

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-82-93>

УДК 550.342.001

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ ШУМОВ ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Ю.А. Смирнов, А.А. Смирнов, Н.Н. Михайлова

*Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

*E-mail для контактов: yu.smirnov@kndc.kz*

По волновым формам станций сети НЯЦ РК с помощью программного обеспечения PQLX рассчитаны спектральные характеристики сейсмического и инфразвукового шума. Результаты расчетов сопоставлены с моделями сейсмического шума Петерсона и инфразвукового шума Брауна. Проведен анализ суточных и сезонных вариаций шума. Особое внимание уделено закономерностям изменения уровня в области микросейсмического максимума. Наблюдаемые особенности хорошо объясняются положением и динамикой источников микросейсм и микробаром, расположенных в Северной Атлантике.

**Ключевые слова:** сейсмический и инфразвуковой шум, спектральная плотность, микросейсм, микробаромы, уровень, вариации.

### ВВЕДЕНИЕ

Сеть станций мониторинга Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК) является сравнительно новой сетью, созданной Институтом геофизических исследований НЯЦ РК в сотрудничестве с рядом международных и зарубежных организаций за последние менее чем три десятилетия. Ее основу составили станции, расположенные на территории Казахстана и входящие ранее в Службу спецконтроля Министерства обороны СССР, а также в спецсектор ИФЗ АН СССР, занимавшиеся задачами мониторинга ядерных испытаний. Толчком к созданию сети в Национальном ядерном центре РК явились подписание в 1996 г. и ратификация в 2001 г. Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) и заключение ряда международных соглашений. В соответствии с этими документами в Казахстане должны были быть созданы объекты, входящие в состав Международных систем мониторинга для контроля выполнения ДВЗЯИ. За достаточно небольшой период 1999–2016 гг. в Казахстане построены и введены в эксплуатацию современные цифровые сейсмические и инфразвуковые станции, с 1999 г. начал функционировать Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, выполняющий функции Казахстанского национального центра данных в Международной системе мониторинга ДВЗЯИ.

Сеть НЯЦ РК имеет ряд особенностей.

– Станции сети НЯЦ РК создавались в местах независимо от уровня сейсмичности площадки, но главным требованием являлось то, чтобы место расположения площадки было тихим с точки зрения сейсмических шумов. Большая часть станций расположена в считавшихся ранее асейсмичными районах по периметру всего Казахстана.

– Станции сети НЯЦ РК в основном представлены сейсмическими группами, включающими от 10 до

21 элементов в каждой. В составе сейсмических групп, как правило, имеется одна широкополосная трехкомпонентная станция и 9–20 однокомпонентных станций (вертикальные каналы).

– Спецификой сети мониторинга НЯЦ РК является и то, что в состав этой сети входят не только сейсмические, но и инфразвуковые станции, что позволяет расширить круг регистрируемых событий, повысить достоверность распознавания их природы, улучшить точность локации источников.

Сеть станций НЯЦ РК является казахстанским сегментом глобальной системы контроля за ядерными испытаниями. Ее данные передаются в ряд международных центров данных, таких, как IDC, ISC, EMSC, IRIS/DMC. Практика показала, что сейсмические станции Казахстана достаточно высокочувствительны как в региональном, так и глобальном мониторинге.

Одним из важнейших критериев чувствительности сейсмических станций мониторинга является уровень сейсмического шума. Его исследования проводятся на разных этапах создания и работы станций. Так для выбора площадок под строительство новых станций, обоснования апертуры сейсмических групп обязательно изучаются сейсмические шумы. Примером такой работы может быть изучение шумов для станции AS057-Боровое [1]. Во время эксплуатации станций для повышения эффективности обработки сейсмических данных также проводятся исследования модели шума и его вариаций. Мониторинг характеристик шума позволяет отслеживать изменяющуюся обстановку в районе станций, что может помочь в выявлении новых источников шумов вблизи станций, например, связанных с работой каких-либо промышленных производств и т.д. Можно также отметить такой важный аспект изучения шума, как контроль работы регистрирующих каналов. Систематическая оценка параметров шума является инструмен-

том выявления любых существенных изменений в параметрах аппаратуры.

Низкий уровень сейсмического шума прямо связан с эффективной чувствительностью станции, с её способностью обнаружения слабых сейсмических сигналов, а также точностью определения параметров источников. Для инфразвуковых станций в факторах, определяющих их эффективность, есть существенное отличие от сейсмических станций. Большое влияние на два основных аспекта эффективности инфразвуковой сети оказывает изменение атмосферных параметров. Первый связан с наличием волноводов для инфразвуковых фаз, который влияет на чувствительность станции. Он определяется, в основном, высотными профилями горизонтальных компонент скорости ветра и температуры в тропосфере и стратосфере. Карты чувствительности инфразвуковых сетей доступны в литературных источниках, например, [2]. Вторым аспектом эффективности является точность локализации эпицентров событий. Точность локализации существенно зависит от точности определения двух параметров – фазовых скоростей и баказимитов сигналов, точность оценки которых также зависит от параметров атмосферы. Для учета влияния изменения параметров атмосферы на точность локализации предложено использовать Байесовский подход, основанный на учете при локализации априорных данных о распределении ошибок определения баказимитов и фазовых скоростей – приоров. На практике рассчитываются предварительные карты значений приоров в зависимости от эпицентрального расстояния и баказимута.

Ранее для сейсмических станций НЯЦ РК уже проводились исследования динамических характеристик шумов [3, 4]. В данной работе проведено исследование спектральных моделей шума для более широкого круга сейсмических станций и с применением другой методики. Изучение инфразвуковых шумов по станциям НЯЦ РК проведено впервые.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ СТАНЦИЙ НЯЦ РК.

Сеть сейсмических станций НЯЦ РК представлена станциями, часть которых входит в различные глобальные сети, а часть относится только к НЯЦ РК. Независимо от принадлежности станций разным сетям все данные в непрерывном режиме поступают в Центр данных в г. Алматы (KNDC), где архивируются и обрабатываются. Всего в настоящее время в составе сейсмической сети функционируют 5 сейсмических групп и 8 трехкомпонентных станций.

На рисунке 1 показана схема расположения станций на территории Казахстана.

В Международную сеть мониторинга (МСМ) ОДВЗЯИ входят сейсмические группы Маканчи (МКАР) – первичная станция МСМ, Боровое (BVAR) – вспомогательная станция МСМ, Курчатов-Крест (KURK) – вспомогательная станция МСМ; трехкомпонентная сейсмическая станция Актюбинск

(АКТО) – вспомогательная станция МСМ. В международную сеть станций АФТАС (Агентство прикладных технологий воздушных сил США) входят сейсмические группы Акбулак (АВКАР) и Каратау (ККАР). Сейсмические группы имеют различную конфигурацию и апертуру [5]. Так, конфигурация четырех групп (Маканчи, Боровое, Каратау, Акбулак) представляет собой условно две концентрические окружности с размещенными вдоль них девятью элементами (вертикальные сейсмометры) и центральный элемент (трехкомпонентный сейсмометр). Апертура их составляет 3–4 км. Это, так называемые, малоапертурные сейсмические группы (рисунок 2, а). Сейсмическая группа Курчатов-Крест [5] имеет конфигурацию в виде двух взаимно ортогональных профилей с 21 размещенными элементами (20 вертикальных сейсмометров, 1 центральный – трехкомпонентный сейсмометр) (рисунок 2, б). Апертура группы составляет 22,5 км.

