

УДК 550.342.001.57

МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПОДГОРНОЕ»

¹⁾Соколова И.Н., ²⁾Мукамбаев А.С.

¹⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан
²⁾Казахский Национальный технический университет, Алматы, Казахстан

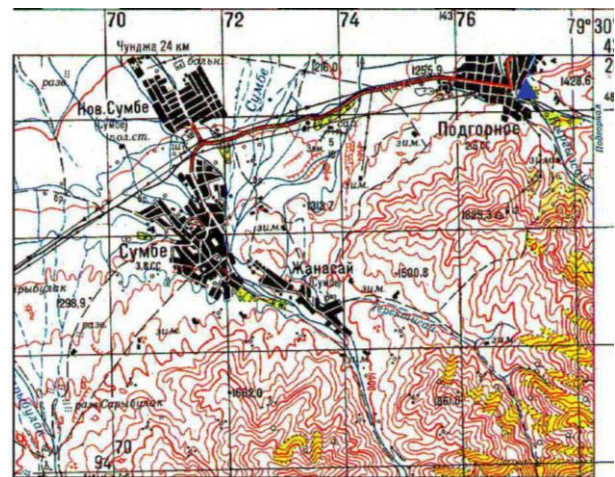
По цифровым данным трехкомпонентной широкополосной станции «Подгорное», расположенной в Северном Тянь-Шане, изучен сейсмический шум в широком частотном диапазоне. Выделен сезонный и суточный ход вариаций короткопериодного сейсмического шума. Проведено сравнение сейсмического шума станции «Подгорное» с шумами других сейсмических станций, расположенных на Северном Тянь-Шане.

Цифровая сейсмическая станция «Подгорное» (PDG) введена в эксплуатацию в октябре 1997 г. в рамках проекта «Чингиз» Ренселлеровского политехнического института США. Станция была закрыта в марте 2000 г. в связи с окончанием проекта и вновь открыта в марте 2001 г. как станция, входящая в сейсмическую сеть НЯЦ РК. Основной задачей станции является мониторинг ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях. Географическое положение станции удобно для контроля за возможными подземными ядерными взрывами на ядерных полигонах Азии, находящихся от нее на региональных расстояниях: 750 км - полигон Лобнор, 2000 км – полигон Похаран, 2050 км – полигон Чагай [1, 2]. Станция расположена в высокосейсмичном районе Северного Тянь-Шаня, что позволяет использовать ее данные для прогноза землетрясений и оценки сейсмической опасности. Однако исследования по чувствительности станции PDG и сейсмическим шумом в районе станции до сих пор не проводились. Настоящая работа посвящена детальному анализу характеристик сейсмического шума станции «Подгорное».

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СТАНЦИИ «ПОДГОРНОЕ»

Сейсмическая станция «Подгорное» расположена в поселке Киргизсай (Подгорное) Алма-Атинской области, на его юго-восточной окраине, в правом борту речки Киргизсай вблизи впадения в нее речки Подгорная (рисунок 1). Сейсмическая станция находится на высоте 1300 - 1400 м над уровнем моря, у северного подножья западного окончания хребта Кетмень. Координаты станции: $43^{\circ} 19' 38.64''$ (43.3274°) северной широты и $79^{\circ} 29' 05.64''$ (79.4849°) восточной долготы. На расстоянии 300 м от станции проходит проселочная дорога, движение по дороге редкое - 3 - 4 машины в день. Другая сельская дорога проходит на расстоянии порядка 1000 м от сейсмостанции. В 10 - 12 км от станции проходит крупное шоссе. В поселке Киргизсай промышленность слабо развита, есть электрическая мельница, которая работает только эпизодически, небольшой кирпичный завод на расстоянии 2 км, в непосредственной близости от станции (500 м) находится лесопилка.

Кроме техногенных факторов на сейсмический шум могут оказывать влияние природные факторы - это естественная сейсмичность вблизи станции «Подгорное», небольшая речка вблизи станции – порядка 100 м, крупная полноводная река Чарын – 10 км, и озеро Иссык-Куль ~ 110 км.



