

УДК 550.34 УДК 550.34.064

РЕГИСТРАЦИЯ И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МИКРОСЕЙСМ И МИКРОБАРОМ ПО ДАННЫМ СЕТИ СТАНЦИЙ НЯЦ РК

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Путем совместного анализа длительных непрерывных наблюдений, проведенных инфразвуковой станцией IS31-Актюбинск и сейсмическими группами, установлен источник вторых по представительности инфразвуковых сигналов - микробаромы, генерируемые стоячими волнами во время штормов. Оценены значения азимута прихода этих сигналов на инфразвуковую станцию IS31-Актюбинск ($285^\circ - 340^\circ$). Определена преобладающая частоты этих сигналов (0,14 Гц).

ВВЕДЕНИЕ

Прошло уже 8 лет с момента ввода в эксплуатацию инфразвуковой группы IS31 Актюбинск на северо-западе Казахстана. Эта станция входит в состав Международной системы мониторинга Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ). Группа состоит из 8 микробарометров MB2000, ее апертура - 2 км (рисунок 1).

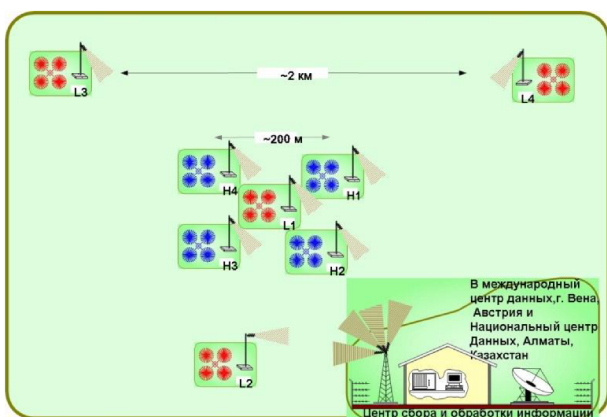


Рисунок 1. Конфигурация инфразвуковой группы IS31 Актюбинск

В непрерывном режиме станция ведет регистрацию инфразвуковых колебаний. Данные по спутниковому каналу в режиме реального времени передаются в Международный центр данных (МЦД) в г. Вена, а затем в казахстанский центр данных (КНЦД) в г. Алматы, где они систематически обрабатываются и анализируются.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ ПО ИНФРАЗВУКОВЫМ ДАННЫМ

Все данные, регистрируемые станцией из дня в день, обрабатываются и заносятся в автоматический бюллетень. Сформированный в результате расчетов, бюллетень представляет собой набор строк, расположенных в хронологическом порядке, каждая из которых включает информацию о параметрах события (время, азимут, скорость, частота, амплитуда).

По записям станции в автоматическом режиме производится поиск когерентных (синфазных) сигналов. Алгоритм поиска основан на методе прогрессивной многоканальной корреляции (РМСС) [1].

Главное достоинство метода заключается в выделении посредством поиска взаимной корреляции между записями разных элементов инфразвуковой или сейсмической группы сигналов, регистрируемых не одним, а несколькими ее элементами. Кроме того, метод позволяет выявлять сигналы от постоянно действующих источников. Анализ накопленного материала позволил составить представление об источниках инфразвука, сигналы от которых регистрирует станция. Построение азимутальных гистограмм регистрируемых событий (рисунок 2) показал, что существуют направления, по которым когерентные сигналы приходят регулярно. Так, при изучении, с использованием космоснимков, сигналов с азимутом прихода $185^\circ - 195^\circ$ было сделано предположение, что источником их является группа газовых факелов месторождения Жанажол. Установка в 2007 году второй инфразвуковой группы (временной) Акбулак и одновременная регистрация сигналов со станцией IS31-Актюбинск позволили однозначно подтвердить высказанное предположение [2].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ СИГНАЛОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПО ИНФРАЗВУКОВЫМ И СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

На северо-западе от станции находится источник, второй по представительности детектирований в бюллетенях. Статья посвящена изучению природы этого источника. Ранее [3] было сделано предположение, что, источником сигналов, приходящих из этого сектора, являются микробаромы. В пользу такой гипотезы свидетельствовали длительные перемены в регистрации этих сигналов и высокие кажущиеся скорости прихода.