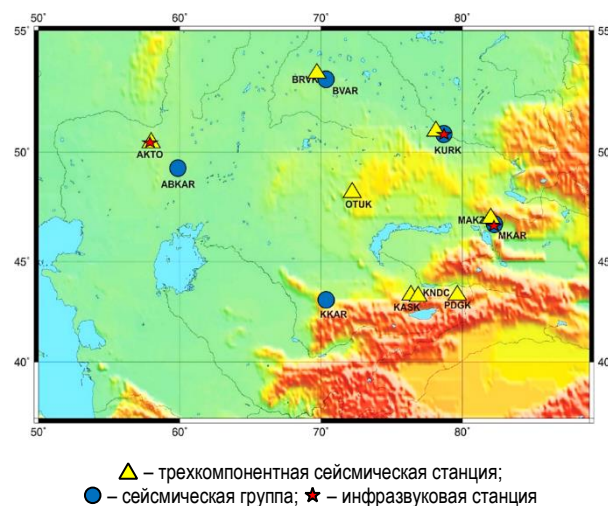


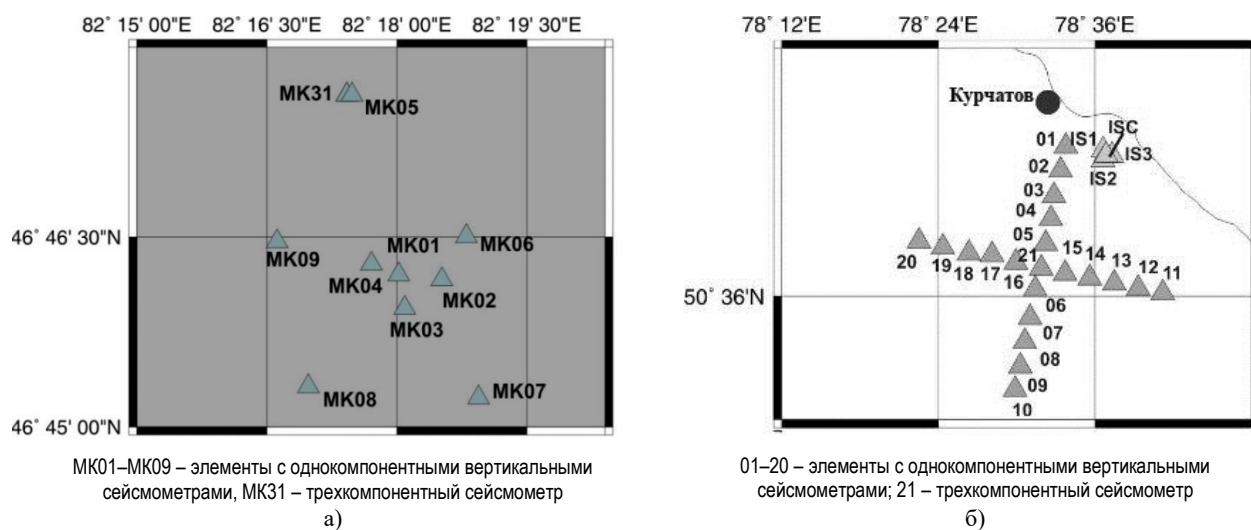
Рисунок 1. Схема расположения сейсмических и инфразвуковых станций РГП ИГи

В глобальную сеть наблюдений IRIS (международный консорциум сейсмологических институтов) входят три трехкомпонентные станции – Боровое (BORK), Курчатов (KURK), Маканчи (MAKZ). К сети НЯЦ РК относятся трехкомпонентные станции KNDC, Подгорное (PDGK), Ортау (OTUK), Каскелен (KASK). В таблице 1 приведены некоторые характеристики установленного на станциях оборудования.

Сеть инфразвуковых станций НЯЦ РК представлена тремя инфразвуковыми группами.

В соответствии с ДВЗЯИ в Казахстане было предусмотрено строительство одной инфразвуковой станции МСМ (IS31-Актюбинск). Станция построена и начала передавать данные в 2001 г. Она расположена в районе поселка Тассай Хромтауского района Актюбинской области. В архиве Казахстанского национального центра данных (KNDC) хранятся данные станции, начиная с декабря 2003 г.

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ ШУМОВ ПО ДАННЫМ  
СТАНЦИЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**



*Рисунок 2. Конфигурация сейсмических групп Маканчи (а) и Курчатов-Крест (б)*

*Таблица 1. Сейсмические станции сети НЯЦ РК и типы установленного на них оборудования*

Станция и принадлежность к сети	Код	Тип станции	Тип сейсмометра	Условия установки
Маканчи (IMS)	MKAR (PS23) MK 31 MK01-MK09	сейсмическая группа трехкомпонентная однокомпонентные вертикальные	CMG-3TB GS21	скважина 61 м скважины 31 м
Маканчи (IRIS/GSN)	MAKZ	трехкомпонентная	STS-2	штольня
Курчатов (IMS)	KUR (ASO 58) KURBB KUR01-KUR20	сейсмическая группа трехкомпонентная однокомпонентные вертикальные	CMG-3TB CMG-3V	скважина 52 м скважины 26–52 м
Курчатов (IRIS/IDA)	KURK	трехкомпонентная	STS-1, STS-2 STS-5A, STS-6	до 1.09.2019 г. шахта 25 м с 1.09.2019 г. скважина 41 м
Амбулак (AFTAC)	ABKAR AB31 AB01-09	сейсмическая группа трехкомпонентная однокомпонентные вертикальные	KS 54000 GS 21	скважины 80 м
Боровое (IMS)	BVAR BVA0 BVA1-9	сейсмическая группа трехкомпонентная однокомпонентные вертикальные	CMG-3TB GS 21	скважина 62 м скважины 30–53 м
Каратау (AFTAC)	KKAR KK31 KK01-09	сейсмическая группа трехкомпонентная однокомпонентные вертикальные	CMG-3TB GS 21	скважина 60 м скважины 50 м
Актюбинск (IMS)	AKTO	трехкомпонентная	CMG-3TB	скважина 65 м
Боровое (IRIS/IDA)	BORK	трехкомпонентная	STS-5A STS-6	с 22/08 2019 г. скважина 65 м
KNDC	KNDC	трехкомпонентная	CMG-3ESPC, CMG-5T	бункер, глубина 2 м
Ортау	OTUK	трехкомпонентная.	CMG-3ESPC, CMG-5T	бункер, глубина 2 м
Подгорное	PDGK	трехкомпонентная	Trillium Compact Titan 4G	бункер, глубина 0 м
Каскелен	KASK	трехкомпонентная.	CMG-5TC	бункер, глубина 1 м

В плане инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск» представляет собой треугольник, образованный элементами Н7-Н9, со стороной 2 км и с центральной точкой Н1, окруженной дополнительной группой элементов, выполненной в виде квадрата со стороной около 200 м (рисунок 3) [6].