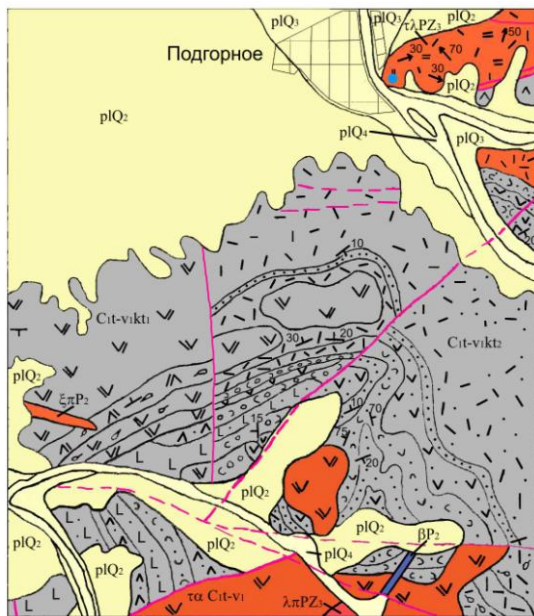
Синий прямоугольник - станция «Подгорное»

Рисунок 1. Обзорная карта района расположения сейсмической станции «Подгорное»

Станция расположена (рисунок 2) на коренных выходах субвулканических пород трахилипаритового – трахидацитового состава верхнепалеозойского возраста ($\tau\lambda PZ3$), представленными красновато-коричневыми, вишневыми флюидалными лавами трахилипаритов. Изменения вмещающих пород выражаются в слабой припилитизации алевролитов и песчаников, известняки в зоне контакта несут следы скарнирования. Субвулканические тела имеют небольшие размеры и, скорее всего, связаны с вулканической постройкой находящейся северо-восточнее поселка «Подгорное», на северном склоне хр. Кетмень, за пределами участка. Вмещающими субвулканические тела породами являются осадочно-вулканогенные нижне-каменноугольные (турне-низы визейского яруса) отложения кетменской свиты (C1t-v1kt). Эти отложения имеют максимальное распространение в районе и залегают в виде полого

дислоцированного чехла с разрывом и структурным несогласием на метаморфизованных силурийских образованиях и сами со структурным несогласием перекрываются накоплениями верхнего палеозоя и кайнозойскими образованиями. Отложения кетменской свиты расчленяются на три подсвиты. Нижняя: базальт – терригенная, средняя подсвита кислых туфов и игнимбритов, верхняя: андезито-дацитовая, осадочно-пирокластическая.

Севернее места расположения станции проходит крупный региональный разлом северо-восточного простирания (Северо-Кетменьский разлом, Аз. 40-45° СВ). По разлому проходит граница между Кетменским антиклинорием и Илийским синклинорием. С юга северное крыло антиклинория отделено от осевой части Коктас-Карасайской системой разломов длительного развития, приуроченной к осевой части антиклинория. Ширина ее около 5 км. В поперечном сечении зона насчитывает до 15 разломов с амплитудой перемещения блоков в пределах первых сотен метров и множеством мелких нарушений. Кроме крупных, регионального масштаба разломов,



● Место расположения сейсмической станции Подгорное

Рисунок 2. Геологическая карта участка расположения сейсмической станции «Подгорное». Масштаб 1:50000

в породах палеозоя прослеживаются множество мелких разрывных нарушений. Разломы района имеют характер сбросов, взбросов и сдвигов с различными амплитудами и направлениями. Все разломы были подновлены в альпийскую эпоху складчатости, и хорошо выражены в рельефе.

Район расположения станции «Подгорное» в Северном Тянь-Шане характеризуется высокой сейсмической активностью. На рисунке 3 показаны эпицентры сильных землетрясений (с $K \geq 14$) примерно в радиусе 300 км от станции «Подгорное» за период с исторических времен до настоящего времени. Сам хребет Кетмень характеризуется средними значениями уровня активности по сравнению с другими хребтами Тянь-Шаня: $A_{10}=0.06$, $\gamma=0.48$ [3]. Самое сильное землетрясение за период работы станции (рисунок 4) произошло 12.01.2003 г., имело магнитуду $M_s=6.0$. Эпицентр события находился в 96 км от станции.