Микробаромы – это класс атмосферных инфразвуковых волн, генерируемых океаническими штормами [4]. Сейсмический аналог микробаром – микросейсмы. Во время океанических штормов при определенных условиях образуются стоячие волны. Механизм генерации микробаром стоячими волнами показан на рисунке 3. Колебания толщи воды могут быть уподоблены поршню, совершающему возвратно-поступательные движения. Поднимаясь вверх, они образуют микробаромы, вниз — микросейсмы. Колебания, вызванные стоячими волнами, когерентны.

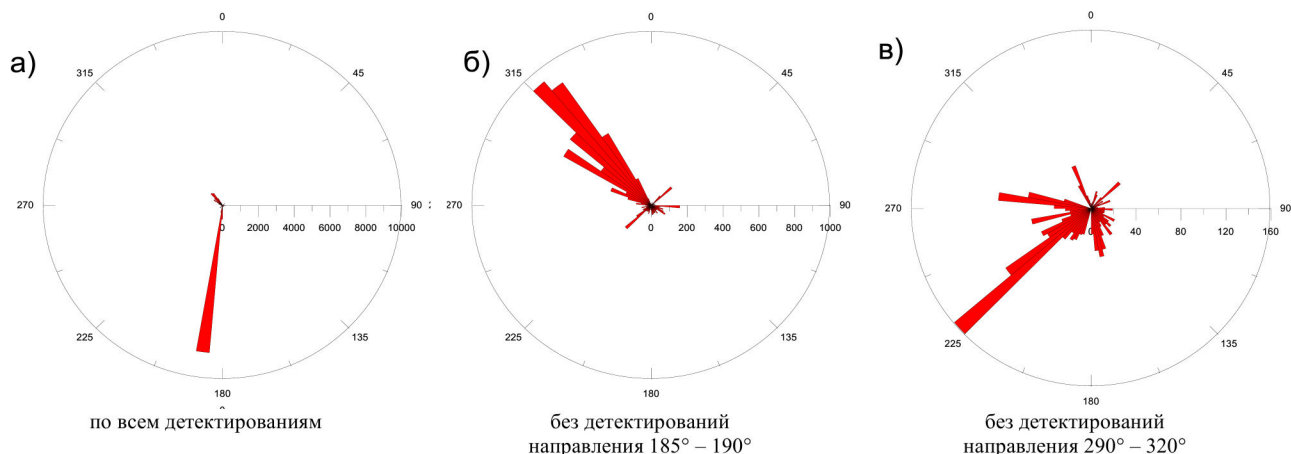


Рисунок 2. Азимутальное распределение детектирования за октябрь 2005 г.

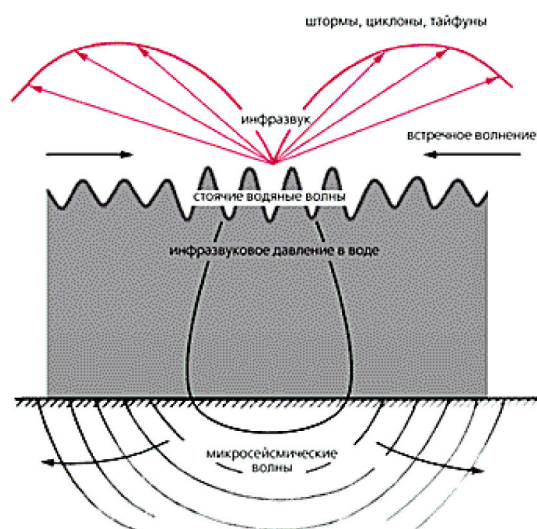


Рисунок 3. Схема образования микросейсм и микробаром [4]

Микросейсмы, вызванные стоячими водяными волнами движущихся циклонов, распространяются на большие расстояния. Их записывают все сейсмические станции мира, работающие в непрерывном режиме.

