

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ШУМ ПЕРЕД ГЛАВНЫМ ТОЛЧКОМ В ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Приведены результаты изучения сейсмического шума перед землетрясениями Тянь-Шаня на основе данных цифровых широкополосных станций сети KNET (Kyrgyz Telemetered Network). Установлены закономерности изменения спектральной плотности, угловой частоты и наклона графика спектра выше угловой частоты во времени и пространстве. Отмечено, что полученные оригинальные результаты могут быть использованы для расширения функциональной возможности метода краткосрочной оценки сейсмической опасности.

Ключевые слова: сейсмический шум, мониторинг сейсмического шума, период подготовки землетрясения, главный толчок, время вступления P – волны, спектр сейсмического шума.

ТЯНЬ-ШАНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨ ДАЯРДАЛЫП ЖАТКАН АЙМАКТАГЫ НЕГИЗГИ СИЛКИНУУНУН АЛДНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК ШУУЛДОО

Кыскача мазмуну. Макалада KNET (Kyrgyz Telemetered Network) санариптик кең тилкелүү станциялар тармагынын маалыматынын негизинде Тянь-Шандагы бир катар жер титирөөлөрдүн сейсмикалык шуулдоосун талдоо жыйынтыктары берилген. Убакыт жана мейкиндик боюнча спектрдик тыгыздыктын, бурчтук жыштыктын жана андан жогорку спектрдин графигинин эңкейишинин өзгөрүү закон ченемдүүлүктөрү аныкталган. Алынган оригиналдуу жыйынтыктар сейсмикалык коркунучту кыска мөөнөттө баа берүү усулунун функционалдык мүмкүнчүлүктөрүн кеңейтүү үчүн колдонушу мүмкүн экендиги белгиленген.

Негизги сөздөр: сейсмикалык шуулдоо, сейсмикалык шуулдоо мониторинги, жер титирөөнүн даярдык мезгили, негизги силкинүү, P-толкундун киришүү убактысы, сейсмикалык шуулдоо спектри.

SEISMIC NOISE BEFORE THE MAIN SHOCK IN THE PREPARATION AREA OF THE TIEN SHAN EARTHQUAKES

Abstract. Results on seismic noise monitoring, recorded before the Tien Shan earthquakes according to the KNET data (Kyrgyz Telemetered Network) are presented in the paper. Change of regularities in the spectral density, corner frequency, and in the slope of the spectrum plot above the corner frequency in time and space are defined. It is noted that the obtained original results can be used to expand the functionality of the short-term seismic hazard assessment method.

Keywords: seismic noise, seismic noise monitoring, earthquake preparation period, main shock, P-wave arrival time, seismic noise spectrum.

Введение

Сейсмический шум – особый тип сейсмических волн со сложной природой и механизмом [1-4]. Его изучают для мониторинга напряжённо-деформированного состояния среды и прогноза землетрясений, а также для выделения «чистых» сигналов на записях сейсмических волн землетрясения или взрыва [5-7].

Сейсмический шум мало изучался на примере подготовки землетрясения Тянь-Шаня. В связи с этой актуальной проблемой нами изучен сейсмический шум на высокоточных цифровых сейсмических станциях сети KNET [4]. Для этого выбрана сейсмическая станция, расположенная на близком эпицентральной расстоянии, и, начиная от момента вступления Р-волны, в обратном направлении времени в синхронных временных интервалах с шагом 12 секунд выделялись записи сейсмического шума на имеющихся станциях. Определялись спектры сейсмического шума в интервалах времени: (0,-12) секунд, (-12, -24) секунд, (-24, -36) секунд и т.д. В качестве параметров спектров сейсмического шума приняты: угловая частота, амплитуда спектральной плотности при угловой частоте и наклон графика спектра выше угловой частоты (на графике в логарифмических координатах).

Сейсмический шум перед землетрясением 02.03.2010 г. ($m_{pv}=5.8$, $K=12.6$)

Землетрясение ($m_{pv}=5.8$, $K=12.6$) произошло 02.03.2010 г. в восточной части Кыргызского поднятия на глубине 34.1 км. Координаты эпицентра: $\varphi=42.42^\circ$, $\lambda=75.65^\circ$. Сейсмические станции сети KNET находились на эпицентральных расстояниях: «Кызарт» (KZA, $\varphi = 42.0777^\circ$, $\lambda = 75.2495^\circ$) - 50.8 км, «Улахол» (ULHL, $\varphi = 42.2455^\circ$, $\lambda = 76.217^\circ$) – 52.2 км, «Токмок» (TKM2, $\varphi = 42.9207^\circ$, $\lambda = 75.5965^\circ$) – 55.6 км, «Карагай-Булак» (КБК, $\varphi = 42.6563^\circ$, $\lambda = 74.9477^\circ$) – 63.6 км, «Ала-Арча» (ААК, $\varphi = 42.6375^\circ$, $\lambda = 74.4943^\circ$) – 96.2 км, «Учтор» (UCH, $\varphi = 42.2275^\circ$, $\lambda = 75.5133^\circ$) – 96.5 км и т.д.

На рисунках 1-4 приведены спектры сейсмического шума на сейсмической станции «Кызарт» (KZA).

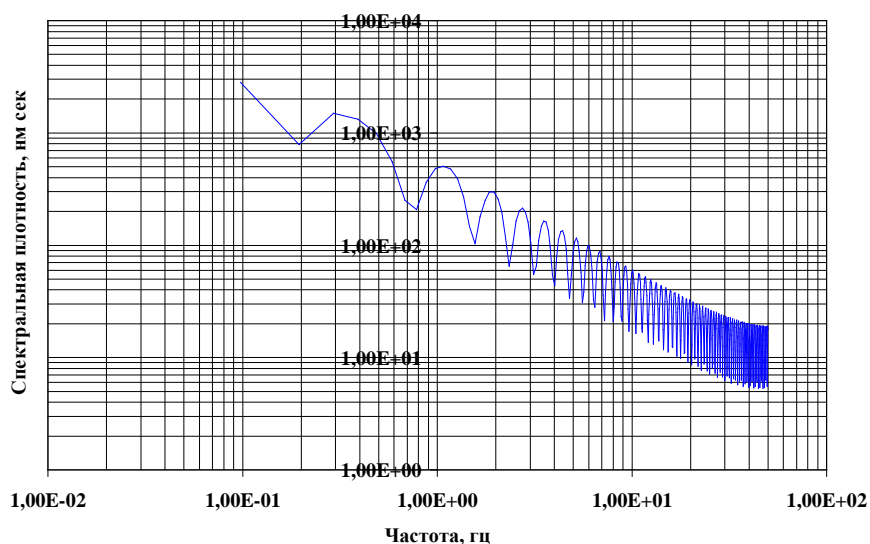


Рис.1. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-45, -36) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции KZA.

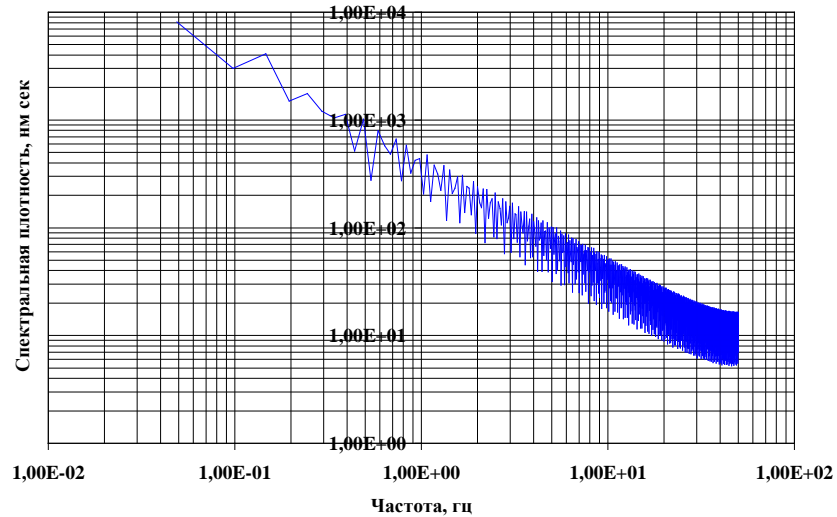


Рис.2. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-36, -24) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции KZA.

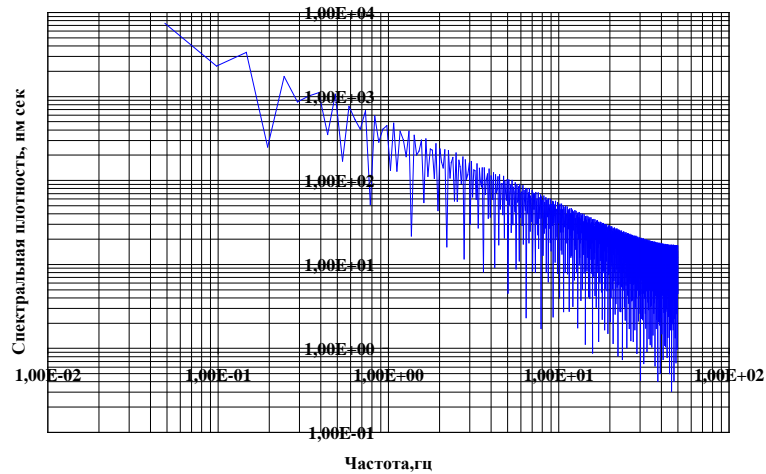


Рис.3. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-24, -12) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции KZA.

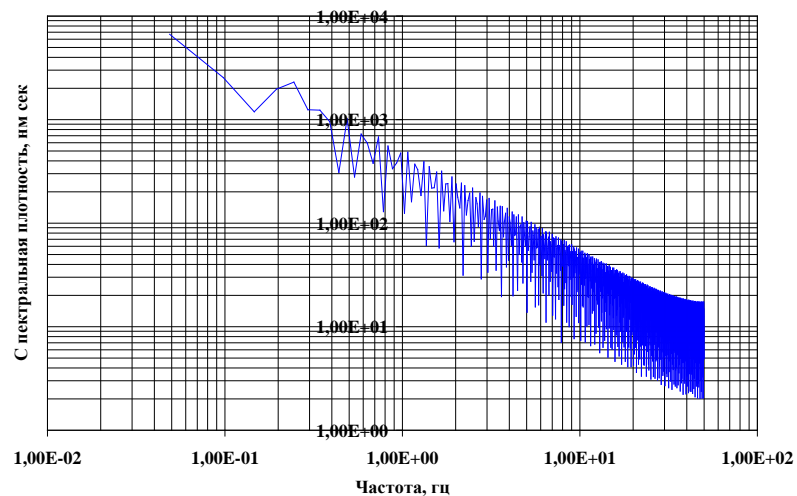


Рис.4. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-12, 0) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции KZA.