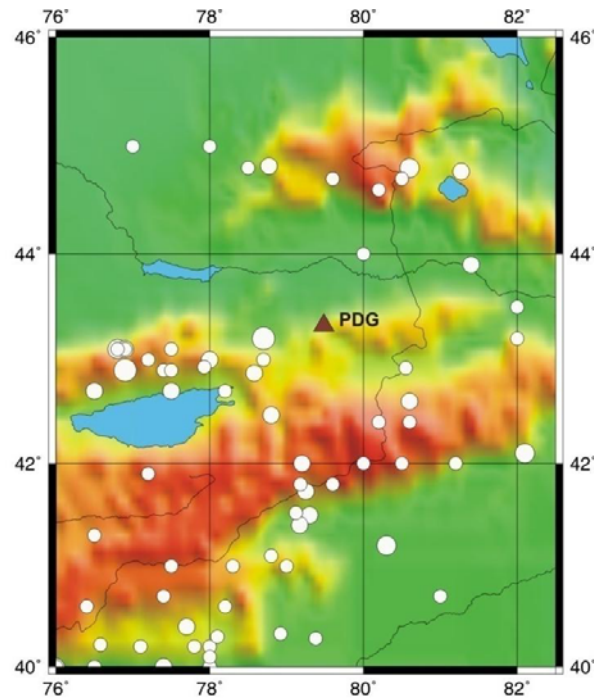


Рисунок 3. Эпицентры сильных землетрясений с $K \geq 14$ на расстояниях до 300 км от станции «Подгорное» с исторических времен до настоящего времени

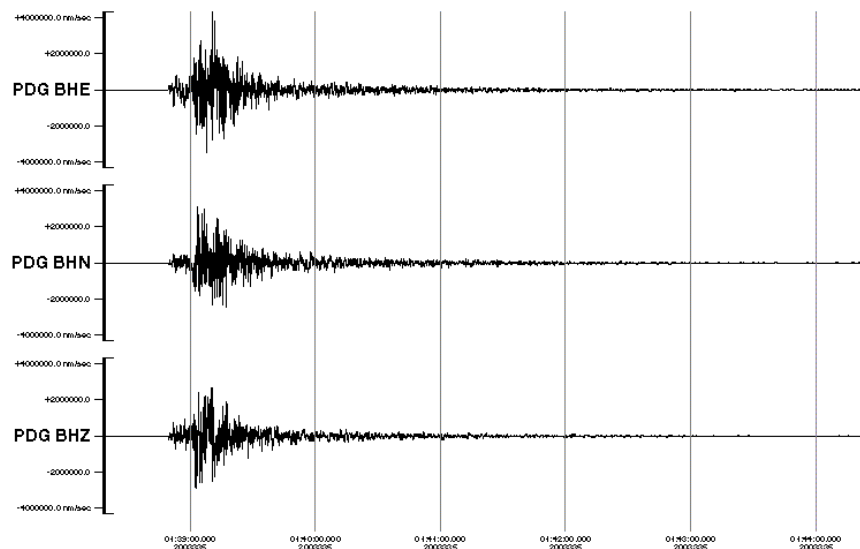


Рисунок 4. Сейсмограммы по трем компонентам землетрясения 12.01.2003 г., полученные станцией «Подгорное»

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В течение всего времени работы, кроме периода 03.2001 - 03.2003 гг., сейсмическая станция PDG была оснащена широкополосными трехкомпонентными датчиками с регистрирующей системой REFTEK 72A (таблица 1), амплитудно-частотные характеристики которой представлены на рисунке 5. Аппаратура установлена на коренных породах, в специально подготовленном бункере.