Для того чтобы подтвердить сделанное предположение о природе сигналов, приходящих с северо-запада, были изучены участки записей четырех станций сети НЯЦ РК. Это две сейсмические группы: Акбулак и AS057-Боровое и две инфразвуковые станции: IS31-Актюбинск и временная группа Акбулак. Сейсмическая группа Акбулак состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. На 9 пунктах в скважинах установлены 9 однокомпонентных сейсмометров GS21, кроме того, имеется одна широкополосная трехкомпонентная станция с сейсмометром KS54000 (ABK31). Сейсмическая группа AS057-Боровое имеет аналогичную конфигурацию. Временная инфразвуковая группа Акбулак располагалась на территории сейсмической станции Акбулак. Датчики были установлены на оголовках четырех приборных скважин в точках ABK01 – ABK04,

системы подавления ветровых помех, имеющие диаметр около 7 м были собраны из резиновых шлангов [2]. Наблюдения проведены в период за 21 – 23 октября 2007 года. Данные всех четырех станций были обработаны методом РМСС. Известно [5], что микробаромы и микросейсмы имеют характерные периоды около 7 секунд. Поэтому обработка велась в полосе частот от 0,07 до 0,48 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Результаты расчета азимута прихода сигналов представлены в виде двумерных гистограмм на рисунке 4. Плотность детектирования в зависимости от азимута и времени показана на рисунке в цвете.

Из рисунка 4 видно, что существуют направления, по которым регулярно приходят сигналы с периодами, характерными для микросейсм и микробаром. Сейсмическая группа Акбулак четко зафиксировала одно такое направление, имеющее азимут около 340°. Для сейсмической группы AS057-Боровое таких направлений уже не менее двух (следует отметить также недлинный максимум на гистограмме с азимутом около 120° 21 октября). Наибольшее количество различных направлений, по которым регулярно приходят сигналы, выделяется на гистограмме, построенной для станции IS31-Актюбинск. На гистограмме, построенной для временной инфразвуковой группы Акбулак таких направлений только два. Все станции, данные которых использованы в работе, находятся достаточно далеко от предполагаемых источников, поэтому логично предположить, что азимуты на эти источники для разных станций должны быть близки. В этой связи выделены несколько диапазонов азимутов, где все или большинство станций детектировали сигналы одновременно. Во-первых, это участок с азимутами близкими к 340°. Гистограммы по станциям Акбулак и IS31-Актюбинск показывают, что плотность детектирования в этой полосе значений на всех гистограммах возрастает с середины дня 22 октября.

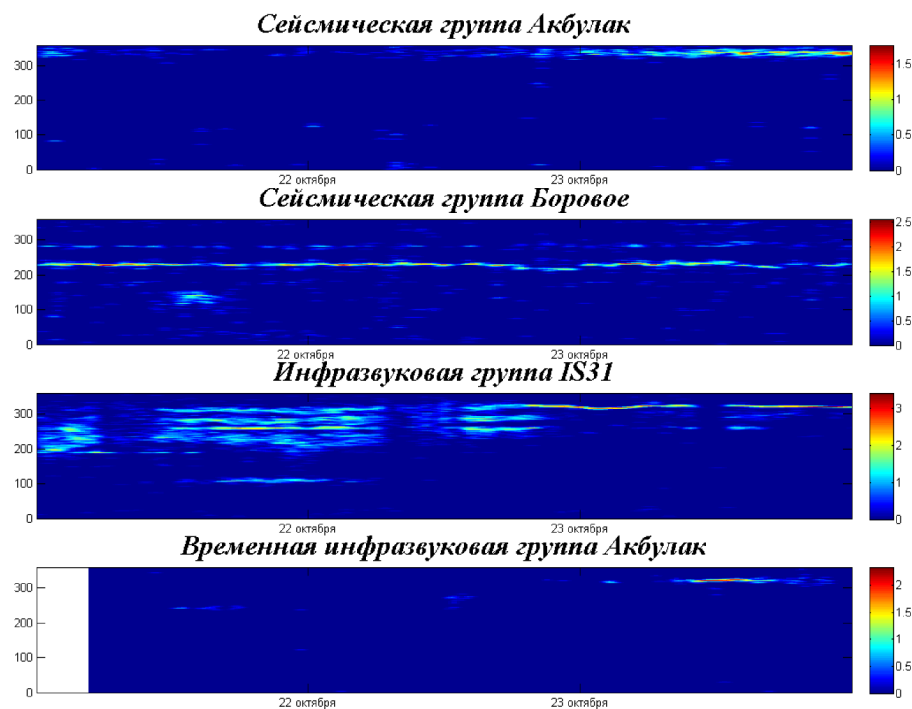


Рисунок 4. Двумерные гистограммы количества детектирований в зависимости от азимута и времени прихода сигнала

В это же время отдельные детектирования в этом диапазоне азимутов проявляются в записях станции AS057-Боровое. Сходство поведения и близость значения азимутов на этом участке дают основания полагать, что зарегистрированные скопления детектирований соответствуют одному и тому же источнику. Низкая частота, большая длительность и сам факт, что источник генерирует как сейсмические, так и инфразвуковые сигналы, позволяет с большой степенью вероятности считать, что эти станции сети НЯЦ РК в данном случае регистрируют микросейсмы и микробаромы. В диапазоне азимутов $100^\circ - 130^\circ$ все другие станции НЯЦ РК также имеют хотя бы одиночные детектирования. Для того чтобы определить азимуты на источники, а затем локализовать их, для всех четырех станций были построены гистограммы азимутального распределения детектирований (рисунок 5).