До осени 2019 года для регистрации на станции использовались инфразвуковые датчики – микробарометры MB2000, которые были установлены в бун-

ках вместе с дигитайзерами Aubrac. Всего таких приборных сооружений было восемь. Системы Н и L различались конструкциями устройств для подавления ветровых помех. Осенью 2019 года совместно с МСМ ОДВЗЯИ была проведена модернизация станции. Был добавлен еще один девятый элемент, системы подавления ветровых помех были унифицированы. В таблице 2 представлены характеристики инфразвуковых станций.

Таблица 2. Характеристики инфразвуковых станций сети НЯЦ РК

Станция	Код	Тип станции	Тип микробарометра	Условия установки
Актюбинск	IS31	инфразвуковая	MB2000 (до 2019 г.) MB-3 с осени 2019 г.	бункер 0 м
Курчатов	KURIS	инфразвуковая	MB2005	бункер 4 м
Маканчи	MKIAR	инфразвуковая	Chaparral Physics Model 25	бункер 0 м

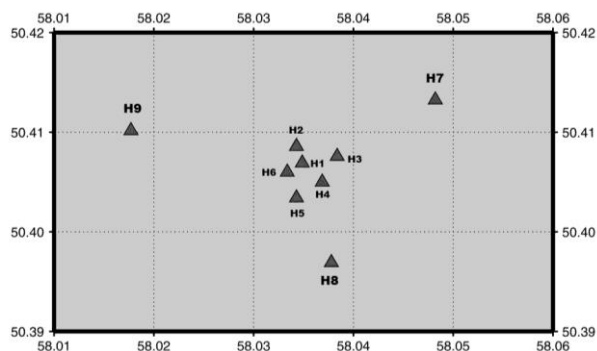


Рисунок 3. Схема размещения элементов инфразвуковой группы IS31

В 2010 году была произведена модернизация перешедшей к ИГИ НЯЦ РК от Службы специального контроля СССР инфразвуковой станции «Курчатов» [7]. По сути, была построена новая станция, не уступающая по своим возможностям станциям, входящим в состав МСМ. Впоследствии была налажена автоматическая локализация эпицентров инфразвуковых событий по данным двух казахстанских инфразвуковых групп IS31 и Курчатов и одной российской группы IS46 Залесово, расположенной в России недалеко от казахстанско-российской границы. Станция IS46 Залесово, также как и IS31 Актюбинск, входит в состав МСМ. На рисунке 4 показана схема размещения элементов инфразвуковой группы KURIS-Курчатов.

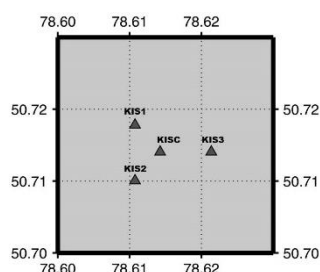


Рисунок 4. Схема размещения элементов инфразвуковой группы KURIS-Курчатов

В августе 2016 года на востоке Казахстана была открыта новая инфразвуковая группа MKIAR-Маканчи [8]. На рисунке 5 показана схема размещения элементов этой группы. Её данные также включены в автоматическую обработку мониторинговой сети.

Элементы инфразвуковой группы Маканчи (MKIAR) размещены внутри периметра сейсмической группы Маканчи, превышающей её по апертуре.

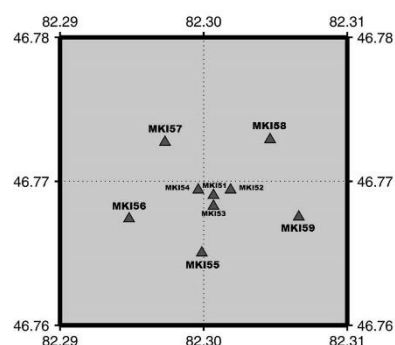


Рисунок 5. Схема размещения элементов инфразвуковой группы MKIAR-Маканчи

Геометрически группа представляет собой две концентрические окружности диаметрами около 1 км и 250 метров. Инфразвуковые датчики – микробарометры Chaparral Physics Model 25 – установлены в бункерах вместе с дигитайзерами AIM24S. Всего таких приборных сооружений девять. В плане это центральная станция MKI151, вокруг нее расположены 4 станции, остальные 5 станций установлены по большому кругу (рисунок 5). Ко входам микробарометров подключены устройства подавления ветровых помех. Ветрозащитные устройства на элементах группы аналогичны 18-метровым системам, используемым в Курчатове и IS31 [6, 7].

## 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА

Описываемые в этой статье результаты получены при помощи программного обеспечения (ПО) PQLX [9]. По сравнению с ранее использованной методикой в работе [3], это ПО обладает следующими преимуществами:

- значительно более высокая скорость расчёта спектральных характеристик;
- возможность обрабатывать большие по продолжительности интервалы записи, что позволяет получать статистически более надёжные результаты (например, 1400 часовых отрезков в новом исследовании против 20 получасовых отрезков в старом);
- представление результатов в виде функции плотности вероятности делает необязательной предварительную отбраковку участков с записями землетрясений, так как они практически не влияют на расчет медианы выборки;
- размещение результатов в базе MySQL позволяет делать любые запросы к базе для анализа спектральных кривых по годам, месяцам, дням и часам (например, данные за ночные часы определённого года, месяца и дня);
- имеется возможность создавать проекты для любого количества станций в непрерывном интервале времени.

Кроме того, в отличие от предыдущего исследования сейсмических шумов для сейсмических групп были изучены спектральные характеристики шума не только по компонентам трехкомпонентной станции, но и по однокомпонентным элементам группы, что является важным для оценки эффективности станций при обнаружении сигналов.

ПО PQLX состоит из серверной и клиентской частей и включает в себя также средства для извлечения данных из базы и управления информацией. При наличии волновых форм и респонсов аппаратуры, PQLX сервер вычисляет статистику по трассам, проводит расчёт кривых спектральной плотности (Power Spectral Densities - PSD) и функций плотности вероятности (Probability Density Functions – PDF), помещая результаты в базу MySQL для быстрого доступа.

PQLX client используется для доступа к результатам и включает графическую оболочку, состоящую из 3-х частей:

1) *Trace Viewer*: позволяет просматривать трассы, применять фильтры и вычислять спектр.

2) *PDF Viewer*: предоставляет доступ к информации PSD и PDF в базе данных. PDF визуализируется с использованием предустановленного пользователем временного окна. Имеется встроенная возможность построения медиан, максимальных, минимальных значений и персентилей.

3) *Station Viewer*: после подключения к базе данных визуализирует статистику трасс, информацию о наличии волновых форм и PDF. Волновые формы не хранятся в базе MySQL и должны быть доступны через файловую систему или Веб-сервис.