Для изучения сейсмического шума были использованы записи станции за 1999 г. и за 2005 г. Выбор времени связан с тем, что в эти годы работали одинаковые комплекты оборудования. Для анализа использовались каталоги по глобальным мировым сетям NEIC (USGS) и REB (СТВТО), а также региональный интерактивный сейсмический бюллетень Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСЦИ). Структура микросейсмических помех изучалась путем построения спектров плотности сейсмического шума для всех трех измеряемых компонент. Методика анализа описана в [4 - 7]. Выбирались 10-й минутные отрезки записей без сейсмических событий или «хвостов» сильных землетрясений. Фрагменты записей выбирались отдельно за ночное (17 - 18 ч. GMT) и дневное время (7 - 8 ч. GMT) для каждого сезона года. Для анализа создавались выборки, состоящие из не менее 20 фрагментов сейсмических записей, по которым строились медианные спектры

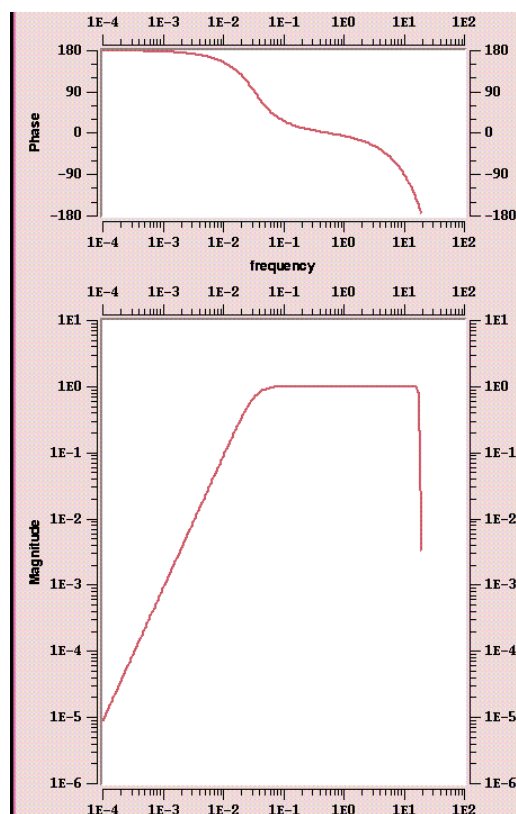


Рисунок 5. Амплитудно-частотная и фазовая характеристика сейсмометра SMG3ESP

Таблица 1. Характеристика сейсмической аппаратуры

Сроки работы	Тип сейсмометра	Дигитайзер	Частота оцифровки	Частотный диапазон
Октябрь 1997 -сентябрь 1998 гг.	SMG40	REFTEK 72 A	40 Гц	0.03 - 50.0 Гц
Сентябрь 1998 – март 2000 гг.	SMG3ESP	REFTEK 72 A	40 Гц	0.1 - 50.0 Гц
Март 2001 – март 2003 гг.	L4C	REFTEK 72 A	40 Гц	Пассивный сенсор, центральная частота 1 Гц
	C5C	REFTEK 72 A	40 Гц	0.2 - 20 Гц
Март 2003 г. – настоящее время	SMG3ESP	REFTEK 72 A	40 Гц	0.1 - 50.0 Гц

На рисунке 6а–6в показаны резуль­тативные гра­фики спектральной плотности (медианные спектры) для дневного и ночного времени по трем компонентам – Z, N- север-юг, E – восток-запад. Уров­ень шума тяготеет к нижнеуровневой модели сейсмического шума Петерсона [7], однако обращает на себя внимание различие в спектрах для дневного и ночного времени в высокочастотной области.

