

# **Влияние рентгеновских солнечных вспышек на наинизшую наблюдаемую частоту КВ-радиосигналов**

В.А. Иванова, А.А. Рыбкина, А.В. Подлесный, А.И. Поддельский

*Институт солнечно-земной физики СО РАН*

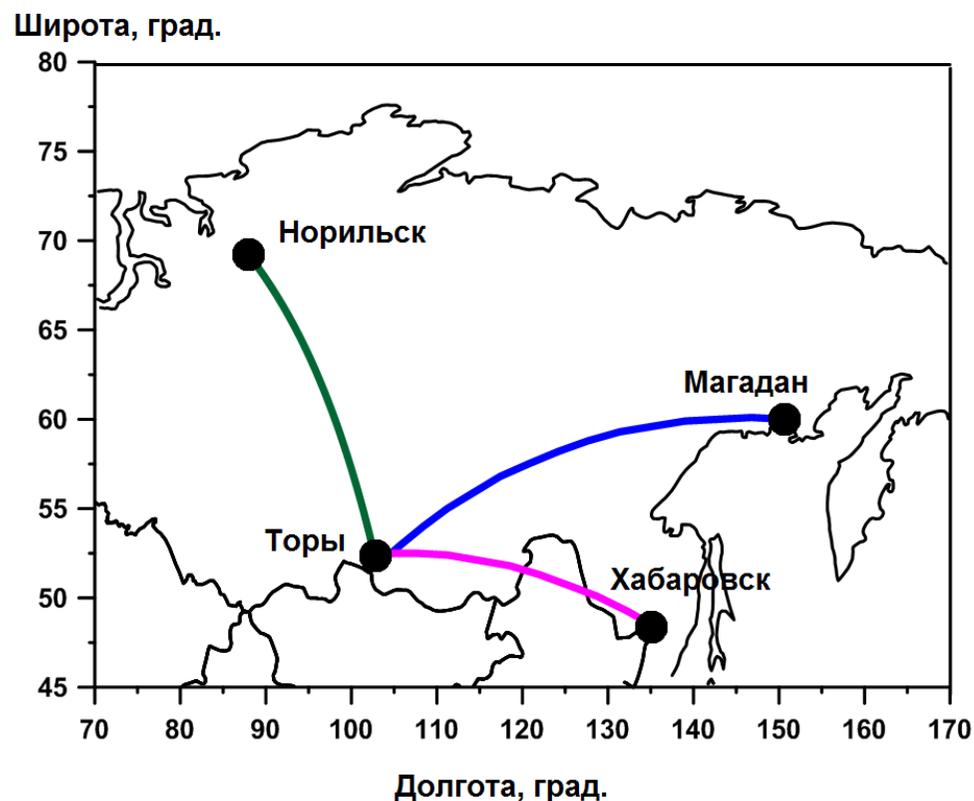
Исследование проявлений солнечной активности в верхней атмосфере Земли является одной из важных задач солнечно-земной физики. В работе рассматриваются кратковременные воздействия на ионосферу Земли, связанные со всплесками мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1-8 ангстрем. В результате таких воздействий наблюдаются внезапные ионосферные возмущения, проявляющиеся в увеличении ионизации в D- и E-областях освещённой ионосферы [*Dellinger J.H. Sudden disturbances of the ionosphere // Proceedings of the Institute of Radio Engineers. 1937. Vol. 25. No 10. P. 1253–1290*]. Рост ионизации в нижних слоях ионосферы приводит к увеличению поглощения коротковолновых радиосигналов, которое связано с величиной наинизшей наблюдаемой частоты (ННЧ) [*Дриацкий В.М., Смирнов В.Б., Ходжа-Ахмедов Ч.Л. Аномальное поглощение радиоволн в нижней ионосфере и наинизшие применимые частоты // Наклонное зондирование ионосферы. 1972. Выпуск 1. Гидрометеоиздат: Ленинград. С. 156-164*].