Спектральные кривые были рассчитаны по всем сейсмическим группам Акбулак, Боровое, Каратау, Курчатов-Крест, Маканчи и трёхкомпонентным станциям MAKZ, AKTO, KNDC, OTUK и PDGK. По группам спектры изучались для вертикальных короткопериодных датчиков и для всех компонент трёхкомпонентных станций. PSD рассчитывались по данным наборам кривых спектральной плотности за месяц в окне длиной 1 час, с перекрытием 50 процентов.

Используемые нами в расчетах волновые формы были представлены в формате mini-SEED, метаданные в формате SEED RESPONSE. Результаты представлены в формате PNG и включают рассчитанные PSD, PDF и прочую сопутствующую информацию. Расчет PSD проводился в диапазоне периодов 0–183 сек. Все волновые формы и метаданные для расчетов были получены с сайта IRIS/DMC [10].

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА ПО СТАНЦИЯМ НЯЦ РК.

#### 3.1. Сравнение спектральных кривых сейсмического шума по двум методикам расчета

В работе [3] оценка спектральных характеристик шумов производилась более 15 лет назад с помощью другой методики и другого ПО. Для получения спектральной модели шума создавались выборки из отдельных отрезков сейсмических записей длиной 10 минут. В каждую выборку входило не менее 20 отрезков записей. Отдельно изучались модели дневного и ночного шума. Для анализа использовалась программа POWER, любезно предоставленная Центру данных сотрудником LDEO Вон-Янг Кимом. На вход программы подавались участки записи, свободные от землетрясений, выбранные на основании визуального контроля и анализа каталогов землетрясений мира, скорректированные за характеристики приборов. В результате расчетов отдельно для каждой станции, каждой компоненты, для дня и ночи были получены наборы спектральных кривых сейсмического шума. Для каждой выборки рассчитанных PSD находилась медиана всех спектров, которая далее считалась моделью спектра шумов для данной станции.

Сравнение спектральных кривых шума для одних и тех же станций, полученных в результате предыдущего и настоящего исследований (рисунок 6), показывает, что они хорошо согласуются между собой, т.е. новое исследование является логическим продолжением предыдущих.

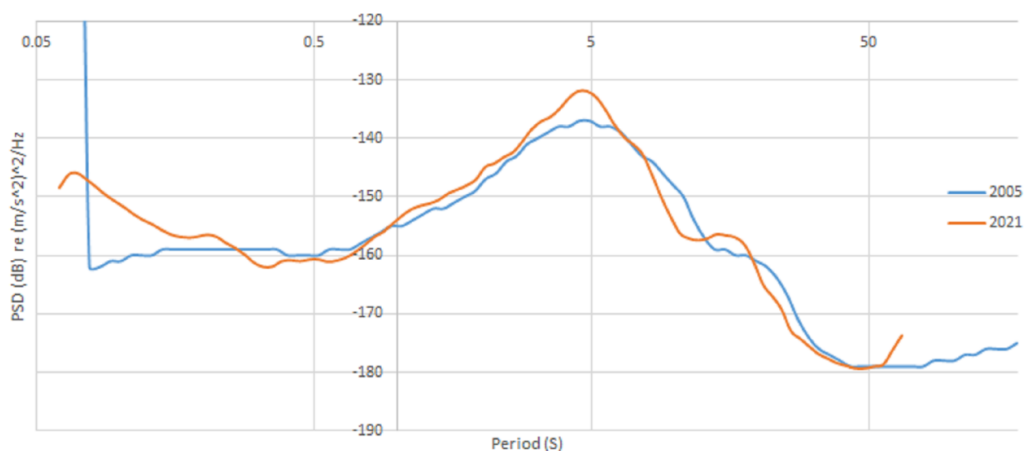


Рисунок 6. Сравнение PSD шума для вертикальной компоненты трехкомпонентного сейсмометра группы MKAR, полученных в результате исследования 2005 года и настоящего исследования



### 3.2. Изучение суточных и сезонных вариаций сейсмического шума.

Для всех станций рассчитывались индивидуальные почасовые графики спектральных кривых шума PSD с перекрытием в полчаса, по которым затем проводились расчеты медианы и персентилей, показанных на рисунках разным цветом. Примеры полученных для сейсмической группы Акбулак графиков представлены на рисунке 7. Расчеты произведены за два месяца 2017 года – один летний (июль 2017 года) и один зимний (декабрь 2017 года). На рисунке 7 приведены индивидуальные почасовые графики PSD шума, а также медианы для всей выборки с соответ-

ствующими персентильями для вертикального канала AB01.

Черными линиями на графиках показаны нижеуровневая NLNM и верхнеуровневая NNNM модели Петерсона [11]. Как видно, медиана выборки спектров близка к нижеуровневой модели на значительном диапазоне периодов, включая интервал, характерный для сигналов от близких и региональных событий.

На рисунке 8 приведен сводный график медиан спектров шума для всех сейсмических станций по волновым формам, полученным в дневное время с 01 до 13 часов GMT.

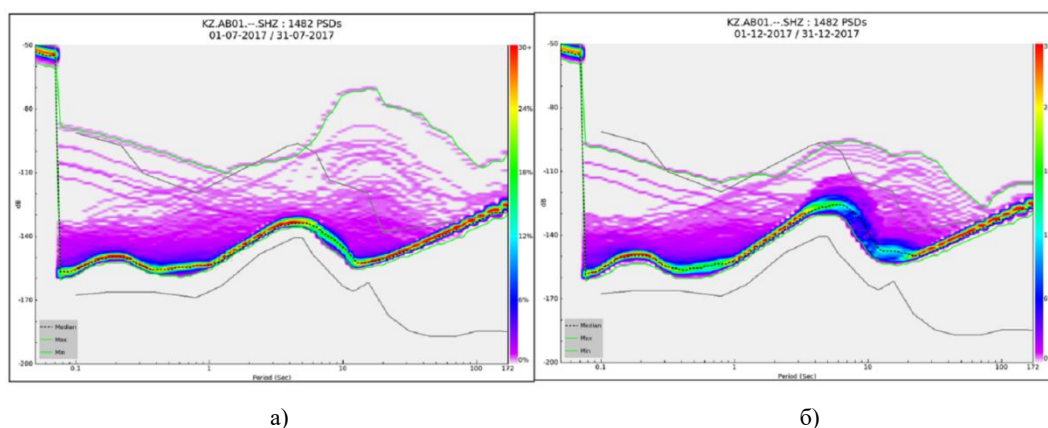


Рисунок 7. PSD шума для вертикального короткопериодного канала AB01 группы ABKAR. Слева приведены результаты расчета по данным за июль 2017 г., справа – за декабрь 2017 г.