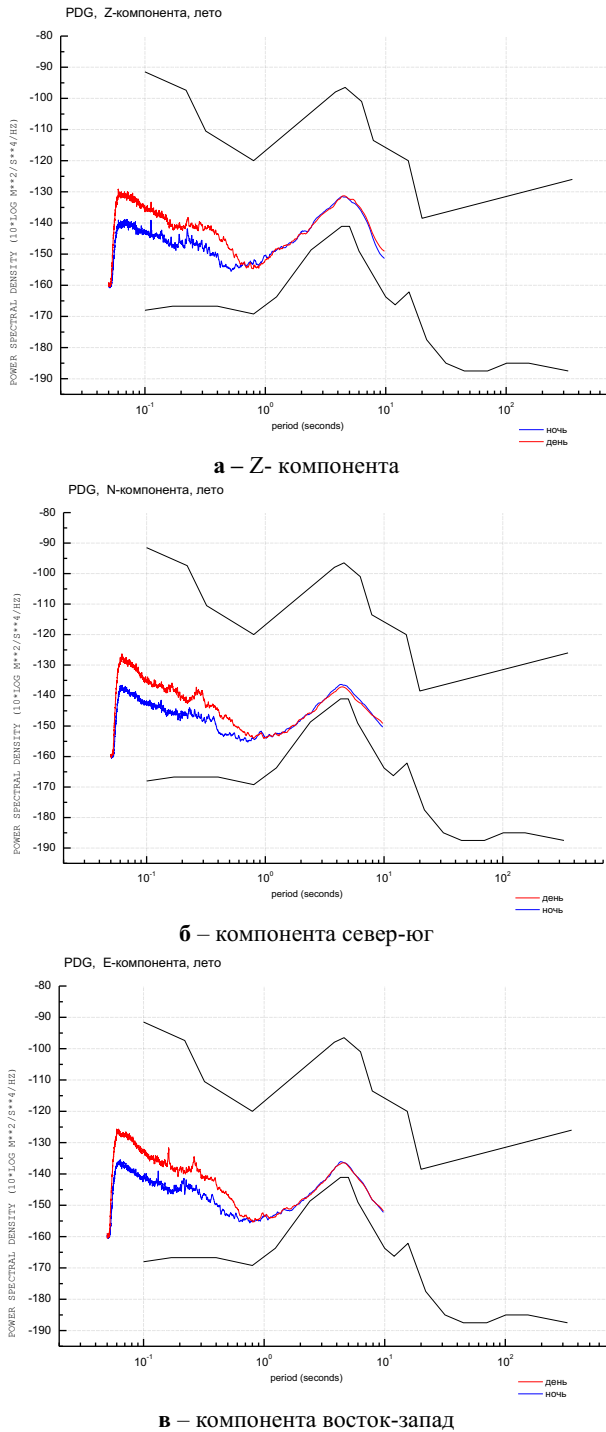


Рисунок 6. Спектральные кривые сейсмического шума для дня и ночи за летний период

Так, в диапазоне периодов от 0.05 до 0.4 сек раз­ница составляет 7 дБ. Это связано с тем, что станция расположена на окраине поселка, недалеко от стан­ции работает лесопилка, которая создает помехи в широкой полосе частот. Однако в рабочем диапазо­не от 0.7 до 2 сек разницы между дневными и ночными уровнями шумов нет, что объясняет высокую чувствительность станции при регистрации сейсмических событий как на региональных, так и на теле­сейсмических расстояниях.

Сравнение спектральных кривых сейсмического шума для трех компонент свидетельствует о более вы­соких значениях амплитуд сейсмического шума для компоненты восток-запад, особенно четко выражен­ным является диапазон периодов 0.2-0.5 сек. Это обусловлено тем, что источники техногенных шумов в посе­лке расположены на западе от станции, и в 100 м на запад от нее находится небольшая горная речка.

С целью более детального изучения влияния техно­генных шумов были проанализированы значения спектральной плотности сейсмического шума для каждого часа в течение недели в летний период и в течение недели в зимнее время года. На рисунке 7 показан временной ход сглаженных значений спектральной плотности сейсмического шума на перио­де 0.2 сек, вариации которого связаны с антропогенной деятельностью

Из рисунка 7 видно, что в летнее время техноген­ный шум гораздо выше, чем в зимнее время, макси­мум в летнее время достигается в 7 ч. GMT, когда как в зимнее время этот максимум смещен на 1 час, максимальная разница уровней составляет 5 дБ. Ин­тересно, что в ночное время, спектральная плот­ность сейсмического шума для зимнего периода ли­бо равна спектральной плотности для летнего пе­риода, либо даже немного выше.

