

УДК 550.348.432

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА ПЕРИОДАХ, БЛИЗКИХ К 1.7 С, ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для 25 тяньшаньских широкополосных сейсмических станций проведен детальный анализ динамических характеристик сейсмического шума в штормовые и спокойные дни на озере Иссык-Куль в Кыргызстане. Для всех станций во время шторма по сравнению со спокойными днями обнаружено существенное возрастание спектральной плотности сейсмического шума в диапазоне периодов от 1.3 до 2.5 с. Изучены закономерности этого возрастания в зависимости от расстояния до озера.

На Северном Тянь-Шане действует большое количество цифровых и аналоговых станций, записи которых используются для составления каталогов землетрясений, изучения строения Земли и геодинамических процессов в этом регионе. Станции расположены вблизи хребтов Заилийский Алатау, Терской Алатау, Кетмень, Киргизского хребта и других, аппаратура установлена в основном на выходах коренных пород. Начало становления сейсмических сетей на Северном Тянь-Шане относится к 50-ым годам XX-столетия, когда на всех сейсмических станциях была установлена аналоговая аппаратура. Регистрация колебаний велась на фотобумагу, на многих станциях она остается таковой до сих пор. Обработчики сейсмограмм уже давно заметили, что в определенные периоды времени, порой более суток, на записях многих станций наблюдаются очень сильные помехи, обработка записей становится практически невозможной. На приведенном фрагменте сейсмограммы (рисунок 1) (станция Тянь-Шань, прибор СКМ, увеличение $V=40000$), хорошо видны микросейсмы практически с постоянным периодом около 1.5 - 2 с.

Исследователи связывали эти помехи со штормами на озере Иссык-Куль. Амплитуда микросейсм доминирует на канале С-Ю, что совпадает с направлением на озеро. В отсутствии этих помех для большинства станций характерен низкий уровень шумов, кривые спектральной плотности характерны нижненеуровневой модели Петерсона, что определяет высокую эффективность северотяньшаньских станций в сейсмическом мониторинге [1-4]. Однако во время сильных помех, эффективность как отдельных станций, так и сейсмических сетей в целом, значительно снижается. Сравнение сейсмограмм разных станций позволило сделать вывод, что эти помехи связаны со штормами на озере Иссык-Куль.

Иссык-Куль – высокогорное глубоководное озеро, его длина составляет 182 км, наибольшая ширина 58 км, средняя глубина 280 м, максимальная 702 м (примерно ближе к южному берегу от средины озера), площадь 6206 кв. км. Озеро не замерзает, штормы происходят круглый год, в среднем 24% дней в году.

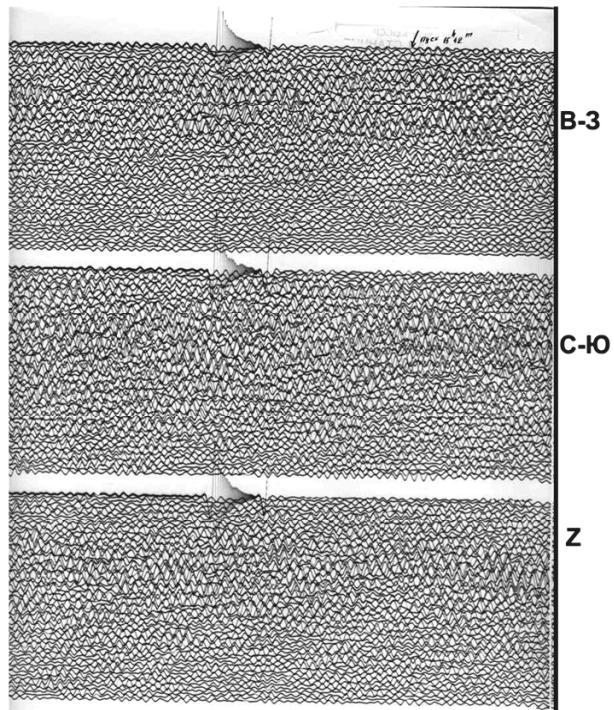


Рисунок 1. Фрагмент сейсмограммы 31.08.1982 г. Станция Тянь-Шань. Сейсмометр СКМ-3