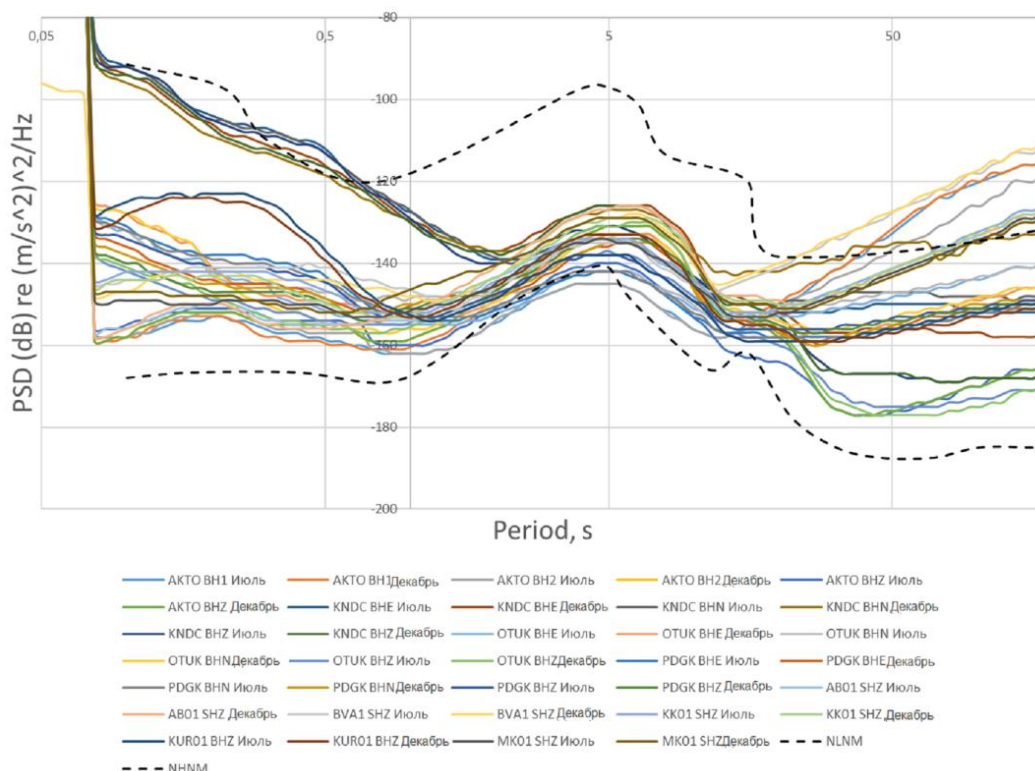


Рисунок 8. Медианы спектров шума для всех сейсмических станций по волновым формам (дневное время) для двух сезонов – лето и зима

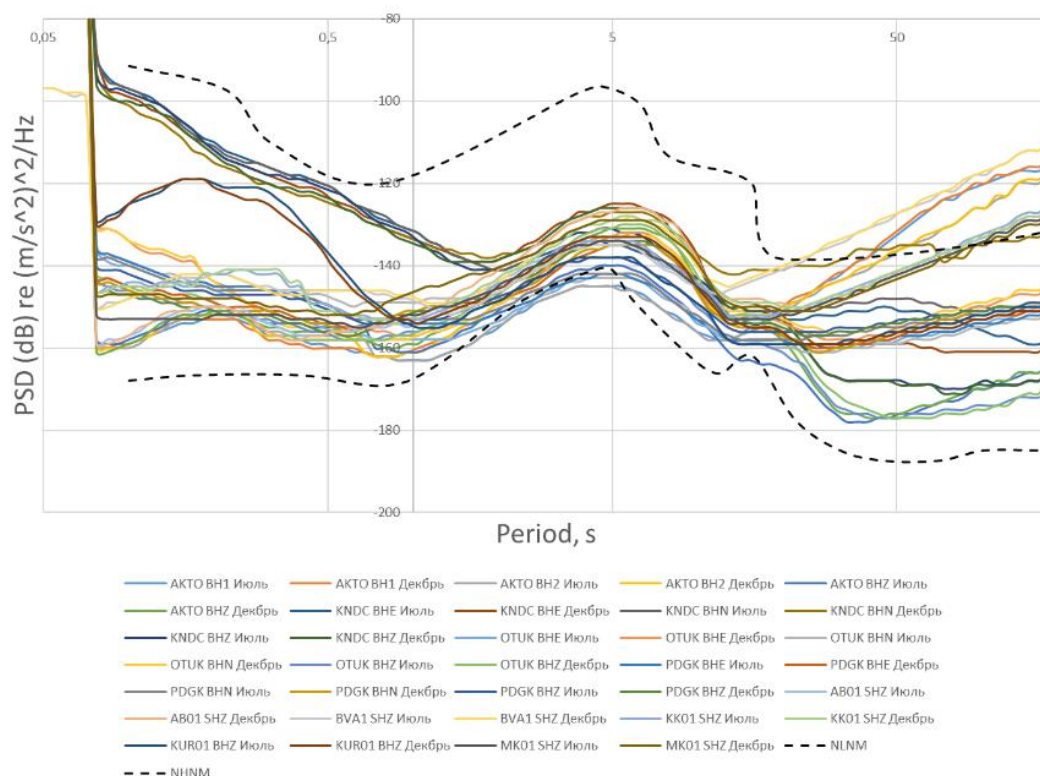


Рисунок 9. Медианы спектров шума для всех сейсмических станций по волновым формам (ночное время) для двух сезонов – лето и зима

На рисунке 9 приведен сводный график медиан спектров шума для всех сейсмических станций по волновым формам, полученным в ночное время с 13 до 01 часов GMT.

Из рисунков 8 и 9 видно, что в районе пика микросейсм на периоде ~5 с форма спектральных кривых для всех станций похожа, на более низких и более высоких периодах на разных станциях отмечаются специфические особенности. На малых периодах особенно «отскакивают» вверх кривые для всех компонент станции KNDC, установленной рядом с Центром данных в шумном месте в г. Алматы, причем в дневное время уровень шума значительно выше, чем в ночное. Высокий уровень шума наблюдается также на малых периодах по станции Курчатов-Крест, установленной недалеко от железной дороги. Поскольку интенсивность железнодорожных перевозок не зависит от времени суток, уровень шумов в ночное время на этой станции даже превышает дневной. На всех остальных станциях дневной шум закономерно интенсивнее ночного.

В районе микросейсмического пика ~5 с амплитуды всех станций в декабре выше, чем в июле. Сравнение в этой области только спектров малоапертурных групп (Маканчи, Акбулак, Каратау, Боровое) (рисунок 10) показывает, что для однотипных станций можно выделить две характерные черты. Уровень шума в декабре в районе 5 с существенно выше, чем в июле, и в зимнее время уровень шума законо-

мерно уменьшается от максимума на станции ABKAR до среднего на станциях KКАR и BVAR и самого низкого на МКAR. В летнее время шум на пике одинаков для ABKAR, KКАR и МКAR, самое низкое значение у BVAR.

На рисунке 11 представлен график сравнения спектрального уровня шума на разных периодах для одной из станций сети – Акбулак (AB01). Такие графики построены для всех станций сети. На них показаны уровни шума для лета и зимы, а также для каждого сезона отдельно для дня и ночи.

Сделаны выводы о количественных изменениях уровней шума в разных частотных диапазонах. Так максимальные вариации уровня шума от зимнего времени к летнему на периодах в районе микросейсмического пика (~5 с) достигают значений для станций AB01– 8,625 dB, BVA1– 7,125 dB, KКА01 – 6 dB, KUR01– 6 dB, МК01 – 6,125 dB. Отмечено уменьшение диапазона вариаций шума от самых западных станций к восточным и южным.