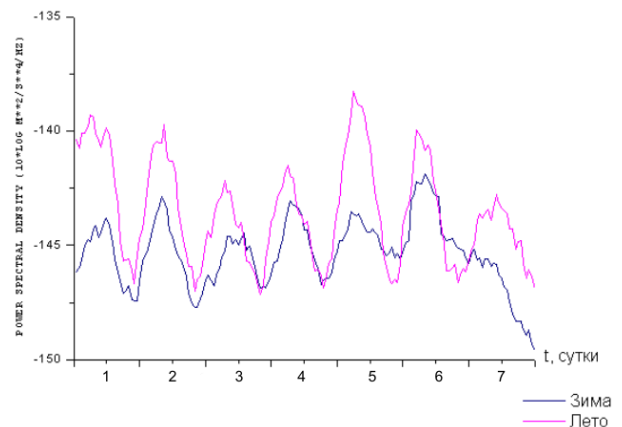


Рисунок 7. Почасовой ход спектральной плотности сейсмического шума на периоде 0.2 секунды в летнее и зимнее время

На всей территории Северного Тянь-Шаня мощ­ным источником природного сейсмического шума является глубоководное озеро Иссык-Куль, особен­но во время штормов. Станция «Подгорное» распо­ложена на расстоянии около 100 км от озера. На ри-

сунке 8 показаны спектральные кривые сейсмического шума во время штормов на озере Иссык-Куль в дневное и ночное время, рассчитанные для вертикальной компоненты. На графике отчетливо виден характерный пик на периодах от 1.3-2.3 сек, соответствующий микросейсам озера Иссык-Куль. Максимум наблюдается на периоде 1.65 сек, и его разница со спектральной плотностью шума в дни без штормов составляет 10.5 дБ.

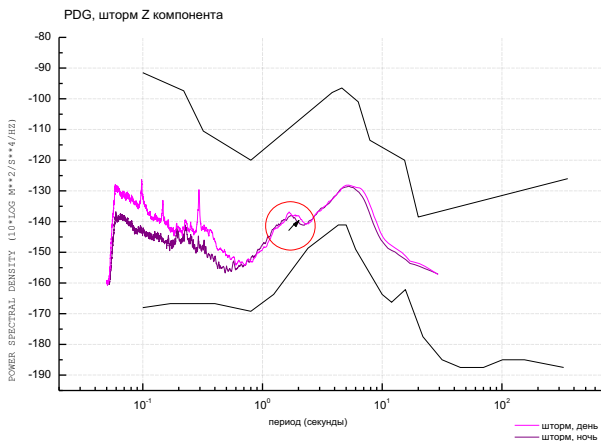


Рисунок 8. Спектральные кривые сейсмического шума для дня и ночи в дни, когда наблюдались штормы на озере Иссык-Куль. Z- компонента

Интересны сезонные вариации сейсмического шума, они больше всего связаны с природными источниками сейсмического шума. Спектральные кривые сейсмического шума для разных сезонов (рисунок 9 а, б) свидетельствуют о том, что максимум амплитуды в диапазоне периодов 0.2 - 0.5 сек достигается в весенний и летний период, когда речка более полноводна. В зимнее время для периодов менее 0.7 Гц наблюдается минимум амплитуды сейсмических шумов, однако для периодов 1.3 - 2 сек (микросейсмы озера Иссык-Куль), которые наиболее часты и интенсивны зимой, значения амплитуды превышают 5 дБ по сравнению с весенним и летним временем.

На периодах 5-6 сек, соответствующих микросейсам мировых океанов, также наблюдаются максимальные значения спектральной плотности сейсмических шумов в зимний и осенний времена года. Разница между спектральной плотностью в зимнее и летнее время для этих периодов составляет 6 дБ.

На рисунке 11 приведено сравнение сейсмических шумов для различных станций, установленных в рамках проекта «Чингиз» (таблица 2, рисунок 10).

Таблица 2. Координаты станций Тянь-Шаньской сейсмической сети «Чингиз»

Название станции	Код станции	Широта	Долгота	Высота, м
Ананьево	ANA	42.7844	77.6572	1815
Хантау	КНА	44.2048	73.9916	1114
Нарын	NRN	41.4230	75.9792	1887