Невозможность частотной фильтрации сигналов из-за аналоговой формы их регистрации существенно затрудняла обработку записей сейсмических событий, зарегистрированных на короткопериодных каналах во время штормов. По этой причине в периоды штормов информация о слабых землетрясениях терялась. В 1983 г. Михайловой Н.Н. была работа по изучению шумов оз. Иссык-Куль на оценку минимальной представительной величины энергетических классов К землетрясений [5], регистрируемых на Северном Тянь-Шане сетью станций СОМЭ АН КазССР. Для дней без штормов на оз. Иссык-Куль и в штормовые дни были рассчитаны значения уровня K_{min} , начиная с которых все события без пропусков включаются в каталоги землетрясений. Расчет проведен по методике, описанной в [6]. На рисунке 2 показаны области представительной регистрации землетрясений в изученные периоды. Оказа-

лось, что эффективность системы наблюдений понижается во время штормов примерно на 2.5 - 3 единицы К. Представительная регистрация землетрясений на территории хребтов Заилийский и Кунгей Алатау

в штормовые дни возможна только для событий с $K \geq 9.0$, в то время как в спокойные дни без пропуска регистрируются события с $K=6.5$.

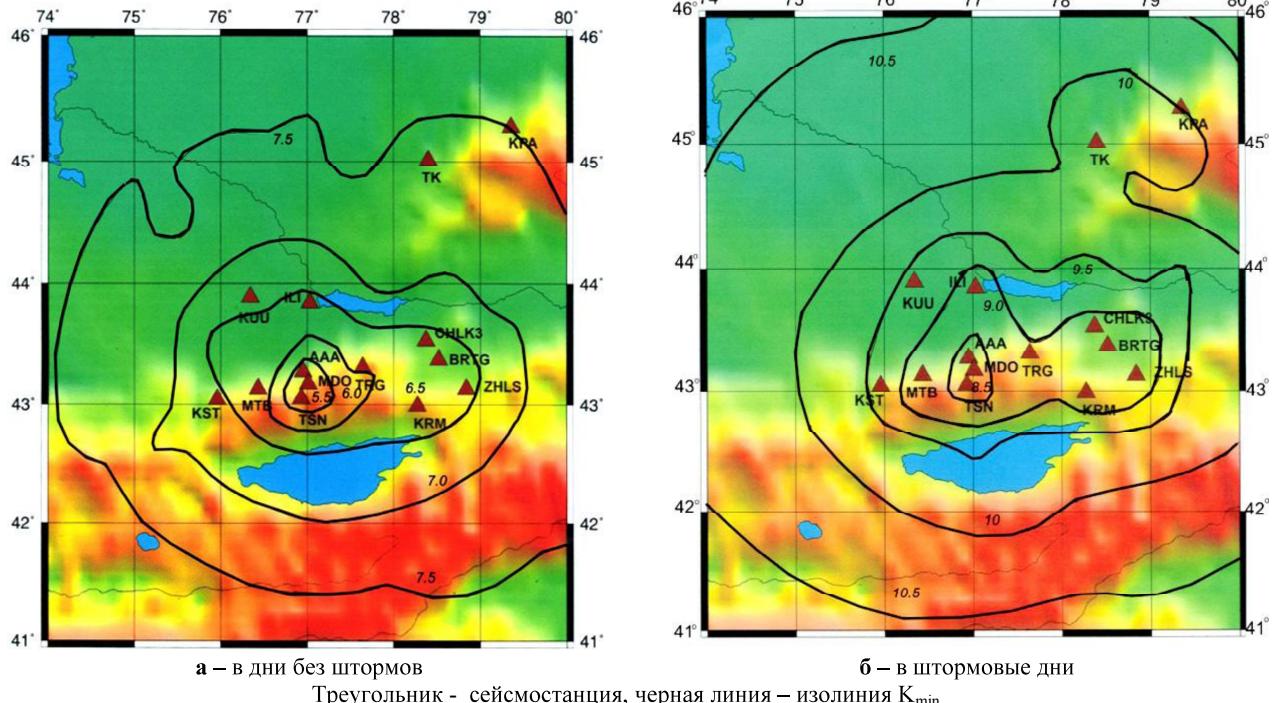


Рисунок 2. Области представительной регистрации землетрясений

С вводом в эксплуатацию, начиная с 90х годов прошлого столетия, цифровых широкополосных станций на территории Северного Тянь-Шаня появилась возможность, во-первых, детально изучить структуру наблюдаемых помех, связанных с озером Иссык-Куль, и, во-вторых, разработать