Таким образом, изучение характеристик сейсмического шума показало, что для всех сейсмических групп есть ряд общих черт в спектральных характеристиках:

- Для всех групп на больших периодах медианное значение спектральной плотности выходит за пределы верхней модели сейсмического шума Петерсона [11];

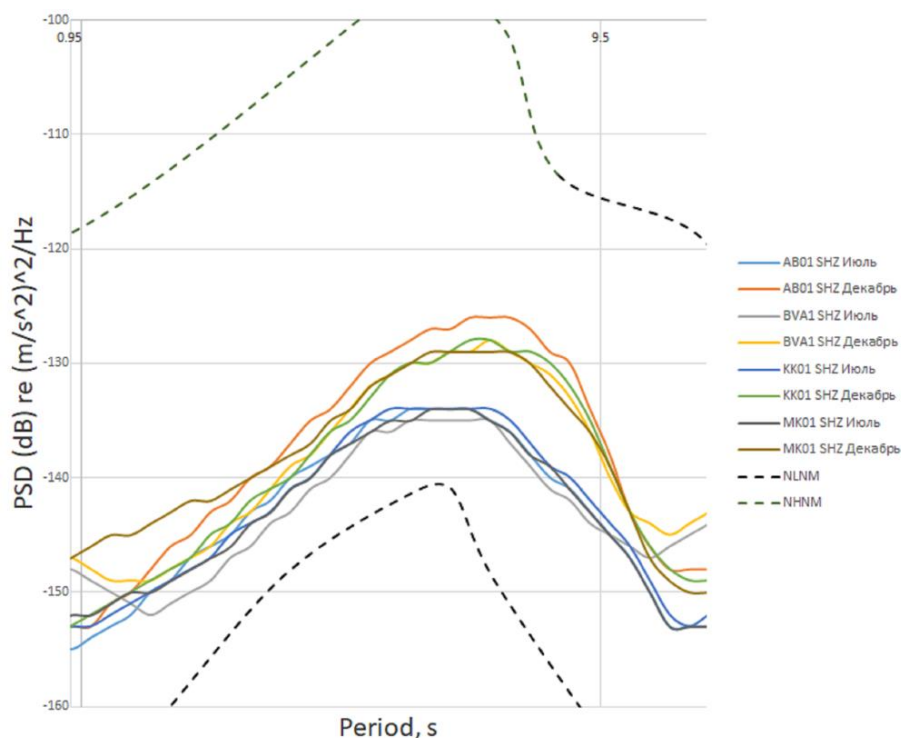


Рисунок 10. Сравнение спектров шума разных малоапертурных групп в диапазоне периодов 0,95–15 с

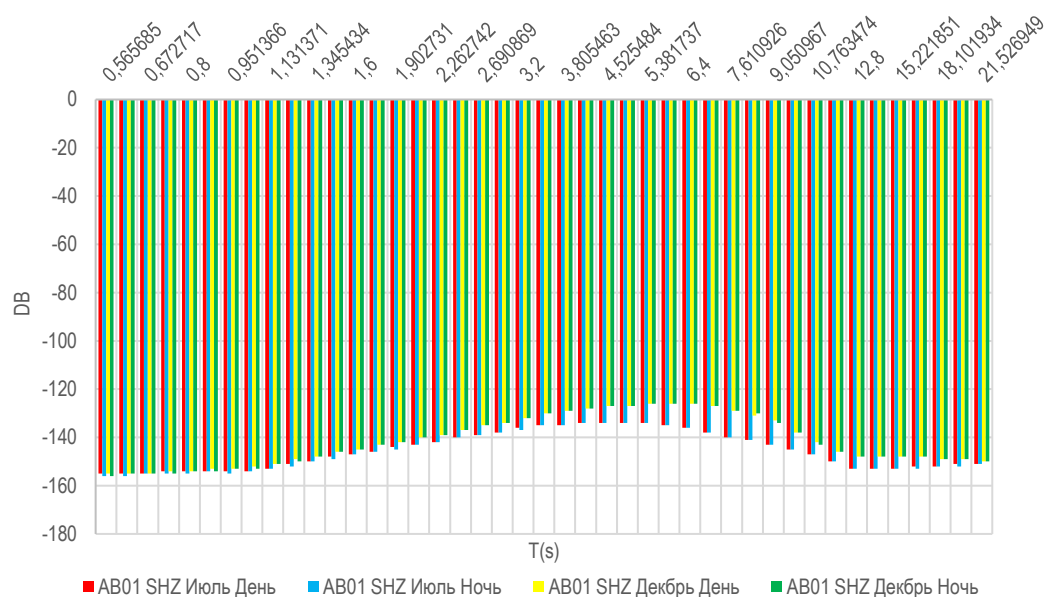


Рисунок 11. Сравнение уровней спектров сейсмических шумов летом и зимой, днём и ночью для станции Акбулак AB01

- Для всех станций в летнее время уровень шумов в районе микросейсмического пика близок к уровню нижней модели Петерсона;
- Для всех станций в зимнее время уровень шумов в районе микросейсмического пика выше уровня летнего шума;
- Абсолютный уровень сейсмического шума в микросейсмической полосе частот (0,1–0,4 Гц) понижается по мере удаления станций от основного региона источников микросейсм – Северной Атлантики;

- Для всех станций уровень шума в дневное время выше, чем в ночное время.

### 3.3 Оценка возможностей инфразвуковой сети на основе спектральных характеристик шума и вариаций параметров атмосферы.

Расчет спектральных кривых инфразвукового шума производился аналогично тому, как это делалось для сейсмических станций. Поскольку программное обеспечение PQLX не приспособлено по умолчанию для обработки инфразвуковых записей, была произ-



ведена соответствующая адаптация. Вместо встроенных в ПО моделей сейсмического шума Петерсона [11] были использованы модели инфразвукового шума Брауна [12].

Спектральные кривые были построены по инфразвуковым группам IS31, Курчатов и Маканчи за один летний и один зимний месяцы 2017 года. Для представления в виде PSD инфразвукового шума, рассчитывались наборы кривых спектральной плотности за месяц в окне длиной 1 час, с перекрытием 50 процентов. На рисунке 12 приведен пример спектров шумов для группы IS31.

На рисунке 13 показано сравнение медианных спектров для трех инфразвуковых групп IS31, MKIAR и KURIS, а на рисунке 14 – то же, только для ночного времени зимой.

Сравнение характеристик инфразвукового шума показало, что для всех инфразвуковых групп, как и

для сейсмических, есть ряд общих черт в спектральных характеристиках:

- Для всех станций в летнее время микробарометрический пик в районе значений периодов  $\sim 5$  с четко не прослеживается;
- Для всех станций в зимнее время микробарометрический пик выражен достаточно ярко;
- Для всех станций в зимнее время уровень шумов в районе микросейсмического пика выше уровня летнего шума;
- Абсолютный уровень инфразвукового шума в микробарометрической полосе частот (0,1–0,4 Гц) понижается по мере удаления станций от основного региона источников микросейсм – Северной Атлантики;
- Для всех станций уровень шума в дневное время выше, чем в ночное.

