАРТТАРЫН САҚТАУЫНЫң МОНИТРИНГІ УШИН ҚАЗАҚСТАНДА АЛАҢДАРЫН ТАНДАУ МЕН СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОПТАРЫН ОРНАТУ**

<sup>1)</sup>Джунек В., <sup>1)</sup>Клаутер Д. А., <sup>1)</sup>Венанзи Ф., <sup>1)</sup>Роман-Нивс Дж., <sup>1)</sup>Байер С. А.,  
<sup>1)</sup>Кемерайт Р. К., <sup>2)</sup>Беляшова Н. Н., <sup>2)</sup>Михайлова Н. Н., <sup>2)</sup>Синева З. И.

<sup>1)</sup>Әуе күштерінің қолданбалы технологиялар орталығы, Флорида, АҚШ  
<sup>2)</sup>ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Ядролық сынақтарына тыйым салатын Шарттарын сақтауының монитрингін жүргізу үшін Қазақстанда үш сейсмикалық топтарын құру және пайдалану бойынша американлық және қазақстандық мамандардың бірлескен жұмыстарының шолуы келтірілген.

## **SITE SELECTION AND ESTABLISHMENT OF SEISMIC ARRAYS IN KAZAKHSTAN FOR NUCLEAR TREATY MONITORING**

<sup>1)</sup>W. Junek, <sup>1)</sup>D. Clauter, <sup>1)</sup>P. Venanzi, <sup>1)</sup>J. Roman-Nieves, <sup>1)</sup>S. Baher  
<sup>1)</sup>R. Kemeraït, <sup>2)</sup>N. Belyashova, <sup>2)</sup>N. Mikhailova, <sup>2)</sup>Z. Sinyova

<sup>1)</sup>Air Force Technical Application Center, Florida, USA  
<sup>2)</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

An overview of joint American-Kazakhstani activities on the creation and operation of three seismic arrays in Kazakhstan to carry out monitoring of the Treaty compliance that bans nuclear tests is given.