методику их учета. Это, безусловно, будет способствовать повышению эффективности мониторинга сейсмических событий и сделает представительность сейсмологических каталогов более однородной для разных промежутков времени.

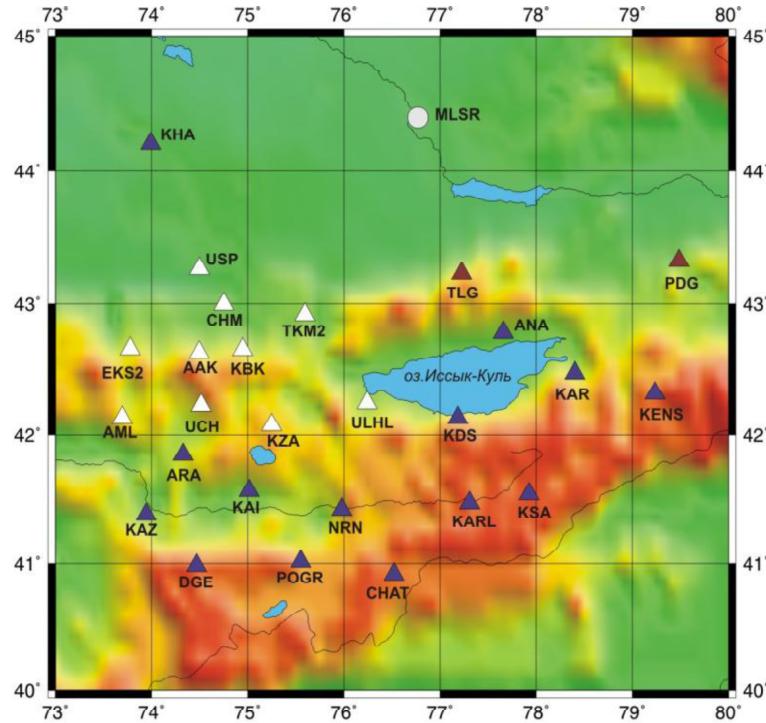
МЕТОДИКА И СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ

Использовались записи 25-ти цифровых сейсмических станций, установленных на территории Кыргызстана и Казахстана, расположенных в различных азимутах от озера в диапазоне расстояний 7 - 250 км (таблица 1).

На рисунке 3 показано расположение этих станций. 10 из них входят в Киргизскую телеметрическую сеть KNET [7], 13 станций были установлены в рамках проекта Чингиз (Тянь-Шань) Ренселлеровского политехнического института США (1997 - 2000) [1,8]. Станции PDG и TLG входят в состав сети Национального ядерного центра Республики Казахстан.

Таблица 1. Станции, данные которых использованы при исследованиях

№№	Код станции	Название станции	Расстояние до озера, км	№№	Код станции	Название станции	Расстояние до озера, км
1	ANA	Ананьево	7.5	14	AAK	Ала-Арча	110
2	KAR	Каракол	7.5	1	KAI	Каирма	130
3	KDS	Каджисай	10	16	CHM	Чумыш	130
4	ULHL	Улахол	15	17	UCH	Учтор	130
5	TLG	Талгар	60	18	CHAT	Чатырташ	145
6	KSA	Карасай	75	19	USP	Успеновка	160
7	KARL	Караколка	75	20	EKS	Еркенсай	160
8	TKM2	Токмак	75	21	ARA	Арал	160
9	KZA	Кузарт	80	22	POGR	Пограничник	165
10	KENS	Кенсү	85	23	AML	Алмаяшу	200
11	KBK	Карагайбулак	100	24	KAZ	Казарман	225
12	NRN	Нарын	105	25	KHA	Хантау	265
13	PDG	Подгорное	110	--	--	--	--