Для локализации источников были использованы азимуты только от сейсмических станций. Для точной локализации по инфразвуковым данным необходимо определить и ввести поправки за ветровой снос в верхних слоях атмосферы, что представляется задачей для будущих исследований. Азимуты на источники от двух сейсмических групп и координаты, определенные по ним, приведены в таблице 1.

Взаимное расположение станций и результаты локализации источников сигналов показаны на рисунке 6.

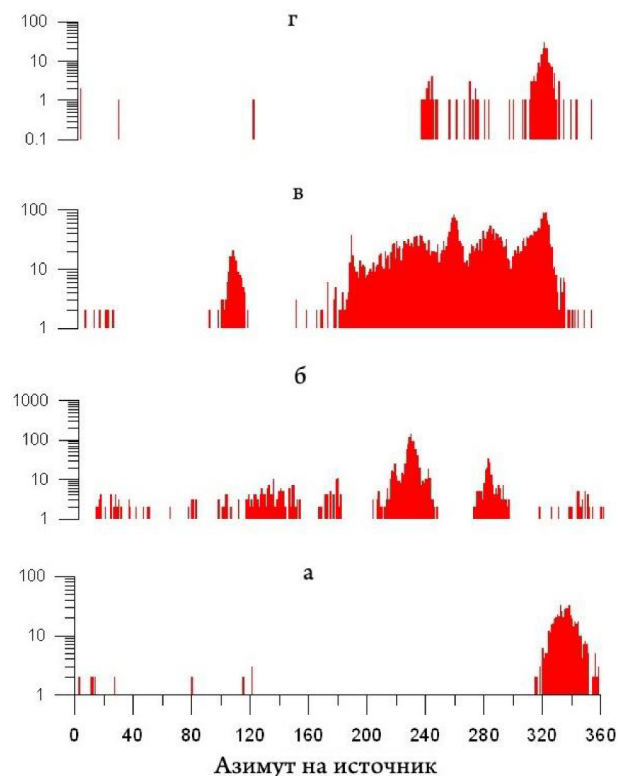
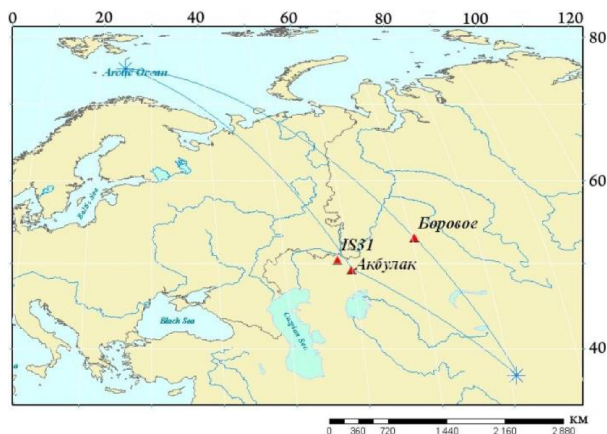


Рисунок 5. Гистограммы азимутального распределения детектирований по данным сейсмических групп: а – Акбулак, б – AS057-Боровое, и инфразвуковых групп: в – IS31-Актюбинск, г – Акбулак (временная)

Таблица 1. Результаты локализации мест генерации микросейсм и микробаром

Выделенное направление	Сейсмическая группа	Азимут на источник	Координаты источника	Район
1	Акбулак	340° С.Ш	75° С.Ш.	Баренцево море
	AS057-Боровое	340° В.Д.	25° В.Д.	
2	Акбулак	120° С.Ш	370° С.Ш.	Озеро Иссык-Куль
	AS057-Боровое	150° В.Д.	81° В.Д.	