На рисунках 5-8 приведены спектры сейсмического шума на сейсмической станции «Улахол» (ULHL) сети KNET.

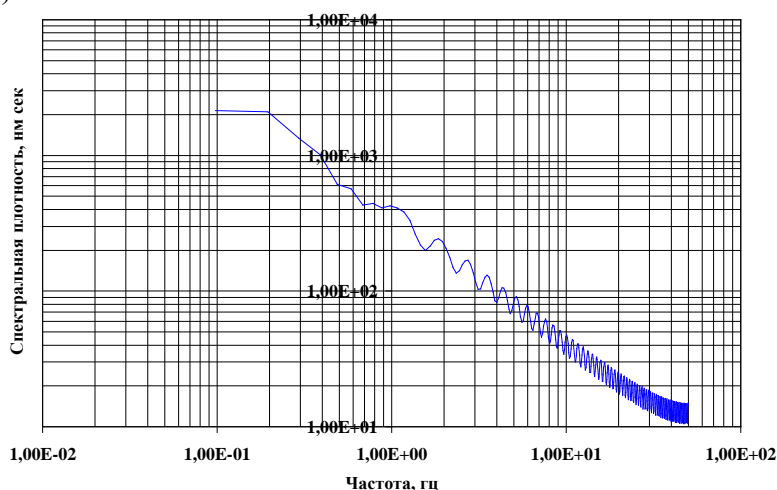


Рис.5. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-45, -36) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ULHL.

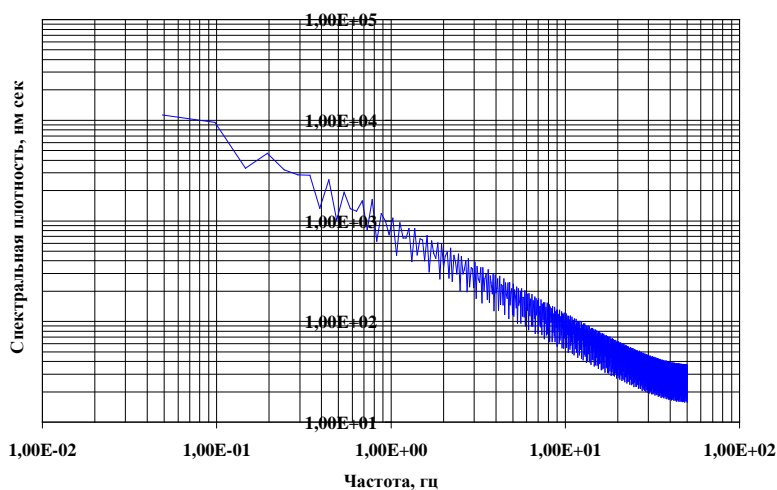


Рис.6. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-36, -24) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ULHL.

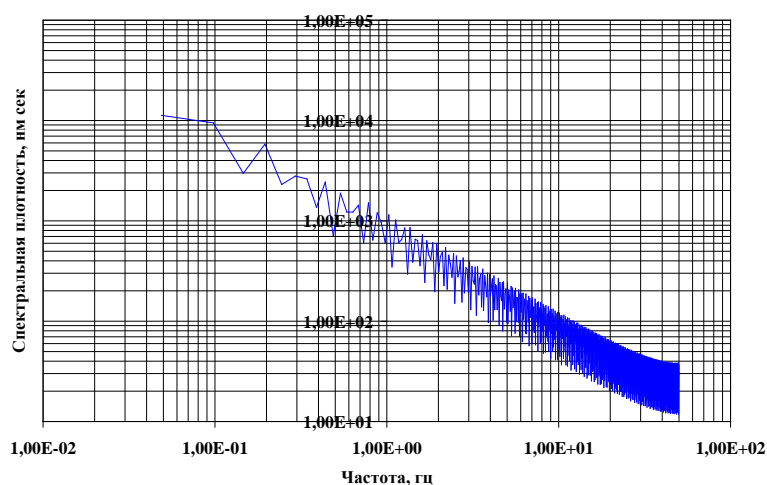


Рис.7. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-24, -12) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ULHL.

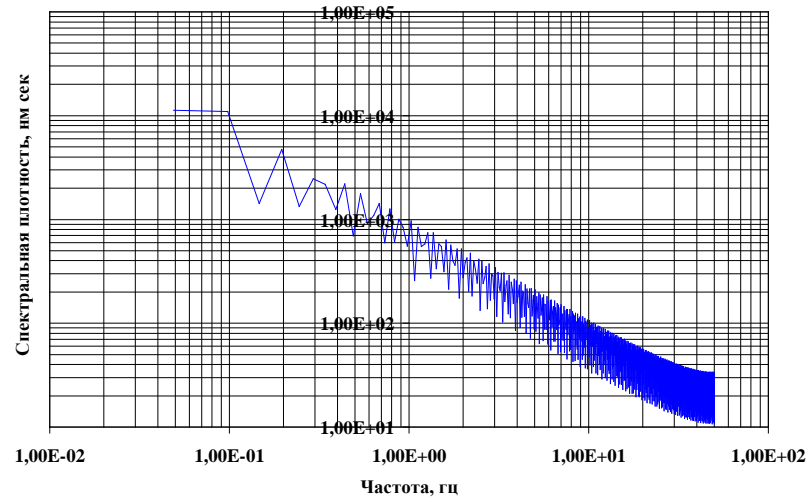


Рис.8. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-12, 0) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ULHL.

На рисунках 9-12 приведены спектры сейсмического шума на сейсмической станции «Токмок» (TKM2) сети KNET.

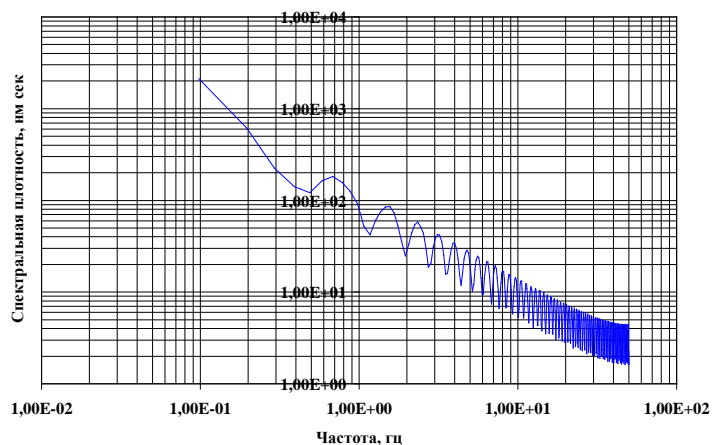


Рис.9. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-45, -36) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции TKM2.

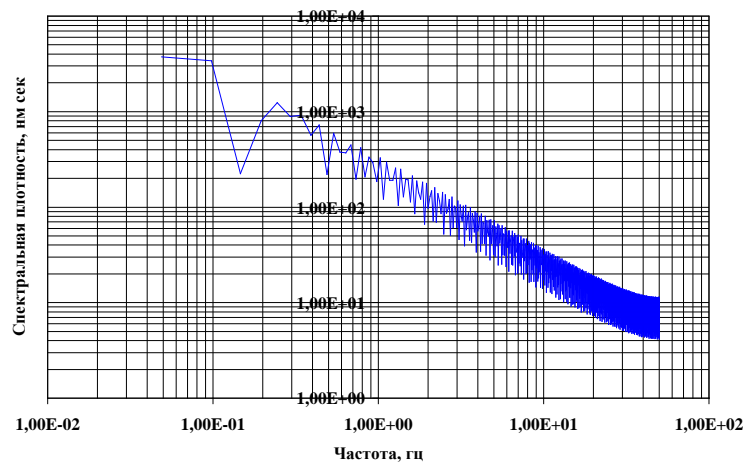


Рис.10. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-36, -24) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции TKM2.

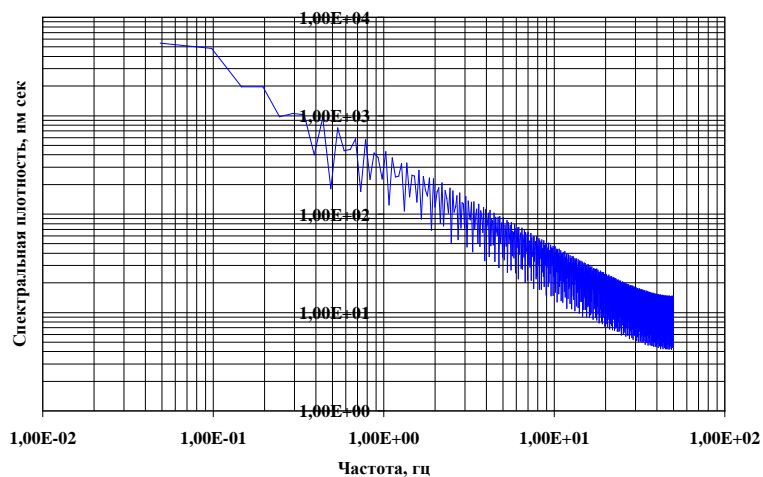


Рис.11. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-24, -12) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ТКМ2.

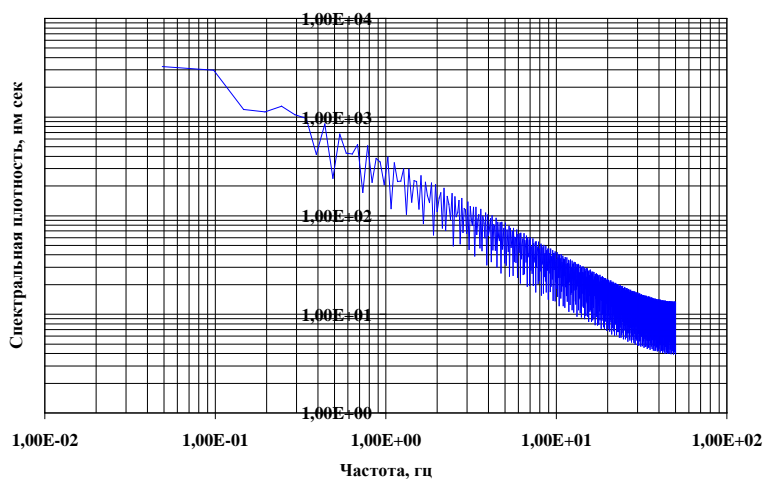


Рис.12. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-12, 0) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ТКМ2.