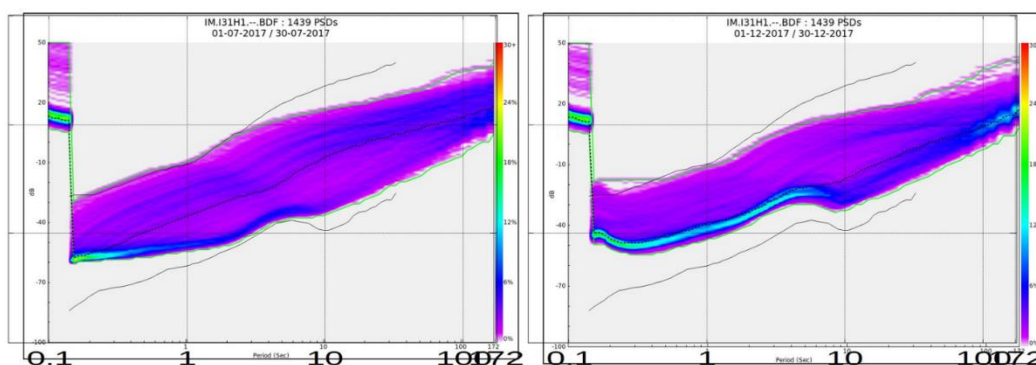


Рисунок 12. PSD инфразвуковых шумов для канала H1 группы IS31. Слева приведены результаты расчета по данным за июль 2017 г., справа – за декабрь 2017 г.

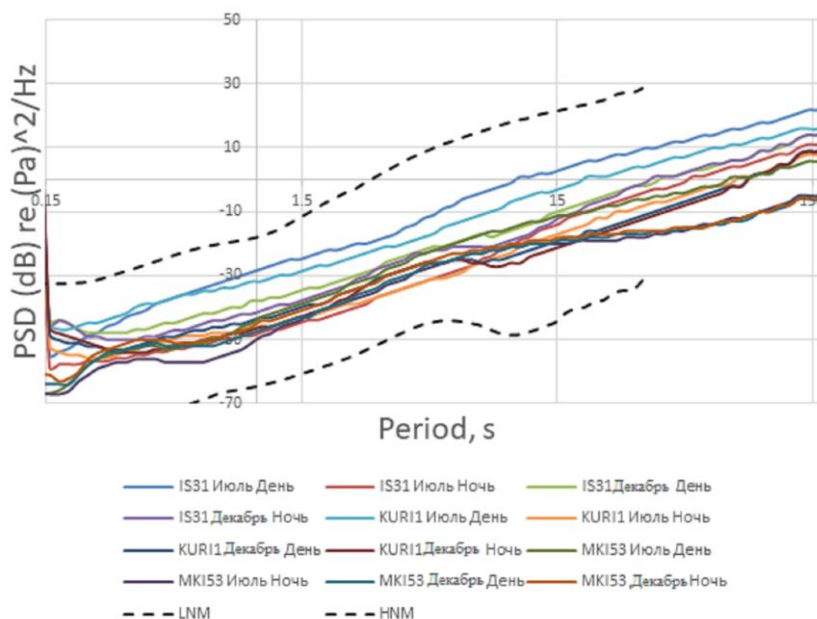


Рисунок 13. Медианные спектры шумов для всех инфразвуковых групп

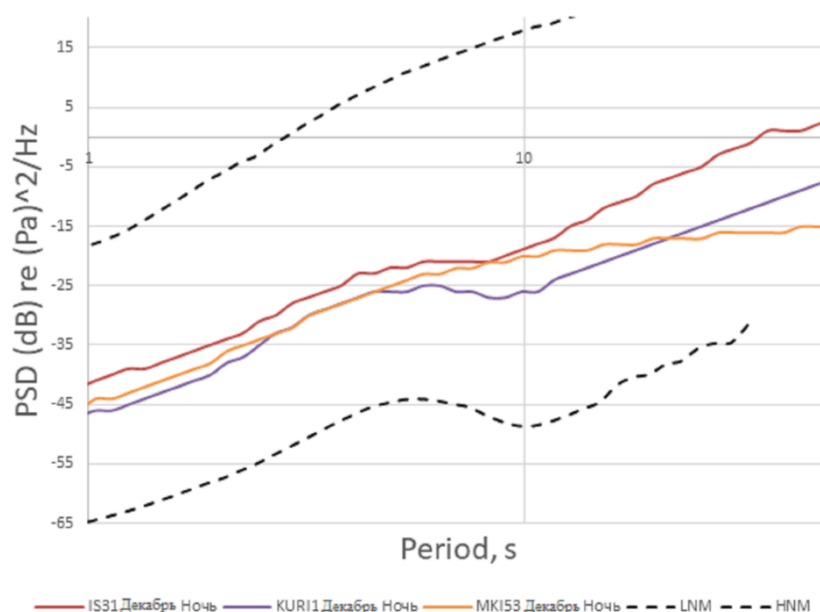


Рисунок 14. Медианы спектров шумов для всех инфразвуковых групп для записей, полученных в ночное время в декабре 2017 г.

Совместное рассмотрение результатов расчетов спектральных кривых шума по сейсмическим и инфразвуковым станциям сети НЯЦ РК показывает, что наблюдаемое изменение абсолютных значений уровня микросейсмического шума от лета к зиме и по территории Казахстана полностью соответствует результатам наблюдения и моделирования микросейсм и микробаром [13, 2]. В то же время в области коротких периодов на каждой станции наблюдаются индивидуальные только ей присущие особенности.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование спектральных характеристик шума позволило на новом современном техническом уровне оценить возможности сейсмической и инфразвуковой сети, изучить общую картину и закономерности распределения и изменения фонового шума в разных диапазонах частот, выявить индивидуальные особенности спектральных моделей шума для ряда станций.

Приведенные результаты оценки параметров сейсмического шума по всем станциям НЯЦ РК свидетельствуют о прекрасных возможностях этих станций в мониторинге ядерных взрывов и землетрясений. Модели шума близки к нижеуровневым мировым моделям сейсмического шума. Диапазон вариаций шума в течение суток и сезонов невелик.

Совместное рассмотрение результатов по сейсмическим и инфразвуковым станциям позволило сделать вывод о согласованном изменении шума в области микросейсмического максимума как в течение сезонов года, так и в пространственном аспекте распределения уровней шума по станциям территории Казахстана.

Все выводы и экспериментальные данные, полученные в результате проведенных работ, важны для повышения эффективности работ по сейсмомониторингу как в контроле за работоспособностью станций, так и в обработке данных.

*Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR09158470).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Синева, З.И. Обоснование апертуры новой сейсмической группы на основе корреляционного анализа сейсмических данных / З.И. Синева, Н.Н. Михайлова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 2. – С. 55–59.
2. Le Pichon, A. Incorporating numerical modeling into estimates of the detection capability of the IMS infrasound network / A. Le Pichon, L. Ceranna, J. Vergoz // J. Geophys. Res. – 2012. – Vol. 117. D05121. <https://doi.org/10.1029/2011JD016670>
3. 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.
4. Михайлова, Н.Н. Оценка эффективности сейсмической группы PS23-Маканчи при регистрации региональных и телсейсмических событий / Н.Н. Михайлова, З.И. Синёва // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – 2004. – Вып. 2(18). – С. 13–19.
5. Mikhailova, N.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan / N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova // Summary of the Bulletin of the International

- Seismological Centre 2016. – 2019. – Vol. 53, No. 1. – P. 27–38.
6. Демин, В.Н. Новая инфразвуковая станция Международной системы мониторинга в Казахстане IS31 / В.Н. Демин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2(10). – С. 14–18.
7. Беляшов, А.В. Новая инфразвуковая группа «Курчатов» / А.В. Беляшов, В.И. Донцов, В.И. Дубровин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 24–30.
8. Дубровин, В.И. Новая инфразвуковая группа Маканчи и ее возможности в регистрации сигналов от различных источников / В.И. Дубровин, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – Вып. 3. – С. 63.
9. McNamara, D. E. Seismic Noise Analysis System, Power Spectral Density Probability Density Function: Stand-Alone Software Package / D.E. McNamara, R.I. Boaz // United States Geological Survey Open File Report. – 2005. No. 2005-1438. – 30 p.
10. Центр управления данными IRIS [www.iris.edu](http://www.iris.edu)
11. Peterson, J. Observations and modelling of seismic background noise // US geological Survey. Open-file report. – 1993. – P. 93–322.
12. Brown, D. The IDC Seismic, Hydroacoustic and Infrasound Global Low and High Noise Models / D. Brown, L. Ceranna, M. Prior et al. // Pure Appl. Geophys. – 214. – No. 171. – P. 361–375. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0573-6>
13. Smirnov, A. Characterizing the oceanic ambient noise as recorded by the dense seismo-acoustic Kazakh network / A. Smirnov, M. De Carlo, A. Le Pichon, N. M. Shapiro, S. Kulichkov // Solid Earth. – 2021. – No. 12. – P. 503–520. <https://doi.org/10.5194/se-12-503-2021>, 2021
3. Mikhaylova, N.N. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным казахстанских станций мониторинга / N.N. Mikhaylova, I.I. Komarov // Vestnik NYaTs RK. – 2006. – Issue 2. – P. 19–26.
4. Mikhaylova, N.N. Otsenka effektivnosti seysmicheskoy gruppy PS23-Makanchi pri registratsii regional'nykh i teleseysmicheskikh sobyitiy / N.N. Mikhaylova, Z.I. Sineva // Geofizika i problemy nerastrostraneniya: Vestnik NYaTs RK. – 2004. – Issue 2(18). – P. 13–19.
5. Mikhailova, N.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan / N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016. – 2019. – Vol. 53, No. 1. – P. 27–38.
6. Demin, V.N. Novaya infrazvukovaya stantsiya Mezhdunarodnoy sistemy monitoringa v Kazakhstane IS31 / V.N. Demin, V.G. Kunakov, A.A. Smirnov // Geofizika i problemy nerastrostraneniya: Vestnik NYaTs RK. – 2002. – Issue 2(10). – P. 14–18.
7. Belyashov, A.V. Novaya infrazvukovaya gruppya «Kurchatov» / A.V. Belyashov, V.I. Dontsov, V.I. Dubrovin, V.G. Kunakov, A.A. Smirnov // Vestnik NYaTs RK. – 2013. – Issue 2. – P. 24–30.
8. Dubrovin, V.I. Novaya infrazvukovaya gruppya Makanchi i ee vozmozhnosti v registratsii signalov ot razlichnykh istochnikov / V.I. Dubrovin, A.A. Smirnov // Vestnik NYaTs RK. – 2018. – Issue 3. – P. 63.
9. McNamara, D. E. Seismic Noise Analysis System, Power Spectral Density Probability Density Function: Stand-Alone Software Package / D.E. McNamara, R.I. Boaz // United States Geological Survey Open File Report. – 2005. No. 2005-1438. – 30 p.
10. Tsentri upravleniya dannymi IRIS [www.iris.edu](http://www.iris.edu)
11. Peterson, J. Observations and modelling of seismic background noise // US geological Survey. Open-file report. – 1993. – P. 93–322.
12. Brown, D. The IDC Seismic, Hydroacoustic and Infrasound Global Low and High Noise Models / D. Brown, L. Ceranna, M. Prior et al. // Pure Appl. Geophys. – 214. – No. 171. – P. 361–375. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0573-6>
13. Smirnov, A. Characterizing the oceanic ambient noise as recorded by the dense seismo-acoustic Kazakh network / A. Smirnov, M. De Carlo, A. Le Pichon, N. M. Shapiro, S. Kulichkov // Solid Earth. – 2021. – No. 12. – P. 503–520. <https://doi.org/10.5194/se-12-503-2021>, 2021

## REFERENCES

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ МОНИТОРИНГ  
ЖЕЛІСІ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ  
ЖӘНЕ ИНФРАҚЫЗЫЛ ШУЛАРДЫҢ СПЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫ**

Ю.А. Смирнов, А.А. Смирнов, Н.Н. Михайлова

*ҚР ҰЯО РМК «Геофизикалық зерттеулер институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

ҚР ҰЯО желісі станцияларының толқындық нысандары бойынша PQLS бағдарламалық қамтамасыз етудің көмегімен сейсмикалық және инфрақызыл шуылдың спектрлік сипаттамалары есептелген. Есептеу нәтижелері Петерсонның сейсмикалық шуыл және Браунның инфрақызыл шуыл үлгілерімен салыстырылады. Шуылдың күнделікті және маусымдық өзгеруіне талдау жасалды. Микросейсмикалық максимум аймағындағы деңгейдің өзгеру заңдылықтарына ерекше назар аударылады. Байқалған ерекшеліктер Солтүстік Атлант мұхитында орналасқан микросейсмикалық және микробар көздерінің орналасуы мен динамикасымен жақсы түсіндіріледі.

***Түйін сөздер:** сейсмикалық және инфрақызыл шуыл, спектрлік тығыздық, микросейсмика, микробаромалар, деңгей, вариация.*

**SPECTRAL CHARACTERISTICS OF SEISMIC AND INFRASOUND NOISE BY DATA  
OF THE MONITORING NETWORK STATIONS OF THE NATIONAL NUCLEAR CENTER  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

Yu.A. Smirnov, A.A. Smirnov, N.N. Mikhailova

*Branch "Institute of Geophysical Research" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The spectral characteristics of seismic and infrasound noise were calculated by the waveforms of the NNC RK network stations using PQLX software. The calculation results were compared with the seismic noise model by Peterson and infrasound noise by Brown. The daily and seasonal noise variations were analyzed. Special attention was paid to regularities of the level change at microseismic maximum. The observed peculiarities are well explained by the location and dynamics of microseism and microbarom sources located in the North Atlantics.

***Keywords:** seismic and infrasound noise, spectral density, microseism, microbarom, level, variations.*