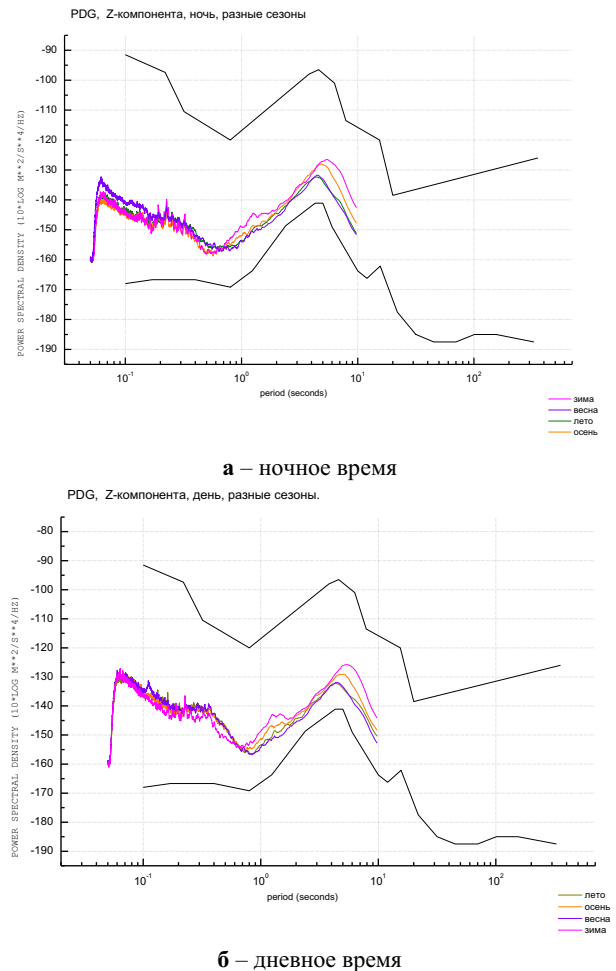


Рисунок 9. Спектральные кривые сейсмического шума для разных сезонов. Z- компонента

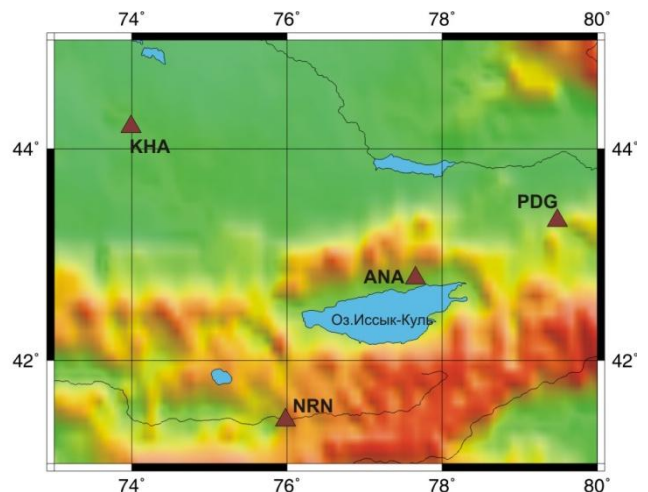


Рисунок 10. Карта расположения сейсмических станций сети «Чингиз», записи которых были использованы для сравнения со станцией «Подгорное»

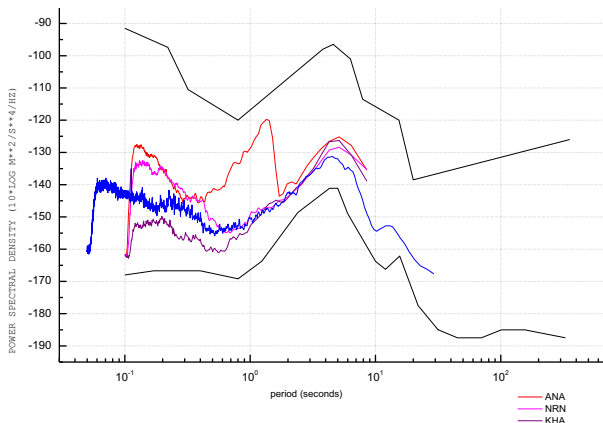


Рисунок 11. Спектральные кривые сейсмического шума для различных станций. Z- компонента, ночное время