На рисунках 13-16 приведены спектры сейсмического шума на сейсмической станции «Карагай-Булак» (КБК) сети KNET.

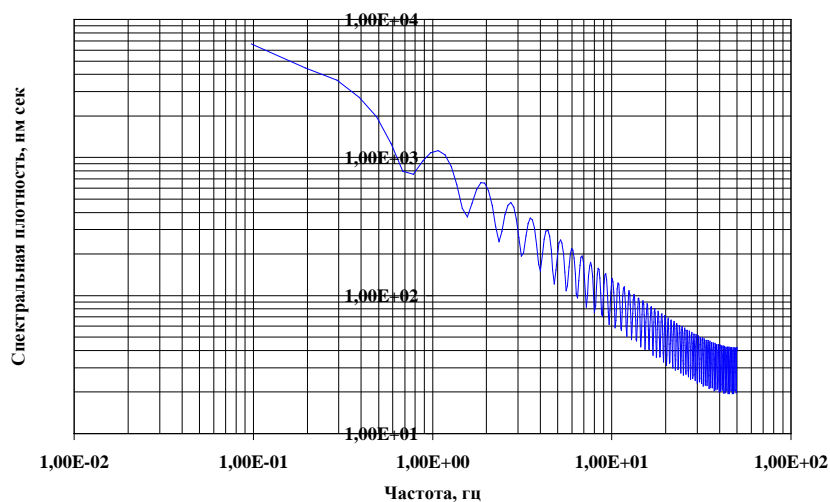


Рис.13. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-45, -36) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции КБК.

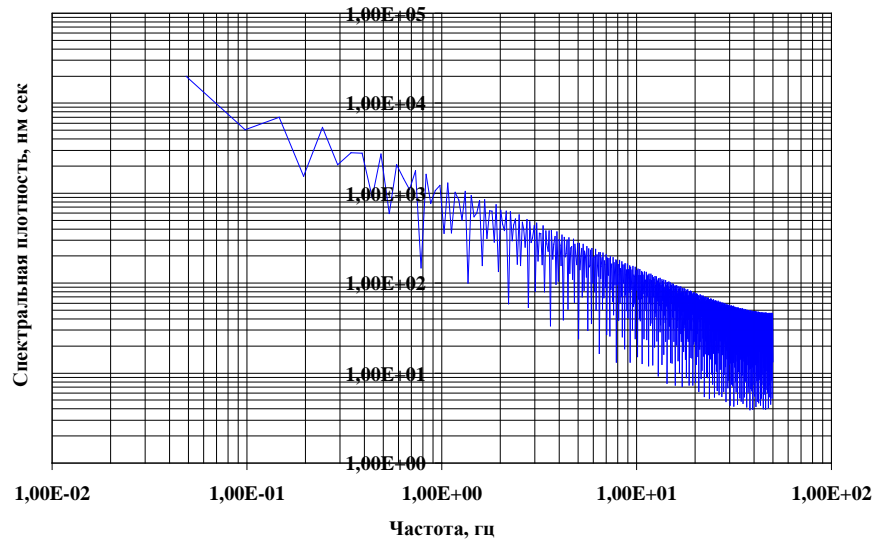


Рис.14. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-36, -24) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции КВК.

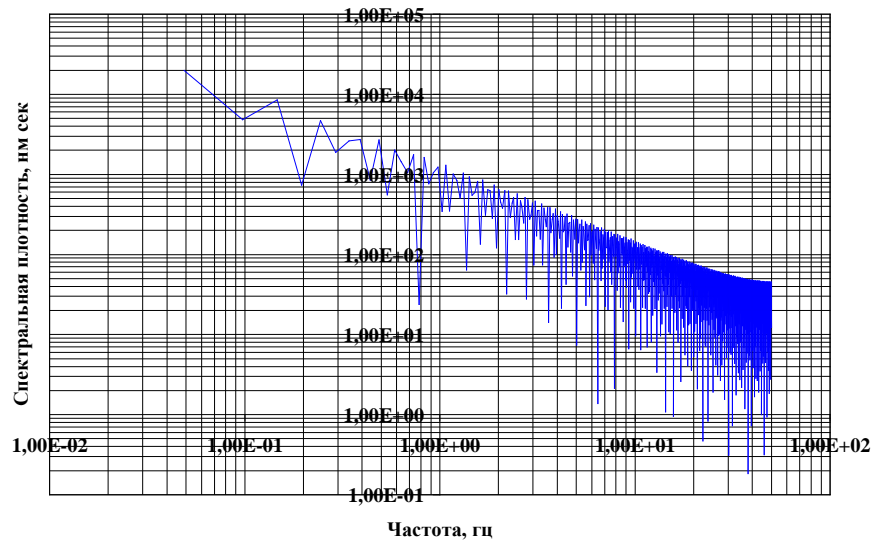


Рис.15. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-24, -12) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции КВК.

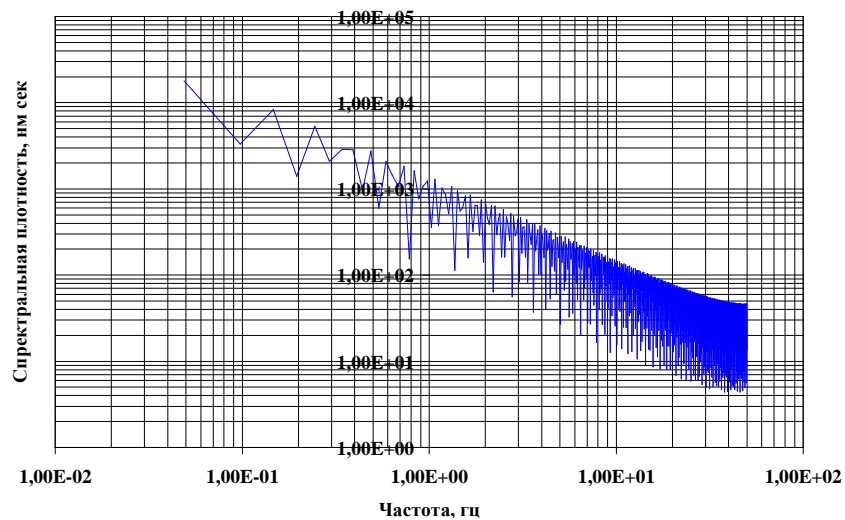


Рис.16. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-12, 0) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции КВК.

На рисунках 17-20 приведены спектры сейсмического шума на сейсмической станции «Ала-Арча» (ААК) сети KNET.

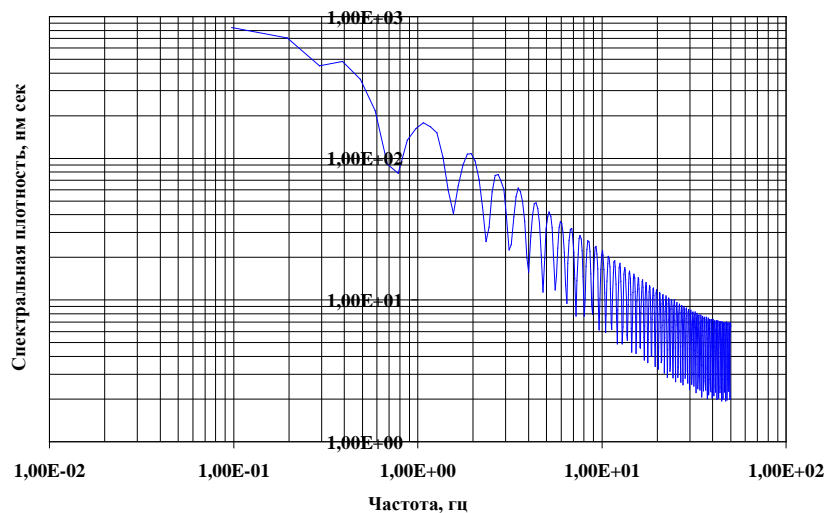


Рис.17. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-45, -36) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ААК.

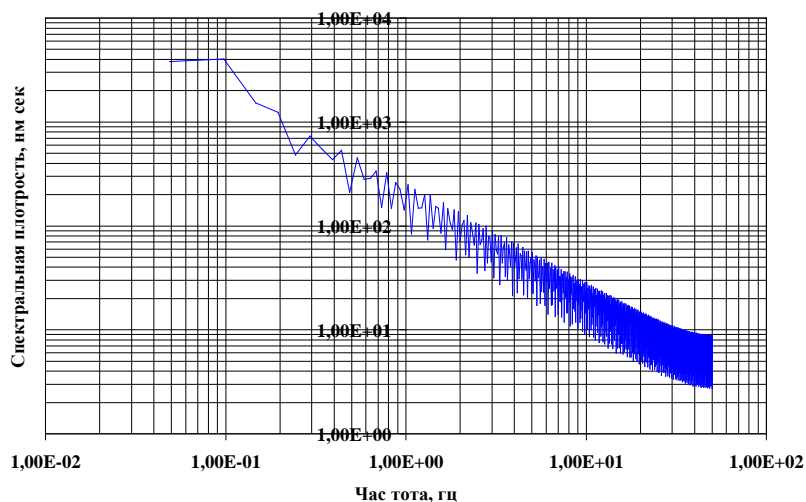


Рис.18. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-36, -24) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ААК.

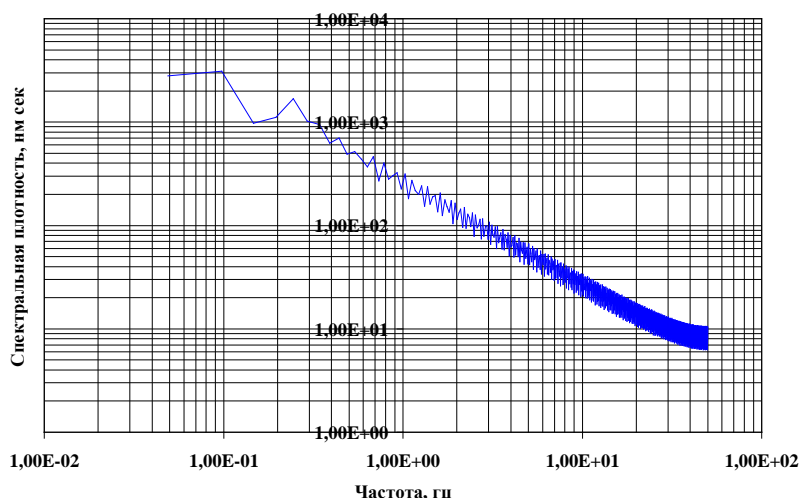


Рис.19. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-24, -12) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ААК.