✱ - эпицентры; ▲ - станции

Рисунок 6. Расположение станций Акбулак, AS057-Боровое и IS31-Актюбинск и мест генерации микросейсм и микробаром, локализованные по их данным

Сигналы от микробаром и микросейсм, генерируемые в Баренцевом море и на озере Иссык-Куль, были зарегистрированы 21 - 23 октября станциями Акбулак и AS057-Боровое (рисунок 4). Некоторое несходство картин регистрации микросейсм и микробаром на гистограммах можно объяснить двумя причинами. 22 октября повысилась плотность детектирования микробаром из Баренцева моря на гистограмме, полученной на IS31-Актюбинск, что, по-видимому, вызвано увеличением интенсивности штора. Детектирование микробаром с других направлений полностью прекратилось или значительно сократилось. Таким образом, регистрация интенсивных микросейсм или микробаром с одного направления может подавлять регистрацию с других направлений, как это произошло, например, на сейсмической станции Акбулак. Второй причиной может быть различная чувствительность станций. Яркой иллюстрацией этого может быть различие гистограмм инфразвуковых детектирования по станциям IS31-Актюбинск и Акбулак. Станции располагались не далее 200 км друг от друга. Было бы естественным ожидать большого сходства картин регистрации микробаром. Однако группы имели разное количество элементов: 8 - на IS31-Актюбинск и 4 - на станции Акбулак. Системы подавления ветровых помех на станции IS31-Актюбинск - более эффективные. В результате чувствительность IS31-Актюбинск выше, что позволило ей работать намного эффективнее.

Как уже говорилось ранее, задачей будущих исследований для инфразвуковых станций является расчет поправок за ветровойнос. Это позволит использовать инфразвуковые станции для локализации далеких событий. По использованным данным инфразвуковой станции IS31-Актюбинск и сейсмической группы AS057-Боровое это позволило бы локализовать еще как минимум два места генерации микросейсм и микробаром.

Изучение частотных характеристик сигналов, приходящих по различным направлениям, еще более ясно показало, что искомый сигнал характеризуется низкими частотами ($\approx 0,14$ Гц), совпадающими с периодами океанических микросейсм регистрируемых сейсмическими станциями (рисунок 7).

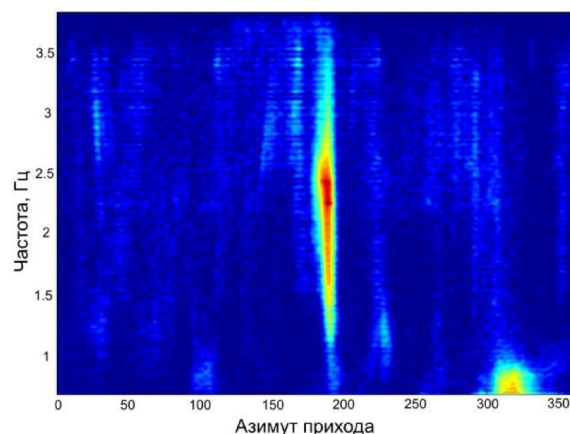


Рисунок 7. Частотная характеристика сигналов с различными азимутами прихода по инфразвуковой станции IS31-Актюбинск (2007 год)

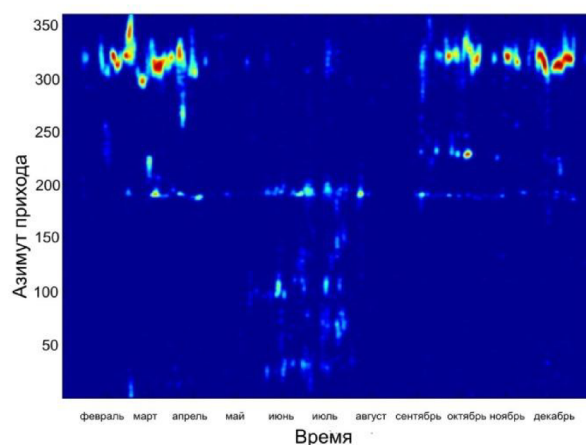


Рисунок 8. Временные вариации азимута прихода сигналов на инфразвуковую станцию IS31-Актюбинск

Построенные временные вариации азимута прихода низкочастотных сигналов за весь год, показали, что в инфразвуковых записях микробаром есть перемены, составляющие почти полгода (рисунок 8). Однако на сейсмических станциях регистрация микросейсм продолжалась. Объяснением этого факта может быть отсутствие отражающих горизонтов в атмосфере в этот период года, что не позволяет вести регистрацию сигналов на больших расстояниях.