Регистрация характеристик распространения КВ-радиосигналов в различных гелиогеофизических условиях в ИСЗФ СО РАН ведется с конца 80-х годов XX в., при этом в режиме непрерывного мониторинга - начиная с 2013 г. Отклики характеристик распространения КВ-сигналов по данным сети ЛЧМ-ионозондов ИСЗФ СО РАН для отдельных солнечных вспышек класса М в июле-августе 2011 г. описаны в работе [*Иванова В.А., Полех Н.М., Куркин В.И., Чистякова Л.В., Пежемская М.Д., Брынько И.Г., Орлов А.И., Подлесный А.В., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н. Отклик характеристик распространения КВ-радиоволн на вариации рентгеновского излучения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. No 4. С. 154–160*], а для двух солнечных вспышек класса X 6 сентября 2017 г. анализ ННЧ на четырех трассах наклонного зондирования проводится в работе [*Yasyukevich Yu., Astafyeva E., Padokhin A., Ivanova V., Syrovatskii S., Podlesnyi A. The 6 September 2017 X-Class Solar Flares and Their Impacts on the Ionosphere, GNSS and HF Radio Wave Propagation // Space Weather. 2018. V. 16. No 8. P. 1013-1027. DOI: 10.1029/2018SW001932*].

## Данные

В работе рассматриваются отклики ННЧ на рентгеновские солнечные вспышки классов M и X в 2014-2017 гг. Рассмотрены две трассы наклонного зондирования, расположенные над азиатским регионом Российской Федерации: Магадан – Торы и Хабаровск – Торы. Координаты передающих пунктов: в районе Хабаровска -  $47.6^\circ$  с.ш.,  $134.7^\circ$  в.д., в Магадане -

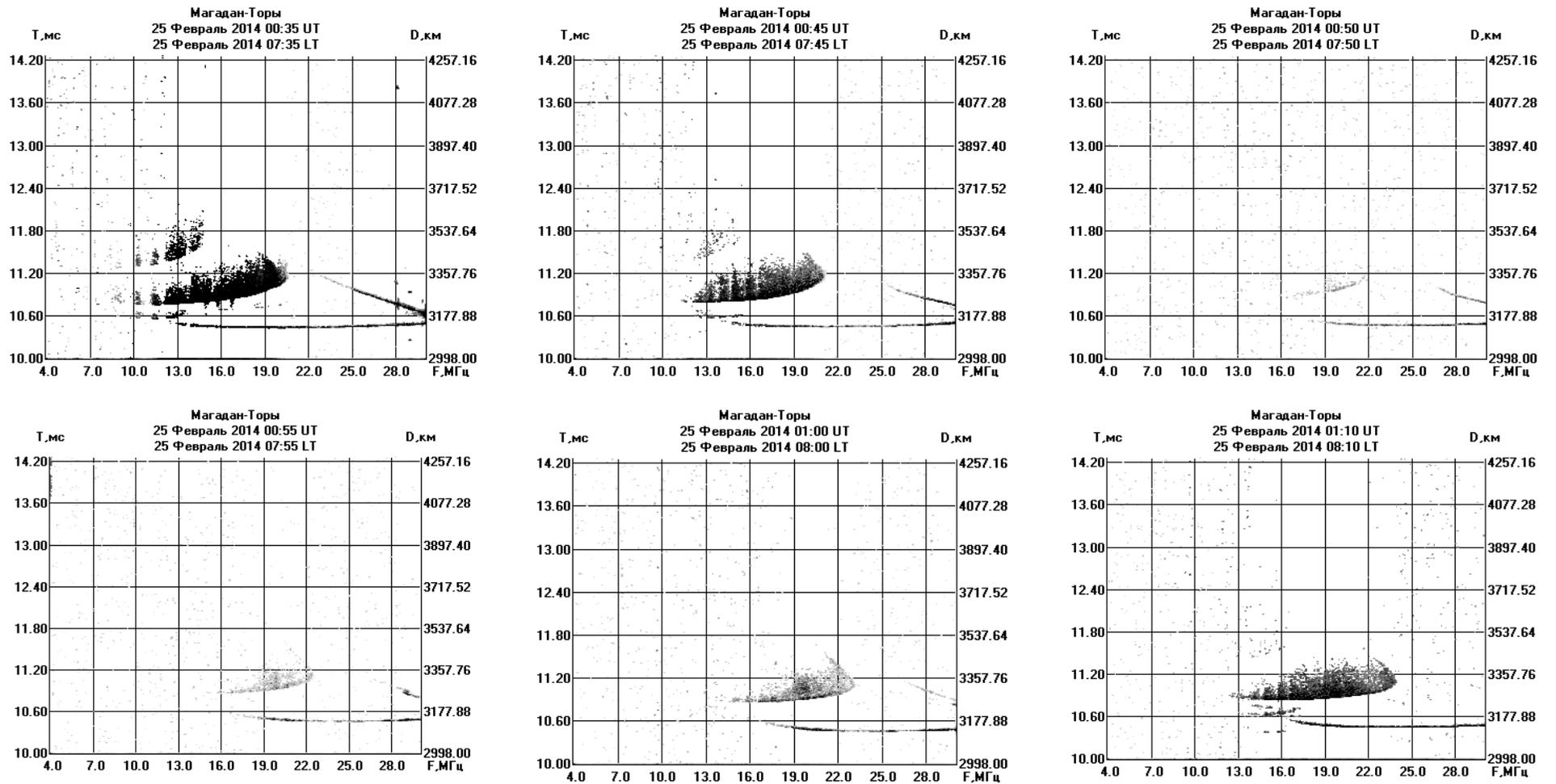
$60^\circ$  с.ш.,  $150.7^\circ$  в.д. координаты приемника в пос. Торы:  $51.8^\circ$  с.ш.,  $103^\circ$  в.д. (рис. 1)