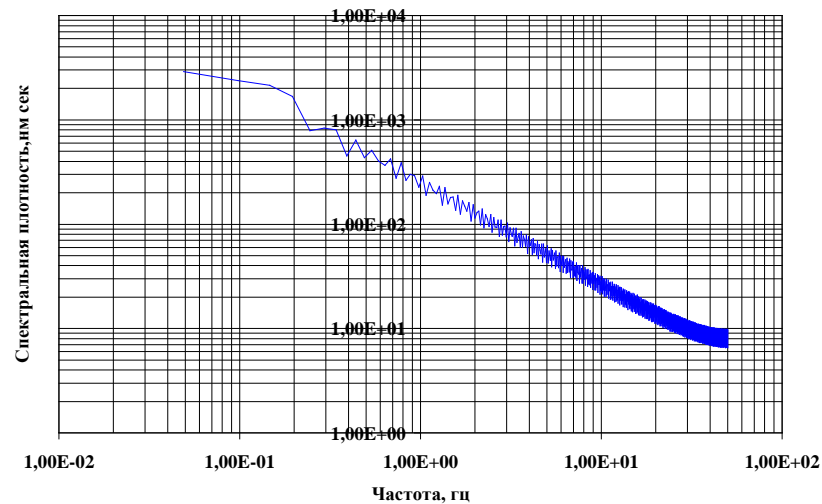


Рис.20. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-12, 0) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции ААК.

На рисунках 21-24 приведены спектры сейсмического шума на сейсмической станции «Учтор» (UCH) сети KNET.

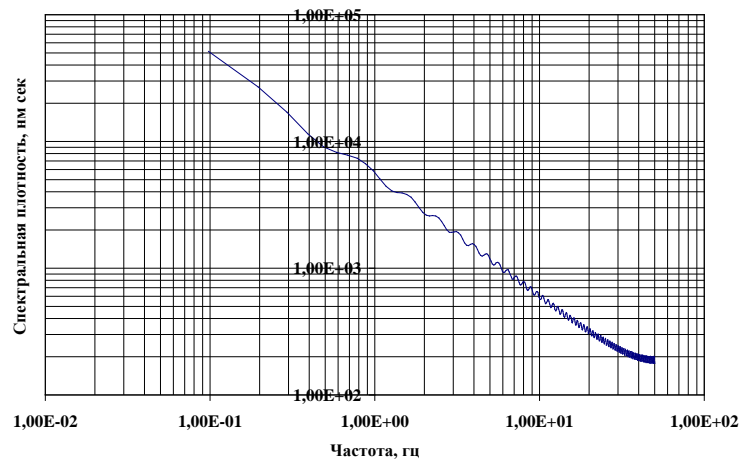


Рис.21. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-45, -36) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции UCH. Значение угловой частоты неопределённое.

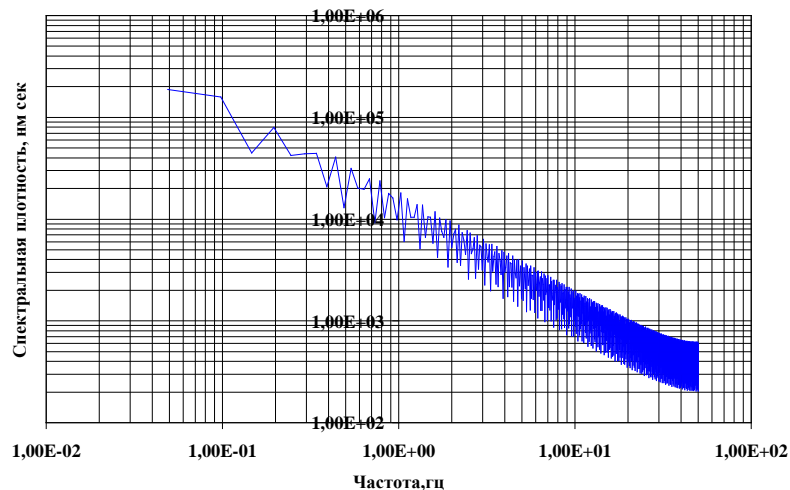


Рис.22. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-36, -24) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции UCH.

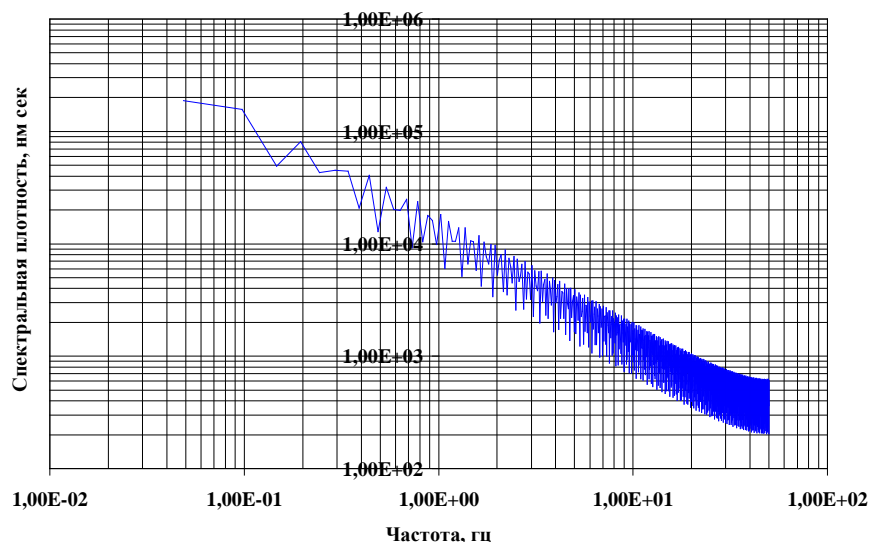


Рис.23. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-24, -12) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции UCH.

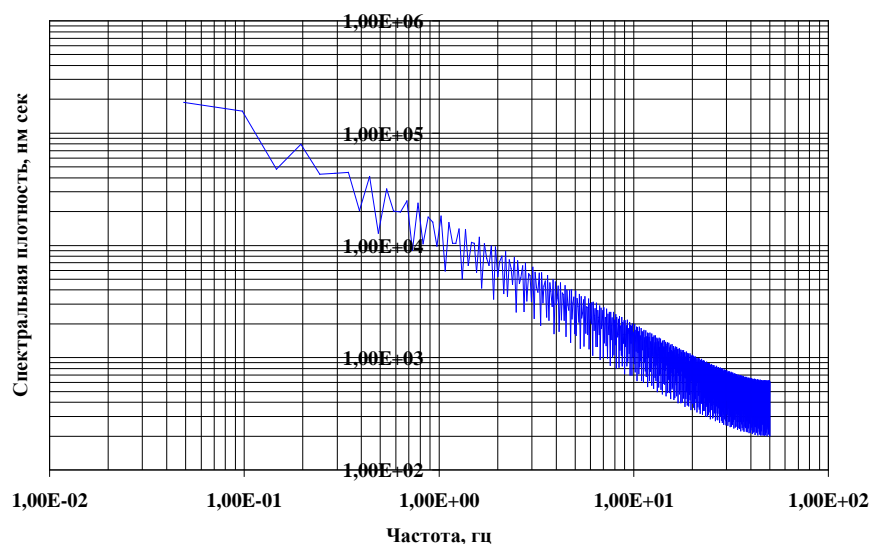


Рис.24. Спектр сейсмического шума в интервале времени (-12, 0) секунд до главного толчка землетрясения 02.03.2010 г., $m_{pv}=5.7$ на станции UCH.

На вышеприведённых рисунках видно, что графики спектров сейсмического шума после интервала времени (-45, -36), при приближении момента возникновения землетрясения, становились более изрезанными множеством пиковых значений амплитуды спектральной плотности. Очевидно, они отражали проявление разрывов в массивах горных пород перед главным толчком.

На спектрах сейсмического шума разных интервалов и различных станций определены угловые частоты, амплитуды спектральной плотности на данных угловых частотах и наклон (коэффициенты) графика спектра при частотах выше угловой частоты (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, значения угловых частот в интервале времени (-36,-24) резко уменьшались по сравнению со значениями угловых частот в интервале времени (-45, -36). В то время амплитуды спектральной плотности при угловых частотах в интервале (-36, -24) резко увеличились по сравнению с амплитудами спектральной плотности в интервале (-45, -36).

Таблица 1. Параметры спектра сейсмического шума.

N nn	Сейсмическая станция	Интервал времени, секунд											
		Угловая частота, Гц				Спектральная плотность, нм/сек				Наклон (коэффициент) спектра			
		(-45,-36)	(-36,-24)	(-24,-12)	(-12,0)	(-45,-36)	(-36,-24)	(-24,-12)	(-12,0)	(-45,-36)	(-36,-24)	(-24,-12)	(-12,0)
1.	«Кызарт» (KZA)	0.39	0.146	0.146	0.244	1319	4000	3346	2298	-0.94	-0.95	-0.97	-1.02
2.	«Улахол» (ULHL)	0.19	0.098	0.098	0.098	2094	9543	9448	11008	-0.94	-0.90	-0.96	-0.94
3.	«Токмок» (TKM2)	0.68	0.25	0.097	0.086	182	1237	4811	2995	-0.98	-0.94	-1.02	-0.86
4.	«Карагай- Булак» (КВК)	1.07	0.24	0.146	0.146	1125	5374	8496	8338	-0.96	-0.96	-0.94	-0.93
5.	«Ала-Арча» (АКК)	0.39	0.19	0.34	0.19	481	1238	947	1684	-0.93	-0.97	-1.00	-1.04
6.	«Учтор» (УСН)	*	0.097	0.097	0.097	*	158112	156721	156375	-0.94	-0.91	-0.91	-0.94

Примечание: * - неопределённое значение.

На рисунках 25-28 приведены гистограммы изменения во времени значений спектральной плотности на станциях: «Кызарт», «Улахол», «Токмок», «Карагай-Булак» соответственно.