На рисунке 9 в качестве итога показаны основные направления прихода низкочастотных инфразвуковых сигналов, установленные в результате проведенного анализа.

Как видно, северо-западное направление не является единственным. Аналогичные сигналы приходят также со стороны Каспийского моря и озера Иссык-Куль.

Таким образом, в результате совместного анализа инфразвуковых и сейсмических данных, регистрируемых инфразвуковыми и сейсмическими станциями в Западном Казахстане, установлен источник вторых по представительности инфразвуковых сигналов. Этими сигналами являются микробаромы, генерируемые стоячими волнами во время штормов. Микробаромы характеризуются преобладающими частотами примерно 0,14 Гц и азимутом прихода

340 градусов. Существуют периоды времени (весна - лето), когда регистрация этих сигналов на инфразвуковой станции прекращается в силу отсутствия в атмосфере отражающих горизонтов.

Разработанные методические подходы позволяют распознавать микробаромы среди тысяч других сигналов, вносимых в инфразвуковые автоматические бюллетени, и выделить их в отдельный класс событий при решении задач ядерного мониторинга.



Рисунок 9. Основные направления прихода низкочастотных сигналов на инфразвуковую станцию IS31-Актюбинск

ЛИТЕРАТУРА

1. Cansi, Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method / Y. Cansi //, Geophysical research letters. - 1995. - Vol. 22, N 9. - P. 1021 - 1024.
2. Smirnov, A. Preliminary Results of Localization and Characterization of Steady Infrasound Source as Detected by I31KZ / A. Smirnov [et al] // Infrasound Technology Workshop, Tokyo, Japan, 13 - 16 November 2007.
3. Дубровин, В. И. Идентификация источников инфразвуковых сигналов / В.И. Дубровин, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК, 2008. - вып. 3. - С. 85 - 89.
4. Табулевич, В.Н. Влияние штормовых вибраций на землетрясения / В.Н. Табулевич, Е.Н. Черных, Н.Н. Дреннова // Природа. - М.: Наука, 2002. - № 10. - С. 12 - 16.
5. Аки, К Количественная сейсмология / К. Аки, П. Ричардс. / М.: Наука, 1983. - С. 495.

ҚР ҰЯО СТАНЦИЯЛАР ЖЕЛІСІНІҢ ДЕРЕТЕРІ БОЙЫНША МИКРОСЕЙСМОЛАР МЕН МИКРОБАРОМДАРДЫ ТІРКЕУ ЖӘНЕ ПАРАМЕТРЛЕУ

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

IS31-Ақтөбе және сейсмикалық топтары арқылы жүргізілген ұзақ үздіксіз бақылауларын бірлескен талдау жолымен сенімділігі бойынша екінші болатын инфразвуктық сигналдардың көзі анықталған – теңіз дауылы кезінде тік толқындар өндіретін микробаромдар. Сол сигналдар IS31-Ақтөбе станциясына келетін азимуттары бағаланған (285° – 340°). Сол сигналдардың басым жиіліктері анықталған (0,14 Гц).

**RECORDING AND PARAMETRIZATION OF MICROSEISM
AND MICROBAROMS USING DATA OF NNC RK MONITORING NETWORK**

V.I. Dubrovin, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

According to data of continuous observations at IS31-Aktyubinsk infrasound station and seismic arrays the source of infrasound signals having the second class of representatively – microbaroms - was defined as a result of joint analysis. These signals were generated by standing waves during storms. Azimuths of the signals arrival at the infrasound station (285° – 340°) were evaluated. Dominant frequencies of these signals (0.14 Hz) were determined.