Синий треугольник – станции Тянь-Шаньской сети Чингиз; белый треугольник – станции сети KNET; бордовый треугольник – станции сети НЯЦ РК, кружок – сейсмическая группа Малайсары [9]

Рисунок 3. Расположение станций, записи которых использованы для исследований

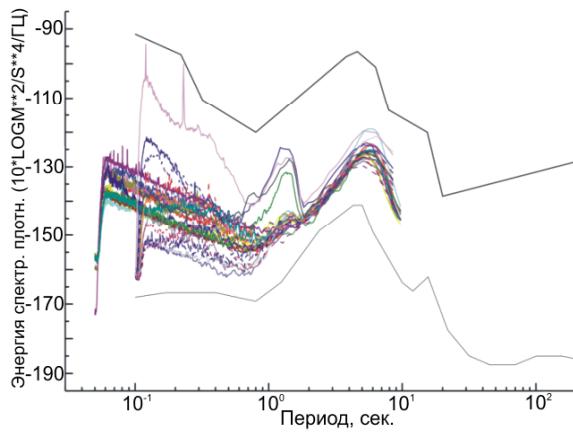
Для изучения сейсмического шума отобраны записи станций за первую половину 2000 г., поскольку в этот период работало наибольшее их количество. В это время на всех станциях сети KNET, а также на станциях ARA, CHAT и KENS использовались широкополосные сейсмометры типа STS2 (дигитайзер REFTEK72A), на остальных станциях – сейсмометры типа CMG3 (дигитайзер REFTEK72A).

Спектральная структура микросейсмических помех изучалась на основе рассчитанных спектров плотности сейсмического шума для вертикальной компоненты [1 - 3]. Выбирались 10-минутные фрагменты записей без сейсмических событий и коды далеких сильных землетрясений. Раздельно отбирались фрагменты записей в дни, когда на оз. Иссык-Куль были штормы, и в спокойные дни. Информация о штормах была получена независимо от сейсмических данных из сведений, имеющихся на станциях ОМСЭ (Опытно-методической сейсмической экспедиции) АН КР, расположенных вблизи оз. Иссык-Куль. Для анализа привлекались каталоги глобальных сетей NEIC (National Event Information Center) - каталог Геологической службы США и REB (Reviewed event bulletin) - каталог Международного центра данных Организации по Договору о

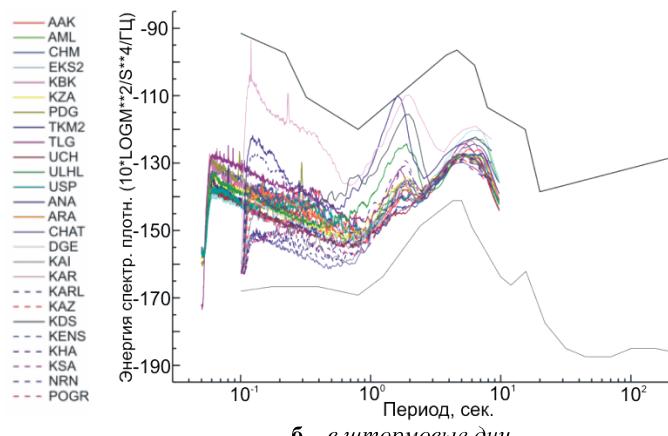
всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, а также региональный интерактивный сейсмологический бюллетень Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК).

На записях различных станций выбирались фрагменты за одно и тоже дневное время 7 - 8 ч. GMT. Создавались выборки, состоящие не менее чем из 10 фрагментов сейсмических записей, по которым строились медианные спектры.