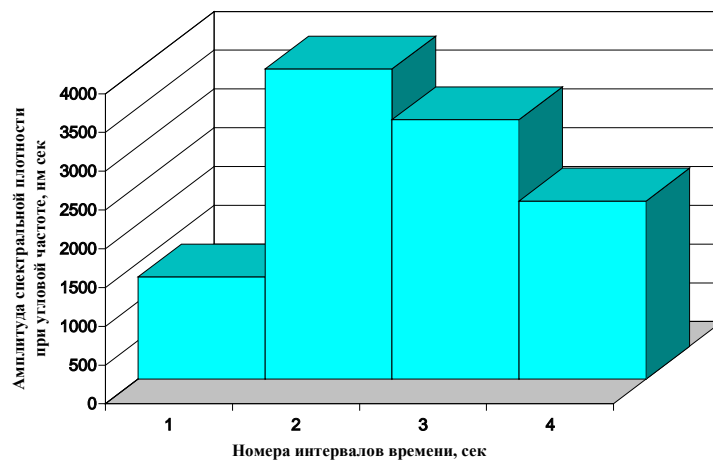


Рис.25. Изменение во времени значений спектральной плотности при угловых частотах в интервалах времени: 1- (-45,-36) секунд, 2- (-36, -24) секунд, 3- (-24, -12) секунд, 4- (-12, 0) секунд на сейсмической станции «Кызарт» сети KNET.

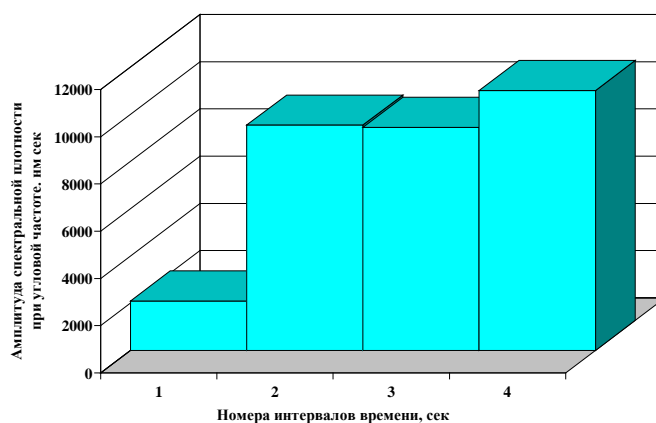


Рис.26. Изменение во времени значений спектральной плотности при угловых частотах в интервалах времени: 1- (-45,-36) секунд, 2- (-36, -24) секунд, 3- (-24, -12) секунд, 4- (-12, 0) секунд на сейсмической станции «Улахол» сети KNET.

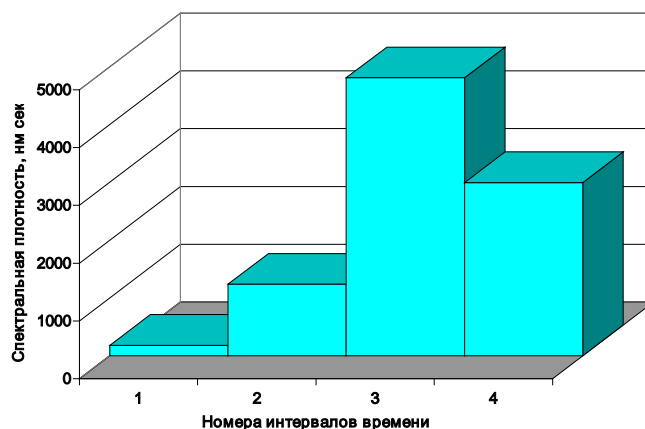


Рис.27. Изменение во времени значений спектральной плотности при угловых частотах в интервалах времени: 1- (-45,-36) секунд, 2- (-36, -24) секунд, 3- (-24, -12) секунд, 4- (-12, 0) секунд на сейсмической станции «Токмок» сети KNET.

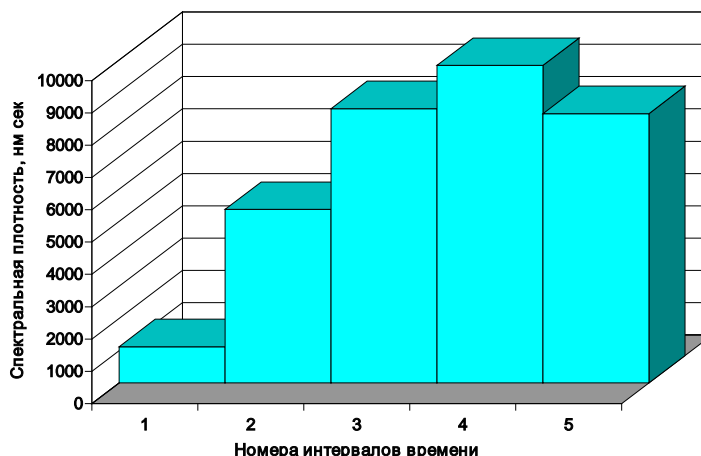


Рис.28. Изменение во времени значений спектральной плотности при угловых частотах в интервалах времени: 1- (-45,-36) секунд, 2- (-36, -24) секунд, 3- (-24, -12) секунд, 4- (-12, 0) секунд на сейсмической станции «Карагай-Булак» сети KNET.

Значения наклона графика спектра при частотах выше угловой частоты (см. табл.1), в основном, избирательно изменялись в интервалах (-24, -12) и (-12, 0) секунд.

На рисунках 29, 30 приведено пространственное распределение значений спектральной плотности в интервалах времени (-46, -36) и (-36, -24) секунд.

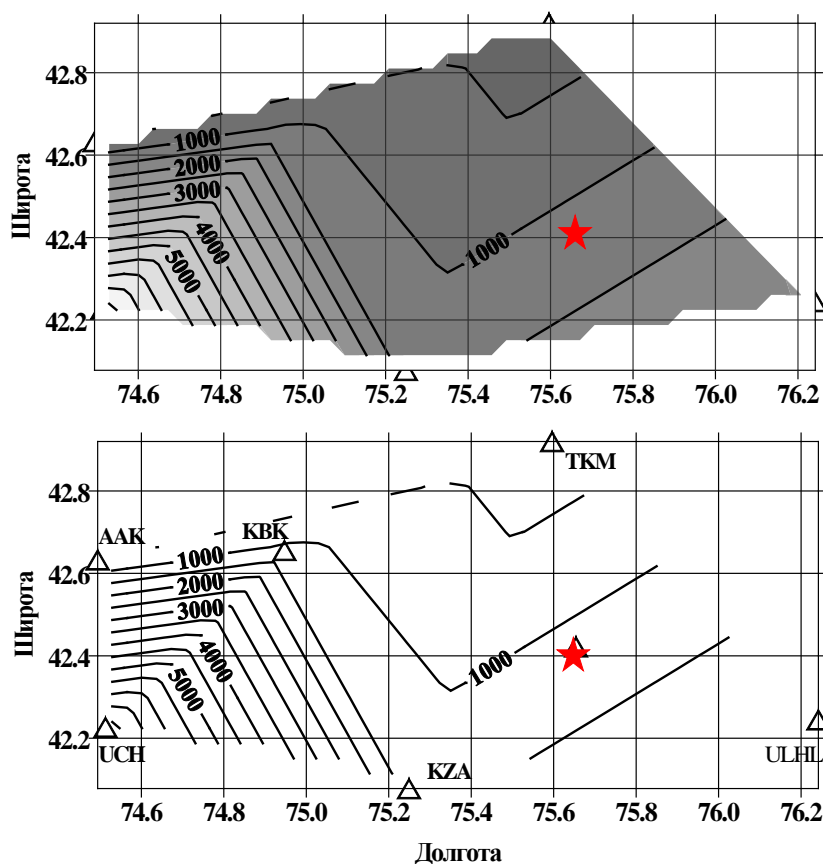


Рис.29. Пространственное распределение значений спектральной плотности при угловой частоте в интервале времени (-45, -36) секунд. Треугольниками обозначены сейсмические станции сети KNET: ULHL- «Улахол», TKM (TKM2) – «Токмок»,

KZA – «Кызарт», KBK – «Карагай-Булак», AAK – «Ала-Арча», UCH – «Учтор». Звёздочкой показан эпицентр землетрясения 02.03.2010 г.

В интервале времени (-45, -36) секунд на сейсмических станциях «Учтор» проявились большие значения (7300 и 2094 нм/сек). Очевидно, это связано с тем, что они расположены вблизи от очаговых областей Суусамырского (1992 г., $K=17$) и Кочкорского (2006 г., $K=14$) землетрясений. В то время как на станциях «Токмок», «Ала-Арча» проявились малые значения спектральной плотности (182-481 нм/сек). На сейсмических станциях, таких как «Кызарт», «Карагай-Булак» отмечены промежуточные значения спектральной плотности (1125 - 1319 нм/сек). В интервале времени (-36, -24) секунд значения амплитуды спектральной плотности были еще большими на станциях «Учтор», «Улахол» и относительно малыми на станциях «Токмок», «Ала-Арча».

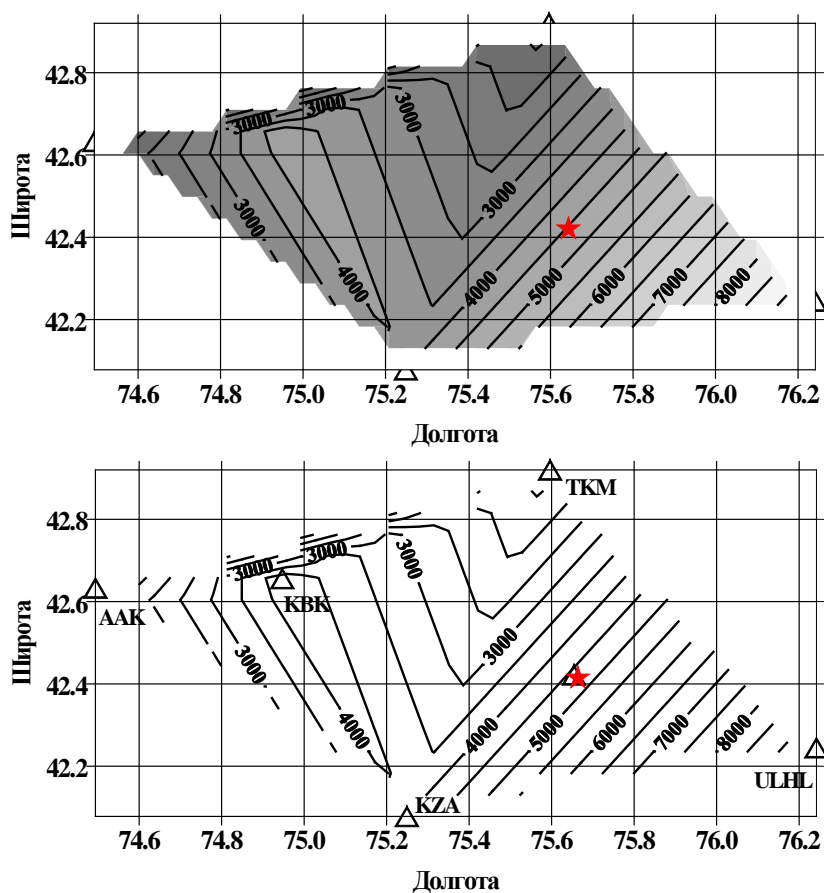


Рис.30. Пространственное распределение значений спектральной плотности при угловой частоте в интервале времени (-36, -24) секунд. Треугольниками обозначены сейсмические станции сети KNET: ULHL- «Улахол», TKM (TKM2) – «Токмок», KZA – «Кызарт», KBK – «Карагай-Булак», AAK – «Ала-Арча», UCH – «Учтор». Звёздочкой показан эпицентр землетрясения 02.03.2010 г.