Исследуемые рентгеновские солнечные вспышки (СВ) регистрировались в местное дневное время (пример ионограмм для 25.02.2014 г. на рис. 2). Были рассчитаны абсолютные отклонения ННЧ (в МГц) в максимуме солнечной вспышки от спокойного невозмущенного уровня для 22 событий (табл. 1).

**Рис. 1.** Карта трасс наклонного зондирования

**Рис. 2. Ионограммы, зарегистрированные на трассе Магадан-Торы, во время солнечной вспышки 25.02.2014**



**Таблица 1. Список исследованных солнечных вспышек (СВ) и зарегистрированные абсолютные отклонения ННЧ от спокойных условий в максимуме СВ.**

N	Дата	Класс солнечной вспышки UT, час	Время начала СВ UT, час	Время максимума СВ UT, час	Время окончания СВ UT, час	Абсолютные отклонения ННЧ, МГц	
						Магадан-Торы	Хабаровск-Торы
1	25.02.2014	X4.9	0:39	0:49	1:03	8.17	14.36
2	25.04.2014	X1.3	0:17	0:27	0:38	3.61	8.3
3	08.05.2014	M5.3	9:20	10:07	10:18	3.4	3.55
4	10.06.2014	X2.2	11:36	11:42	11:44	1.06	3.5
5	11.06.2014	X1.0	8:59	9:06	9:10	нет значений	7.27
6	28.09.2014	M5.1	2:39	2:58	3:19	3.73	4.83
7	19.10.2014	X1.1	4:17	5:03	5:48	2.93	no data
8	22.10.2014	M8.7	1:16	1:59	2:28	4.759	6.17
9	27.10.2014	M7.1	0:06	0:34	0:44	3.14	полное поглощение
10	28.10.2014	M6.6	3:23	3:32	3:41	2.3	3.24
11	06.11.2014	M5.4	3:32	3:46	4:02	2.03	4.5
12	17.12.2014	M8.7	4:25	4:51	5:20	1.76	3.1
13	20.12.2014	X1.8	0:11	0:28	0:55	0.68	0.62
14	13.01.2015	M5.6	4:46	4:58	5:10	0.65	1.68
15	03.03.2015	M8.2	1:25	1:35	1:42	4.3	5.11
16	10.03.2015	M5.1	3:19	3:24	3:28	2.89	6.93
17	05.05.2015	X2.7	22:05	22:11	22:15	0.08	6.03
18	25.06.2015	M7.9	8:02	8:16	9:05	2.93	нет значений
19	24.08.2015	M5.6	7:26	7:33	7:35	1.27	1.15
20	02.10.2015	M5.5	0:06	0:13	0:17	нет значений	3.17
21	18.04.2016	M6.7	0:14	0:29	0:39	1.27	4.14
22	02.04.2017	M5.3	7:50	8:02	8:13	6.9	5.26

## Выводы

Наибольшие абсолютные отклонения ННЧ зарегистрированы для солнечной вспышки класса X4.9, наблюдавшейся с 0:39 UT до 01:03 UT 25 февраля 2014 г., составили 8.17 МГц для трассы Магадан – Торы и 14.36 МГц для трассы Хабаровск – Торы. Во время других событий абсолютные отклонения ННЧ достигали нескольких МГц. Таким образом, вариации ННЧ во время рентгеновских солнечных вспышек в местных дневных условиях являются хорошим индикатором поглощения КВ-радиоволн в нижней ионосфере Земли.

*Благодарности.* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия N075-ГЗ/Ц3569/278). Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Ангара" (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>).