На рисунке 4а показаны спектральные кривые сейсмического шума по всем станциям в дни, когда на оз. Иссык-Куль не было шторма. Из рисунка видно, что влияние «нормального» волнения на озере Иссык-Куль оказывается только на записях ближайших станций - ANA, KAR, KDS и ULHL, расположенных на расстояниях до 20 км от береговой линии озера. Проявление в спектральной плотности сейсмического шума влияния озера для ближайших станций выражается в виде характерного пика в диапазоне периодов 1.3 - 2 с. Однако во время штормов на оз. Иссык-Куль для всех тянь-шаньских станций обнаружено резкое возрастание спектральной плотности сейсмического шума в том же диапазоне частот по сравнению со спокойными днями (рисунок 4б).



a – в спокойные дни на оз. Иссык-Куль

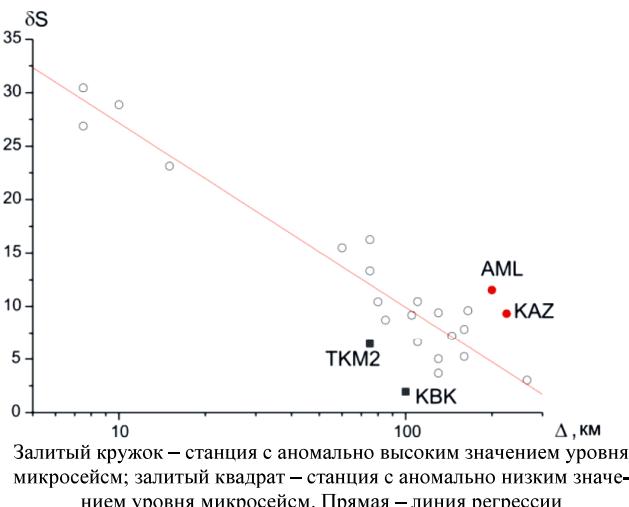


б – в штормовые дни

Рисунок 4. Спектральные кривые сейсмического шума на наблюдательных станциях

Ранее по данным малоапертурной сейсмической группы Малайсары, расположенной в 200 км на север от оз. Иссык-Куль (рисунок 3), которая вела регистрацию 4 - 25 октября 1987 г., были рассчитаны значения кажущейся скорости «штормовых» микросейсм, генерируемых озером [9]. Было установлено, что они изменяются в пределах от 3.5 до 7 км/с, что может свидетельствовать о том, что штормовые микросейсмы представлены в основном объемными волнами.

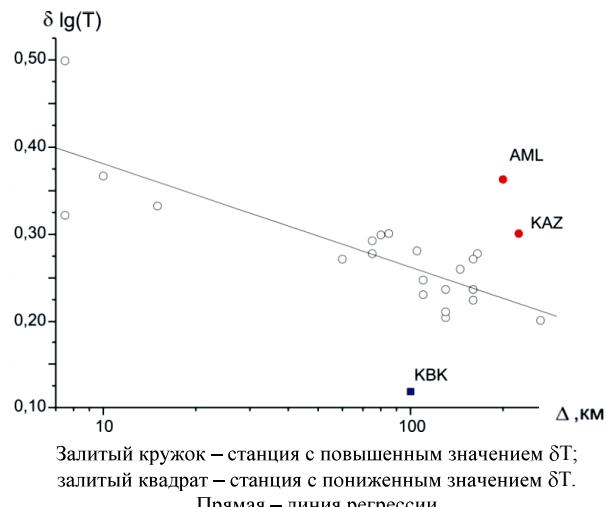
Для более детального анализа по каждой станции рассчитаны приращения уровня спектральной плотности шума δS (dB) в штормовые дни по отношению к дням без шторма. Приращение достигает 30 дБ для самых близких станций (ANA, KAR, KDS) и уменьшается по логлинейному закону (коэффициент корреляции $R \sim 0.96$) с удалением станций от озера (рисунок 5). Для самой далекой станции Хантау ($\Delta = 265$ км) $\delta S = 3$ дБ.