Распределение в пространстве значений разницы амплитуд спектральной плотности между интервалами времени (-45, -36) и (-36, -24) секунд показано на рисунке 31. Большие разницы в значениях спектральной плотности проявились на станциях «Учтор» и «Улахол» (150812 и 7449 нм/сек), малые значения разницы - на станциях «Токмок» и «Ала-Арча» (1055 и 757 нм/сек), промежуточные значения разницы (2680 и 4200 нм/сек) – на станциях «Кызарт», «Карагай-Булак». Соответственно в пределах

станций «Токмок», «Карагай-Булак» и «Кызарт» выделялась малоактивная область с относительно малыми значениями спектральной плотности. Западнее и восточнее от этой области выделялись активные области (Учторская и Улахолская) с большими значениями спектральной плотности. Землетрясение (02.03.2010 г., $m_{pv} = 5.7$) произошло через 24 секунд в восточной пограничной зоне малоактивной области.

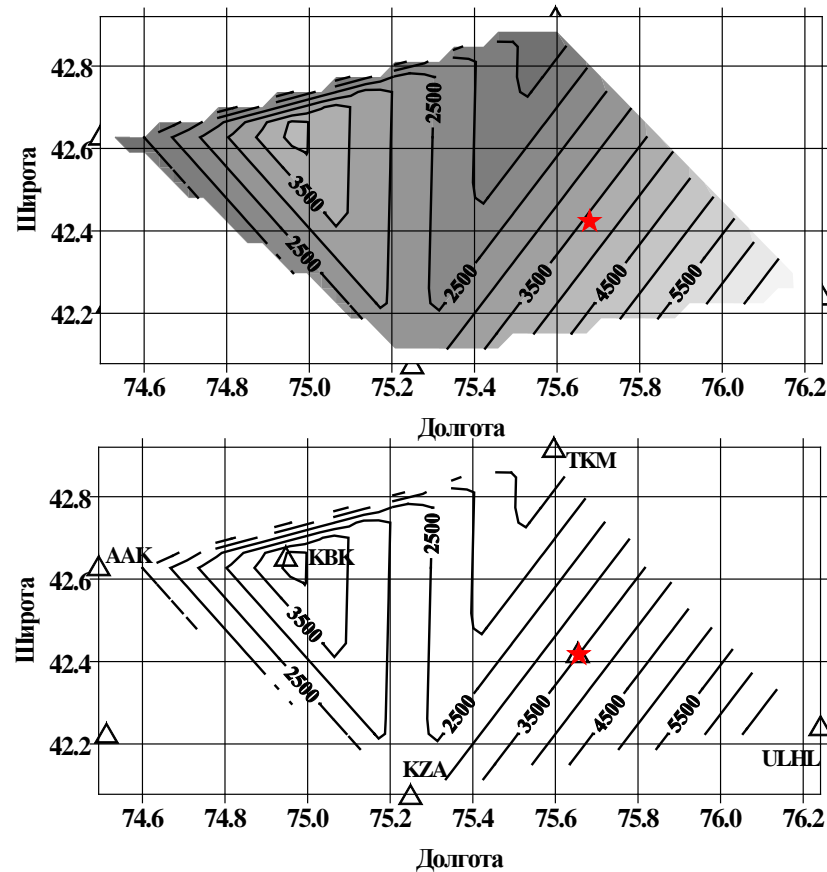


Рис.31. Пространственное распределение разницы значений спектральной плотности между интервалами времени (-45, -36) секунд и (-36, -24) секунд. Треугольниками обозначены сейсмические станции сети KNET: ULHL- «Улахол», ТКМ (TKM2) – «Токмок», KZA – «Кызарт», KBK – «Карагай-Булак», ААК – «Ала-Арча», УСН – «Учтор». Звёздочкой показан эпицентр землетрясения 02.03.2010 г.

Сейсмический шум перед землетрясением 30.05.2012 г. ($m_{pv} = 6.2$, $K = 14.0$)

Землетрясение ($m_{pv} = 6.2$, $K = 14.0$) произошло 30.05.2012 г. в восточной части Заилийского поднятия (Казахстан). Координаты эпицентра: $\varphi = 43.49^\circ$, $\lambda = 78.73^\circ$. На относительно близком эпицентральной расстоянии (64 км) находилась станция «Подгорное» (PDG). На рисунках 32, 33 приведены в качестве примера спектры сейсмического шума в интервалах времени 138-150, 150-162 сек, 162-174 сек (номера интервалов: 12, 13, 14) и интервалах времени: 0-18 сек, 18-30 сек, 30-42 сек (номера интервалов: 1, 2, 3) назад от времени вступления Р волны. На рисунке 33 отмечается рост значений спектральной плотности рассматриваемых частот во времени от интервала 42-30 сек до интервала 18-0 сек.

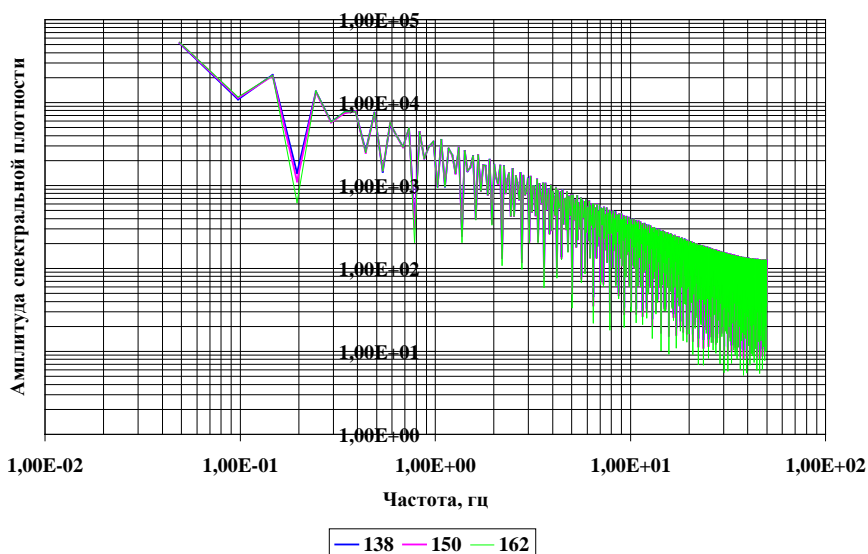


Рис. 32. Спектры сейсмического шума в интервалах времени: 12 - 138-150 сек, 13- 150-162 сек, 14- 162-174 сек до вступления Р-волны перед главным толчком землетрясения 30.05.2012 г., $m_p v = 6.2$, $K=14.0$.

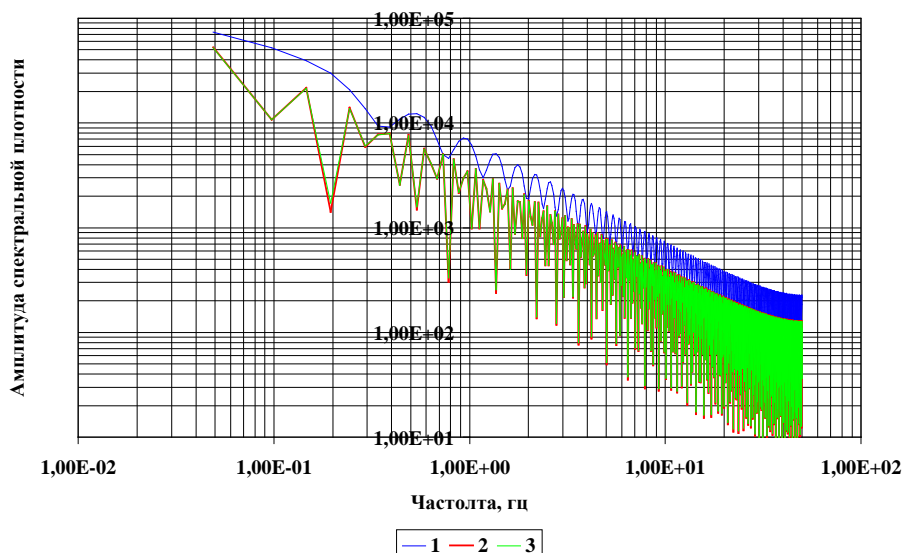


Рис. 33. Спектры сейсмического шума в интервалах времени: 1 - 0-18 сек, 2 - 18-30 сек, 3- 30-42 сек до вступления Р-волны перед главным толчком землетрясения 30.05.2012 г., $m_p v = 6.2$, $K=14.0$.

На рисунке 34 приведено изменение значений спектральной плотности 0.19 Гц и 0.29 Гц частот во времени. Спектральная плотность 0.19 Гц частоты в интервале 15 (174-186 сек) составляла 2358 нм/сек, в 14 интервале (162-174 сек) – 620 нм/сек и в близких интервалах имела относительно малые значения. В интервале 1 (0-18 сек) наблюдался скачок значения спектральной плотности до 39304 нм/сек. Значение спектральной плотности 0.29 Гц частоты в интервале 15 (174-186 сек) составляло 1594 нм/сек, в интервале 14 (162-174 сек) произошел скачок до 5854 нм/сек и в близких интервалах - мало изменялось. В интервале 1 (0-18 сек) наблюдался скачок значения спектральной плотности до 13713 нм/сек.