УДК 550.34

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ НЯЦ РК

Захарова О.В., Комаров И.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

На всех станциях сети НЯЦ РК в различных условиях (шахта, скважина, поверхность) установлены широкополосные трехкомпонентные сейсмометры. По результатам регистрации ими сейсмических волн исследованы спектральные характеристики шума отдельно для вертикальной и горизонтальных компонент. Получены модели шума, которые тяготеют к нижнему уровню мировой модели шума Петерсона. Установлено, что все станции сети НЯЦ РК, за исключением станции, установленной в центре данных (KNDC), имеют достаточно низкий уровень шума и обладают высокими мониторинговыми возможностями.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Казахстана функционирует новая сеть цифровых сейсмических станций Национального ядерного центра РК, предназначенная для слежения за ядерными испытаниями на зарубежных территориях. Данная сеть используется также для регистрации землетрясений и промышленных взрывов на территории республики и в прилегающих к ней областях (Россия, Китай, Кыргызстан и т.д.). Охват мониторингом большой площади связан с расположением станций по всей территории Казахстана (рисунок 1). Данные всей сети станций НЯЦ РК поступают в Казахский национальный центр данных (KNDC), где и происходит их обработка.

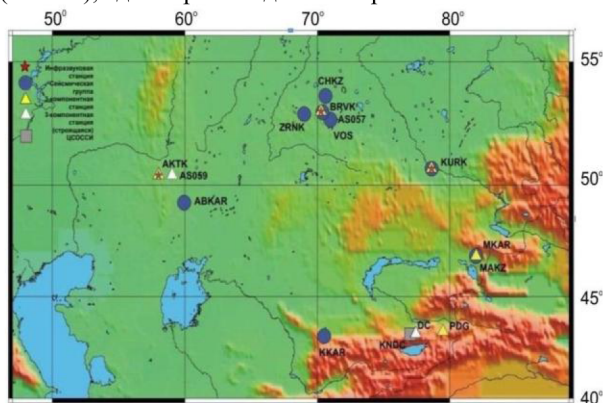


Рисунок 1. Сеть станций Национального ядерного центра Республики Казахстан

Важнейшей характеристикой и показателем эффективности работы каждой из станций является спектральная характеристика ее сейсмических шумов. Эта характеристика дает возможность оценить качество записей событий, чувствительность станции, а также возможность следить за исправностью работы сейсмометров. Существующие мировые модели шума справедливы для всех сейсмических станций мира: две спектральные кривые NHNM (New High-Noise Model) и NLNM (New Low-Noise Model) являются пределом (ограничением) допустимых значений шума (рисунок 2). В статье приведены результаты анализа динамических характеристик сейсмического шума для каждой станции НЯЦ РК, рассмотрены их вариации, а также проведено сравнение параметров шума для разных станций между собой.

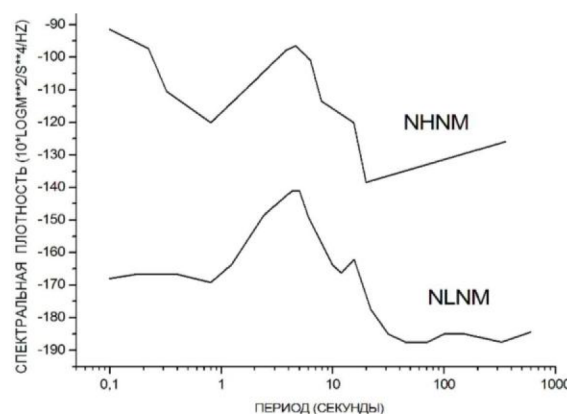


Рисунок 2. Мировая спектральная модель сейсмического шума: NLNM(нижне-) и NHNM(верхне-уровневая)

ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ ДЛЯ СТАНЦИЙ

Использованы сейсмические записи станций НЯЦ РК за 2005 - 2007 гг. Для получения спектральных моделей шума применена разработанная ранее методика [1]. По каждой станции создавались выборки отрезков сейсмических записей длиной по 10 мин. В каждую выборку входило не менее 100 отрезков записей. Отдельно группировались и изучались записи дневного и ночного шума. Дневным периодом считалось местное время от 7 до 19 ч, ночным – от 19 до 7 ч. В таблице 1 приведена информация о 8 станциях, данные которых были использованы в проведенных исследованиях.

По результатам расчетов, проведенных по каждой горизонтальной компоненте для дня и ночи, были получены наборы спектральных кривых сейсмического шума в диапазоне периодов от 0,05 до 100 с. В качестве параметров, характеризующих распределения, использованы медиана и перцентили. Медианные спектральные кривые являются наиболее вероятными характеристиками сейсмического шума станции. Также построены собственные спектральные модели шума для каждой станции. На рисунке 3 в качестве примера приведены результаты оценки параметров шумов для одной из горизонтальных компонент (N-S) по дневным отрезкам записей, выполненных станцией AS058-Курчатов.