Заливенный кружок – станция с аномально высоким значением уровня микросейсм; заливенный квадрат – станция с аномально низким значением уровня микросейсм. Прямая – линия регрессии

Рисунок 5. Затухание максимальной амплитуды микросейсм с расстоянием Куль в области 1.7 с при штормах на оз. Иссык-Куль

Спектральный период, для которого достигается максимум δS , $T_0 \sim 1.73 \pm 0.17$ с. Для станций KBK и TKM2 наблюдаются низкие значения приращения уровня спектральной плотности шума δS . Наиболее вероятное объяснение этого эффекта связано с тем, что эти станции расположены вблизи от аномальной зоны Северного Тянь-Шаня [10, 11]; характеризующейся очень сильным поглощением поперечных волн в земной коре и в верхах мантии. Для двух удаленных станций AML и KAZ, особенностью которых является расположение в эпицентральной зоне Сусамырского землетрясения и вблизи нее, наблюдаются, наоборот, высокие значения уровня микросейсм. Следует отметить, что в этом районе по результатам других исследований [11] наблюдается слабое поглощение поперечных волн для глубин 30-50 км.



Заливенный кружок – станция с повышенным значением δT ; заливенный квадрат – станция с пониженным значением δT . Прямая – линия регрессии

Рисунок 6. Изменение ширины диапазона периодов δT микросейсм в зависимости от расстояния до озера при штормах на оз. Иссык-Куль

Интересным является тот факт, что с удалением станций от озера частотный диапазон сигналов, связанных со штормовыми явлениями, уменьшается. Так, для близких станций увеличение спектральных амплитуд сигналов характерно для частотной полосы шириной 0.3 ед. лог., тогда как для далеких - эффект связан с периодом 1.7с (± 0.24 ед. лог). На рисунке 6 показана зависимость от расстояния ширины диапазона периодов $\delta(\lg T)$, на которых наблюдается увеличение уровня микросейсм во время шторма. Уменьшение диапазона с расстоянием подчиняется линейному закону. Эмпирическая зависимость $\delta(\lg T) = f(\lg \Delta)$ характеризуется коэффициентом корреляции 0.83.

Самая далекая станция, на записях которой визуально выделяются штормовые микросейсмы оз. Иссык-Куль – малоаппартурная сейсмическая группа Карагату, входящая в сеть станций НЯЦ РК, расположенная на расстоянии 440 км к западу от озера [3]. Интересно, что озеро Балхаш, расположенное в Казахстане, по площади акватории значительно пре-восходящее Иссык-Куль и не уступающее по амплитуде морских волн и скорости ветра, не оказывает такого влияния на уровень микросейсм, регистрируемых станциями, расположенными в Казахстане. Эффект изменения уровня микросейсм во время штормов не обнаружен и для малоаппартурной группы Маканчи [3], расположенной вблизи крупного, но неглубокого озера Алаколь (Восточный Казахстан). Уникальное влияние оз. Иссык-Куль может быть объяснено тем, что во время штормов генерируются водяные стоячие волны, под воздействием которых возникают штормовые микросейсмы,

чему благоприятствует рельеф озерной впадины, большая глубина озера, а также направление ветров.

Выводы

- Подтвержден факт снижения эффективности системы наблюдений северотяньшаньских станций во время штормов на оз. Иссык-Куль.
- Для 25 широкополосных сейсмических станций, установленных на территории Кыргызстана и Казахстана, проведен детальный анализ динамических характеристик сейсмического шума в штормовые дни и в спокойные дни на оз. Иссык-Куль и получены эмпирические зависимости, связывающие приращение спектральной плотности и ширину частотного диапазона штормовых микросейсм с расстоянием до озера.
- Для всех станций обнаружено резкое возрастание спектральной плотности сейсмического шума в диапазоне периодов от 1.3 до 2.5 с во время штормов по сравнению со спокойными днями. Приращение уровня спектральной плотности шума достигает 30 дБ для самых близких станций (ANA, KAR, KDS) и уменьшается с расстоянием до станций. Самой далекой станцией, ощущающей штормы оз. Иссык-Куль, является станция Карагату, расположенная примерно в 400 км от озера.
- Для объяснения эмпирически полученных результатов следует провести математическое моделирование процессов генерации микросейсм оз. Иссык-Куль с учетом рельефа всей впадины и ее горного окружения.