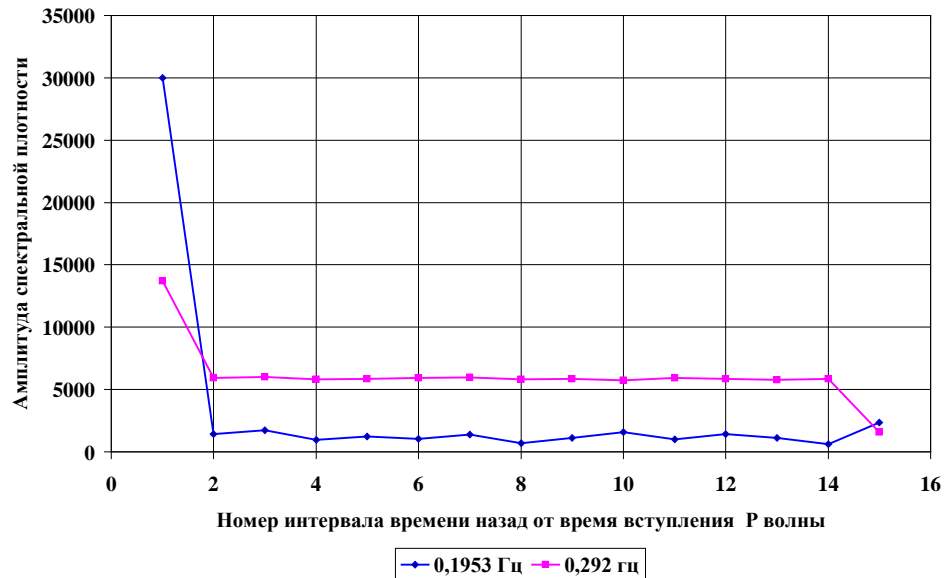


Рис.34. Изменение значений спектральной плотности 0.19 Гц и 0.29 Гц частот во времени от интервала 15 (174-186 сек) до интервала 1 (0-18 сек) – до вступления Р- волны.

Сейсмический шум перед землетрясением 05.02.2012 г. ($m_{pv}=5.6$, $K=12.2$)

Землетрясение ($m_{pv}=5.6$, $K=12.2$) произошло 05.02.2012 г. в центральной части поднятия Молдо-Тоо. Координаты эпицентра: $\varphi=41.568^\circ$, $\lambda=74.764^\circ$. На относительно близких эпицентральных расстояниях находились станции: «Кызарт» (KZA, $\varphi=42.0777^\circ$, $\lambda=75.2495^\circ$) - 69.5 км и «Учтор» (UCH, $\varphi=42.2275^\circ$, $\lambda=75.5133^\circ$) - 76.2 км. На рисунках 35, 36 приведены в качестве примера спектры сейсмического шума на станции «Кызарт» (KZA) в интервалах времени: 14 - 156-168 сек, 15 - 168-180 сек, 16 - 180-192 сек и интервалах времени: 1 - 0-12 сек, 2 - 12-24 сек, 3 - 24-36 сек до времени вступления Р волны.

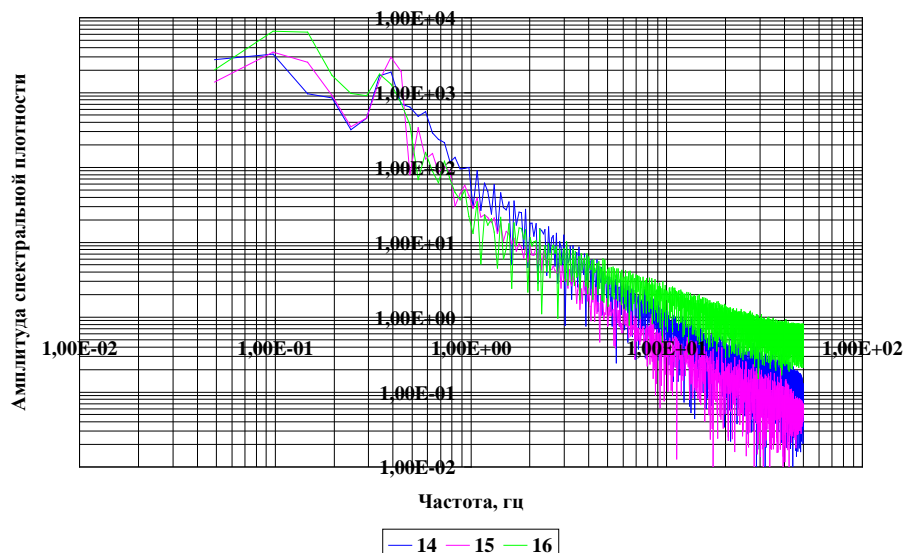


Рис. 35. Спектры сейсмического шума на станции «Кызарт» в интервалах времени: 14 - 156-168 сек, 15 - 168-180 сек, 16 - 180-192 сек до вступления Р-волны перед главным толчком землетрясения 05.02.2012 г., $m_{pv}=5.6$, $K=12.2$.

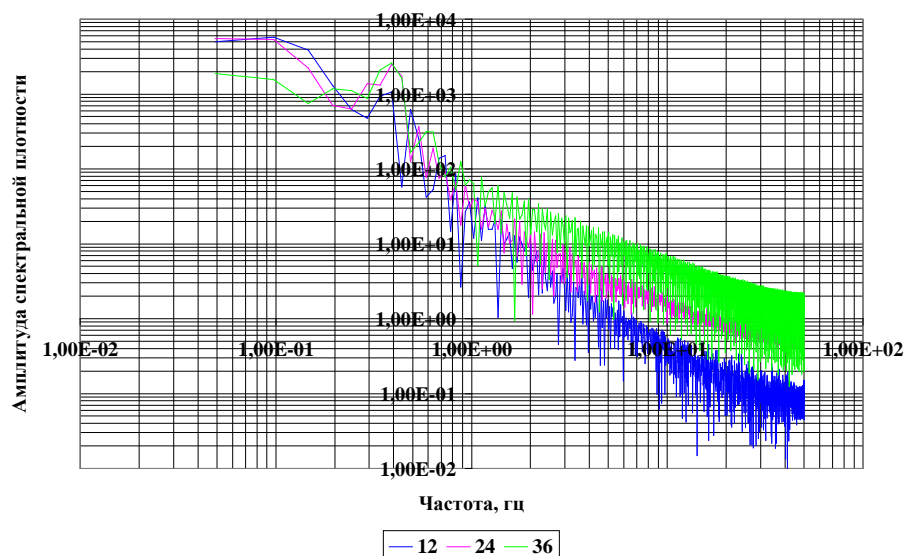


Рис. 36. Спектры сейсмического шума на станции «Кызарт» в интервалах времени: 1 - 0-12 сек, 2 - 12-24 сек, 3 - 24-36 сек до вступления Р-волны перед главным толчком землетрясения 05.02.2012 г., $m_p = 5.6$, $K=12.2$.

На рисунке 36 отмечается уменьшение во времени (в интервалах 36-24 сек, 24-12 сек, 12-0 сек) амплитуды высокочастотных составляющих и рост во времени амплитуды низкочастотных (≤ 0.146 Гц) составляющих.

Изменение амплитуды спектральной плотности сейсмического шума

На спектрах различных интервалов времени выделяются относительно большие значения амплитуды. Частота этих экстремумов представляет собой характерные частоты. Фрагменты характерных частот от 0,048 Гц до 3,906 Гц в интервалах: 24-36 сек, 12-24 сек, 0-12 сек приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2 некоторые частоты продолжают частоты ранних (предыдущих) интервалов времени, либо вновь проявляются, либо прерываются и пропадают. Очевидно, что отдельно взятая характерная частота отражает, в частности, проявление определённого разрыва в области подготовки землетрясения и особенности распространения сейсмических волн, называемые «сейсмическим шумом».

Таблица 2.

Частота	Интервал времени, сек			Частота	Интервал времени, сек			Частота	Интервал времени, сек			
	Гц	0-12	12-24		24-36	Гц	0-12		12-24	24-36	Гц	0-12
4,9E-02				1,367				2,686				
9,8E-02				1,416				2,734				
1,5E-01				1,465				2,783				
2,0E-01				1,514				2,832				
2,4E-01				1,562				2,881				
2,9E-01				1,611				2,930				
3,4E-01				1,660				2,979				
3,9E-01				1,709				3,027				
4,4E-01				1,758				3,076				
4,9E-01				1,807				3,125				
5,4E-01				1,855				3,174				
5,9E-01				1,904				3,223				
6,3E-01				1,953				3,271				
6,8E-01				2,002				3,320				
7,3E-01				2,051				3,369				
7,8E-01				2,100				3,418				
8,3E-01				2,148				3,467				
8,8E-01				2,197				3,516				
9,3E-01				2,246				3,564				
9,8E-01				2,295				3,613				
1,0E+00				2,344				3,662				
1,1E+00				2,393				3,711				
1,1E+00				2,441				3,760				
1,2E+00				2,490				3,809				
1,2E+00				2,539				3,857				
1,3E+00				2,588				3,906				
1,3E+00				2,637								

На рисунке 37 приведено изменение спектральной плотности 0.098 Гц и 0.146 Гц частот во времени.

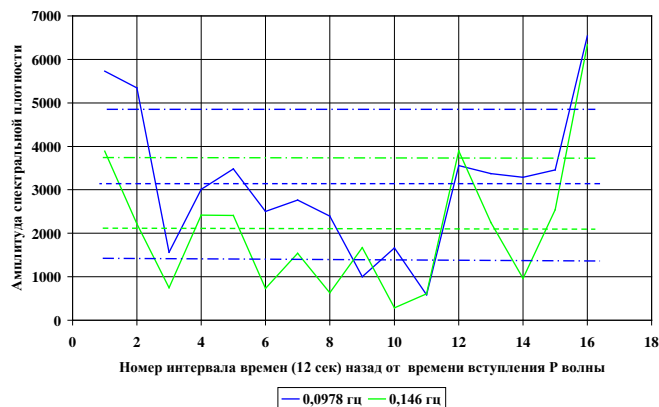


Рис.37. Изменение амплитуды спектральной плотности 0.098 Гц и 0.146 Гц частот во времени от интервала 16 (180-192 сек) до интервала 1 (0-12 сек) – до вступления Р-волны.

Изменение спектральной плотности на частоте 0.098 Гц имеет среднее значение 3139 нм/сек, стандартное отклонение 1643 нм/сек. При этом относительно стандартного отклонения выделяются положительные аномалии в интервалах: 16 – 180-192 сек, 1-2 - 0-24 сек и отрицательные аномалии в интервалах: 9 - 96-108 сек, 11 – 120-132 сек. Изменение амплитуды спектральной плотности на частоте 0.146 Гц имеет среднее значение 2071 нм/сек, стандартное отклонение 1591 нм/сек. При этом относительно стандартного отклонения выделяются положительные аномалии в интервалах: 16 – 180-192 сек, 1- 0-12 сек.