На всех станциях были установлены сейсмометры CMG2ESP и дигитайзеры REFTEK72A, аналогичные аппаратуре, установленной на станции «Подгорное» (рисунок 5). Станция «Ананьево» расположена вблизи оз. Иссык-Куль, станция «Хантау» (КНА) – на Казахской платформе, станция «Нарын» (NRN) – на юге Киргизии в районе Нарынской впадины. Самый высокий уровень сейсмических шумов наблюдается для станции «Ананьево» (ANA), что связано с близостью к оз. Иссык-Куль, максимум воздействия которого наблюдается на периодах 1.3 – 2 Гц. Максимум различия со станцией «Подгорное» достигается для периода 1.3 Гц и достигает 28 дБ. Станция «Нарын» расположена на осадочных породах, уровень шумов на высоких частотах значитель-

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев, Ю. Ф. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях для полигона Лобнор / Копничев, Ю. Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2000. - Вып.2. - С. 65 - 77.
2. Соколова, И. Н. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях по станциям сейсмической сети НЯЦ РК./ И.Н Соколова. // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2003. - Вып. 3. - С. 119 - 123.
3. Нерсесов, И. Л. Сейсмический режим Северного Тянь-Шаня в связи с Жаланаш-Тюпским землетрясением 25.3.1978 г. / И.Л. Нерсесов, А.Сыдыков, А. Нурмагамбетов, Н.Н. Михайлова // Физика земли, 1981 - N 5.
4. Синёва, З.И. Динамические характеристики сейсмического шума по цифровым записям станций Маканчи / З.И. Синёва, Н.Н Михайлова, И.И. Комаров // Вулканология и сейсмология, 2001. - Вып.4. - С. 48 - 59.
5. 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.
6. 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.
7. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993- 42 pp.

но выше, чем у станции «Подгорное» и достигает 10 дБ на периодах 0.1 - 1.4 сек, тогда как при периодах выше 1 сек, уровень шумов у станций совпадает. Интересно, что уровень сейсмических шумов у станции «Хантау», значительно ниже, чем у станции «Подгорное» на малых периодах и совпадает на периодах от 1 до 5 сек.

Выводы

Оценка параметров сейсмического шума станции «Подгорное» свидетельствует о ее хороших возможностях для мониторинга сейсмических событий различной природы. Медиана спектральной плотности сейсмического шума близка к нижеуровневой модели сейсмического шума. Диапазон вариаций для дневного и ночного времени на высоких частотах достаточно велик, что связано с местоположением станции в поселке, однако в рабочем диапазоне частот около 1 Гц уровень шума в ночное и дневное время совпадает. В этом же диапазоне частот уровень сейсмического шума совпадает с шумами станций, расположенных вдали от населенных мест на Казахской платформе (КНА).

Станция «Подгорная» обладает удобным географическим положением для мониторинга за подземными ядерными взрывами и для изучения сейсмичности Северного Тянь-Шаня.

Для повышения эффективности работы станции может быть рекомендована организация передачи данных в ЦСОССИ в режиме реального времени.

**«ПОДГОРНОЕ» СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯСЫНЫҢ
БАЙҚАУЛАРЫ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУЫНЫҢ МОДЕЛІ**

¹⁾Соколова И.Н., ²⁾Мукамбаев А.С.

¹⁾*ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

²⁾*Қазақ Ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан*

Солтүстік-Тянь-Шаньда орналасқан үш компонентті кең жолақты «Подгорное» станциясының цифрлық деректері бойынша, кең жиілікті ауқымында сейсмикалық шу зерделенді. Қысқа ауқымды сейсмикалық шудың мезгілдік және тәуліктік вариацияларының барысы анықталған. Солтүстік-Тянь-Шаньда орналасқан басқа да станциялардың сейсмикалық шулары мен Подгорное станциясының шуларының салыстыру жұмыстары жүргізілді

SEISMIC NOISE MODEL ACCORDING TO OBSERVATIONS OF “PODGORNOYE” SEISMIC STATION

¹⁾I.N. Sokolova ²⁾A.S.Mukambaev

¹⁾*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾*Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan*

Seismic noise in a wide frequency range was studied using the digital data of three-component broadband «Podgornoye» station located in Northern Tien Shan. Seasonal and daily variations of a short period seismic noise were investigated. Seismic noises of «Podgornoye» station were compared with the noises of other seismic stations located in Northern Tien Shan.