ЛИТЕРАТУРА

- Соколова, И.Н. Модель сейсмического шума по наблюдениям сейсмической станции «Подгорное» / И.Н. Соколова, А.С. Мукамбаев // Вестник НЯЦ РК. - Вып. 3. – 2007 (в печати).
- Синёва, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций казахстанской сети. / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК: Геофизика и проблемы нераспространения. - 2000. – Вып .2. – С. 24 – 30.
- 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.
- Peterson J., Observation and Modeling of Seismic Background Noise / J Peterson. [et al] // Open-File Report 93 – 322, Albuquerque, New Mexico. - 1993. – Р. 42.
- Раутиан, Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км / Т.Г. Раутиан // Труды ИФЗ АН СССР. – 1964. – № 32 (199). - С. 72 – 98.
- Аранович, З.И. Методика расчета эффективности сетей региональных сейсмических станций на примере Кавказа / З.И. Аранович [и др.] // Вопросы оптимизации и автоматизации наблюдений. - Тбилиси: Мецниерба. - 1977. – С. 27 – 57.
- Vernon, F. Kyrgyzstan seismic telemetry network. IRIS Newsletter / F.Vernon. - 1992. – Vol. 11, № 1. – Р. 7 – 9.
- Roecker, S. Constrain of the crust and upper mantle of the Kyrgyz Tien Shan from the preliminary analysis of Ghengiz broadband seismic data. / S. Roecker // Russian Geology and Geophysics. – 2001. – Vol. 42, No. 10. – P 1473 – 1484.
- Каазик, П.Б. Анализ структуры микросейсм, регистрируемых группой с малой базой, развернутой вблизи оз. Иссык-Куль / П.Б. Каазик [и др.] // Режимные геофизические наблюдения. - М.: Наука, 1990. – С. 79 – 89.
- Копничев, Ю.Ф. Новые данные о геодинамических процессах в аномальной зоне Северного Тянь-Шаня: возможная подготовка сильного землетрясения / Ю.Ф. Копничев [и др.] // Вестник НЯЦ РК. - 2006. – Вып. 2. – С 60 – 70.
- Бакиров, А.Б. ред. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / А.Б. Бакиров - Бишкек: Илим, 2006. – 116 с.

**СОЛТУСТИК ТЯНЬ-ШАНЬ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША 1,7 С
ЖАҚЫН ПЕРИОДТАРЫНДА СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ ТУРАЛЫ**

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Қырғыстандағы Ыстық көлде дауыл және тынық күндеріндегі тяньшаньдық 25 кенжолакты сейсмикалық станциялары үшін сейсмикалық шулардың динамикалық сипаттамаларының түбекейлі талдауы жүргізілген. Барлық станциялар үшін дауыл күндерінде тынық күндерімен салыстырганда 1,3 – 2,5 с. периодтар ауқымында сейсмикалық шудың спектрлік тығыздылығы едәүір көтерілуі, сондай-ақ, қашықтығына байланысты, логсзықтық заңды бойынша кемуі анықталған.

**CHARACTERISTICS OF SEISMIC NOISE AT PERIODS NEAR 1.7S
ACCORDING TO DATA OF STATIONS LOCATED IN NORTHERN TIEN SHAN**

I.N. Sokolova, N.N. Mikhailova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Detailed analysis of dynamical characteristics of seismic noise in storm days and calm days in Issyk Kul Lake was done for 25 broadband seismic stations installed on the territory of Kyrgyzstan. All stations show sharp increase of spectral density of seismic noise in periods range from 1.3 to 2.5 s during storm days in comparison with calm days, and show decrease with distance according to logarithmic linear law.