На рисунках 38, 39 приведены в качестве примера спектры сейсмического шума на станции «Учтор» (УСН) в интервалах времени: ряд 13 – 144-156 сек, ряд 14 - 156-168 сек, ряд 15 -168-180сек, ряд 16 -180-192сек, и интервалах времени: ряд 1 - 0-12 сек, ряд 2 - 12-24 сек, ряд 3 - 24-36 сек, ряд 4 - 36-48 сек до времени вступления Р волны. Амплитуды высокочастотных и низкочастотных составляющих изменяются периодически. Так на рисунке 39 амплитуды высокочастотных (≥ 0.83 Гц) составляющих растут от интервала 36-48 сек до 24-36 сек, после – уменьшаются до 0-12 сек, а амплитуды низкочастотных (≤ 0.146 Гц) составляющих растут от интервала 36-48 сек до интервала 12-24 сек и после уменьшаются до 0-24 сек.

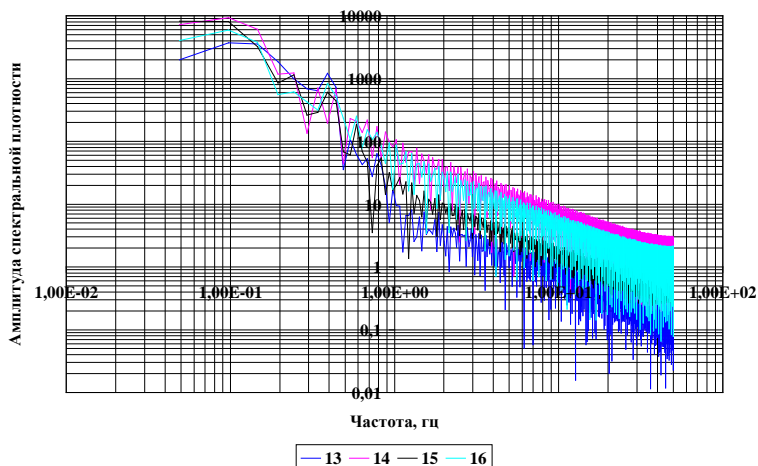


Рис. 38. Спектры сейсмического шума на станции «Учтор» в интервалах времени: ряд 13–144-156 сек, ряд 14 - 156-168 сек, ряд 15 -168-180 сек, ряд 16 -180-192 сек до вступления Р- волны перед главным толчком землетрясения 05.02.2012 г., $m_p v=5.6$, $K=12.2$.

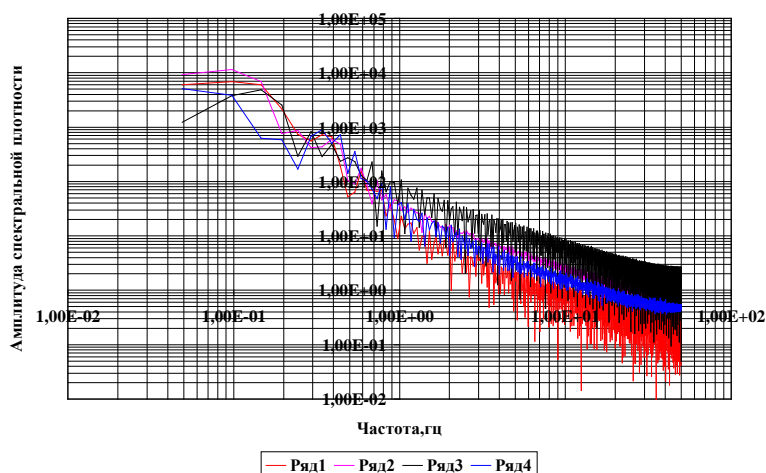


Рис. 39. Спектры сейсмического шума на станции Учтор в интервалах времени: ряд 1 - 0-12 сек, ряд 2 - 12-24 сек, ряд 3 - 24-36 сек, ряд 4 - 36-48 сек до времени вступления Р- волны перед главным толчком землетрясения 05.02.2012 г., $m_p v=5.6$, $K=12.2$.

В таблице 3 приведены характерные частоты спектров в интервалах: 0-12 сек, 12-24 сек, 24-36 сек, 36-48 сек перед вступлением Р- волны на станции «Учтор» (УСН).

Таблица 3.

Частота, Гц	Интервал времени, сек				Частота, Гц	Интервал времени, сек				Частота (Гц)	Интервал времени, сек			
	0- 12	12- 24	24- 36	36- 48		0- 12	12- 24	24- 36	36- 48		0- 12	12- 24	24- 36	36- 48
4,8E-02					1,318					2,588				
9,8E-02					1,367					2,637				
1,5E-01					1,416					2,686				
2,0E-01					1,465					2,783				
2,4E-01					1,514					2,832				
2,9E-01					1,562					2,881				
3,4E-01					1,611					2,930				
3,9E-01					1,660					2,979				
4,4E-01					1,709					3,027				
4,9E-01					1,758					3,076				
5,4E-01					1,807					3,125				
5,9E-01					1,855					3,174				
6,3E-01					1,904					3,223				
6,8E-01					1,953					3,271				
7,3E-01					2,002					3,320				
7,8E-01					2,051					3,369				
8,3E-01					2,100					3,418				
8,8E-01					2,148					3,467				
9,3E-01					2,197					3,516				
9,8E-01					2,246					3,613				
1,0E+00					2,295					3,662				
1,1E+00					2,344					3,711				
1,1E+00					2,393					3,760				
1,2E+00					2,441					3,809				
1,2E+00					2,490					3,857				
1,3E+00					2,539					3,906				

Последовательность характерных частот, проявленных по мере приближения главного толчка землетрясения, представляет собой модель сейсмической эмиссии геофизической среды.

На рисунке 40 приведено изменение значений спектральной плотности на частотах 0.098 Гц и 0.146 Гц во времени. Изменение спектральной плотности на частоте 0.098 Гц имеет среднее значение 4330 нм/сек, стандартное отклонение 3244 н/сек. При этом относительно стандартного отклонения выделяются положительные аномалии в интервалах: 14 - 15 - 156 -180 сек, 2 - 12-24 сек и отрицательная аномалия в интервале: 10- 108-120 сек.

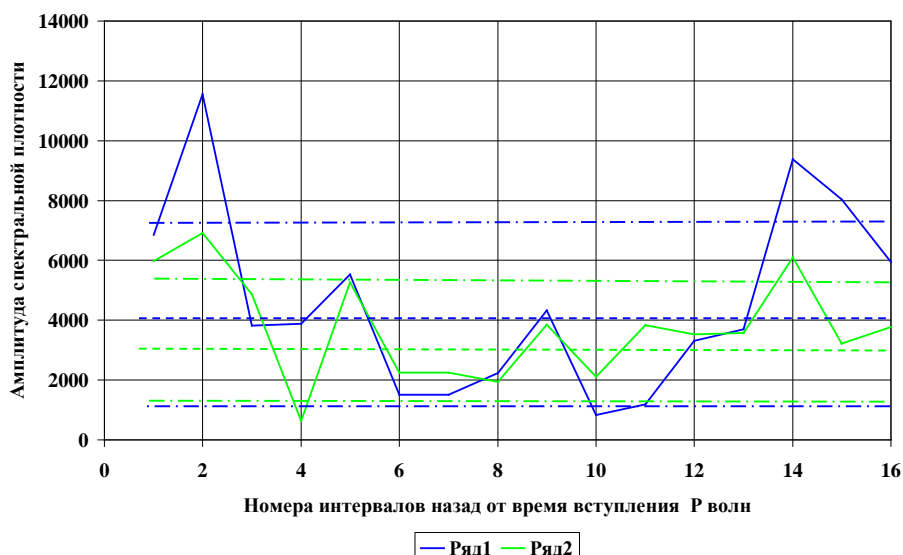


Рис.40. Изменение значений спектральной плотности на частотах: ряд 1 - 0.098 Гц и ряд 2- 0.146 Гц во времени от интервала 16 (180-192 сек) до интервала 1 (0-12 сек) – до вступления Р- волны.

Изменение значений спектральной плотности на частоте 0.146 Гц имеет среднее значение 3920 нм/сек, стандартное отклонение 3920 нм/сек. При этом относительно стандартного отклонения выделяются положительные аномалии в интервалах: 14 – 156-168 сек, 2- 12 -24 сек и отрицательная аномалия в интервале 4 - 36-48 сек.

Заключение

На основании изучения спектров сейсмического шума на станциях сети KNET, расположенных на близких эпицентральных расстояниях от землетрясения с магнитудой $m_{pv} \geq 5.0$, можно отметить следующее:

1. Установлен эффект изменения параметров сейсмического шума во времени и пространстве перед главным толчком ряда землетрясений Тянь-Шаня. А именно закономерности изменения спектральной плотности, угловой частоты и наклона графика спектра выше угловой частоты. В связи с этим появилась возможность разработки способа краткосрочной оценки сейсмической опасности.

2. Закономерность сейсмического шума даст возможность уточнить модель подготовки землетрясения.

3. На основании данных сейсмического шума можно оценить параметры макросейсмического колебания при решении вопросов инженерной сейсмологии.

4. Вышеотмеченные результаты исследования сейсмического шума перед подготовкой землетрясения являются предварительными и требуют дальнейшего изучения.

Литература

1. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Явление модуляции высокочастотных сейсмических шумов Земли. // «Открытия в СССР в 1983 г.». Москва. 1984. ВНИИПИ. С. 46.
2. Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Характерные параметры высокочастотного сейсмического шума перед сильными камчатскими землетрясениями 1996 г. // Докл. РАН. 1998. Том 361. №3. С.402-404.
3. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А. Опыт использования сейсмических шумов для прогноза сильных землетрясений на Камчатке в 1996-2007 гг. // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т.1. С.54-58.
<http://www.emsd.ru/konf071112/pdf/t2/str054.pdf>
4. Омуралиев М., Омуралиева А., Першина Е.В. Авторское свидетельство № 2113 от 28.03.2013. «Эффект изменения сейсмических шумов перед главным толчком».
5. Соколова И.Н, Мукамбаев А.С. Модель сейсмического шума по наблюдениям сейсмической станции «Подгорное». //Вестник НЯЦ РК. №1. 2007. С.57-63.
6. Берёзина А.В., Соколова И.Н, Мозолева Е.Л., Никитенко Т.В., Рагульская А.К. Изучение динамических параметров характеристик сейсмического шума по данным сети KRNET. //Вестник НЯЦ РК. №1. 2007. С.16-27.
7. Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Першина Е.В. Инструментальные сейсмические наблюдения, проводимые на территории Кыргызстана. //Материалы докладов (участников из Киргизской Республики) XI Международной Сейсмологической Школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (12-16 сентября 2016 г., г.Чолпон-Ата). –Бишкек: НС РАН, 2016. С.3-9

Рецензент: к. ф.-м. н. Фролова А.Г.