

ОВАЛ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЭС В АРКТИКЕ

С.А. Черноус¹, И.И. Шагимурастов², М.В. Филатов¹, М.В. Швец¹, И.И. Ефишов², Ю.В. Федоренко¹,
И.Б. Иевенко³, Н.В. Калитенков⁴

¹Полярный Геофизический Институт, Мурманск, Анатиты (e-mail: chernouss@pgia.ru)

²Калининградский филиал ИЗМИРАН, Калининград

³Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск

⁴Мурманский Государственный Технический Университет, Мурманск

Аннотация. Проведено исследование бури 7 января 2015 по наблюдениям полярных сияний и вариаций полного электронного содержания (ПЭС), доказывающее высокую степень связи пространственно-временного распределения интенсивности того и другого явления. Проведен предварительный анализ возможности использования модели прогнозирования параметров овала полярных сияний NORUSKA для прогнозирования овала неоднородностей в полярной ионосфере, влияющих на распространение навигационных сигналов высокоорбитальных спутников. Показано, что отказы и погрешности в работе навигационной аппаратуры на различных широтах максимально проявляются в период наиболее интенсивных возмущений в ионосфере Арктики, связанных с полярными сияниями.

Abstract. A study of the storm January 7, 2015 by observations of optical aurora and total electron content (TEC) variations proves a high degree relationship of spatial-time distribution of both phenomena. A preliminary analysis of using auroral oval NORUSKA model to predict irregularities oval of the polar ionosphere, which affect on satellite navigation signals. It is shown that failures and errors in the navigation equipment at different latitudes most manifest in the period of most intense disturbances in the Arctic ionosphere, associated with aurora.

Материалы и методы

В работе использованы оптические наблюдения полярных сияний на станциях Якутск (62.03N 129.73E) [1] и Покер-Флэт, Аляска (65.12N 147.43W) [2]. Данные с этих пунктов представлены кеогаммами в авроральных эмиссиях. Одновременные наблюдения вариаций ПЭС (индекс ROTI) в Якутске и на Аляске (станция AB18, 66.71N 162.61W) в конкретном случае позволяют сравнивать временные ряды (суточный ход) развития обеих явлений. Для исследования возможности прогнозирования состояния полярной ионосферы, маркером которого являются полярные сияния, использована модель прогноза сияний NORUSKA [3]. На рис.1 для характеристики рассматриваемых геофизических событий приведены планетарные (Kp и Dst) и авроральный (AE) индексы. Для построения овалов неоднородностей (флуктуаций) ПЭС использовалась методика, описанная в [4].

Результаты и обсуждение

Как следует из данных рис.1 в рассматриваемые сутки на Земле с 08 до 15 UT происходила изолированная магнитная буря, нашедшая свое отражение в интегрированной картине распределения неоднородностей ПЭС, построенной по данным более, чем сотни станций. На рис.2 представлены пространственно-временные вариации ПЭС для возмущенного дня 7 января 2015 г. и для предшествующих 6.01.2015 и последующего 8.01.2015 суток. Очевидно, что овальное распределение неоднородностей ПЭС 7 января (возмущенные сутки) радикальным образом отличается от аналогичных картин 6 и 8 января (спокойные сутки). Пространственное распределение ионосферных неоднородностей напоминает расширенный овал, и его границы значительно сдвинуты к экватору (особенно в ночной части). В связи с этим представляет значительный интерес рассмотреть особенности временного развития распределения полярных сияний и неоднородностей (флуктуаций) ПЭС по прямым измерениям. Суточный ход вариаций ПЭС с различных спутников по данным обсерваторий на Аляске (AB18) и в Якутске за 6 и 7 января 2015г. представлен на рис. 3. Из приведенной картины следует, что в спокойный и возмущенный дни разительно отличны вариации ПЭС, определяемые индексом ROTI и экстремальные отклонения во временном ходе этого индекса приходятся на интервал 08-15 UT 7.01.2015 г. Для того, чтобы оценить возможности прогнозирования пространственно-временного распределения полярных сияний по методу NORUSKA в рассмотренные дни, для прогнозирования пространственно-временного распределения неоднородностей (флуктуаций) ПЭС нами были построены картины совместного развития этих явлений в координатах географическая широта – мировое время для станций, разнесенных по долготе (рис.4).

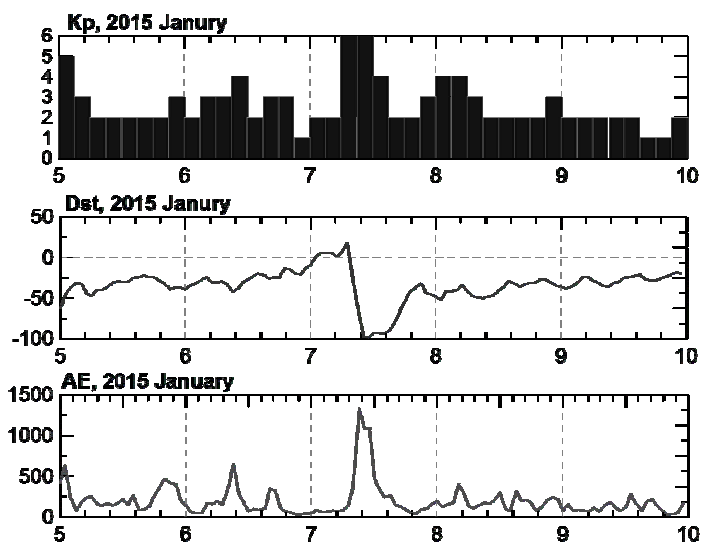


Рисунок 1. Геомагнитные индексы в дни включающие день магнитной бури 07.01.2015

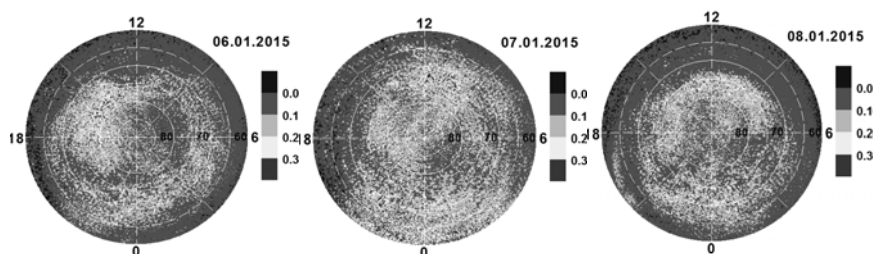


Рисунок 2. Усредненное пространственно - временное распределение неоднородностей ПЭС для дней с различной геомагнитной активностью 6.01.2015, 7.01.2015, 8.01.2015

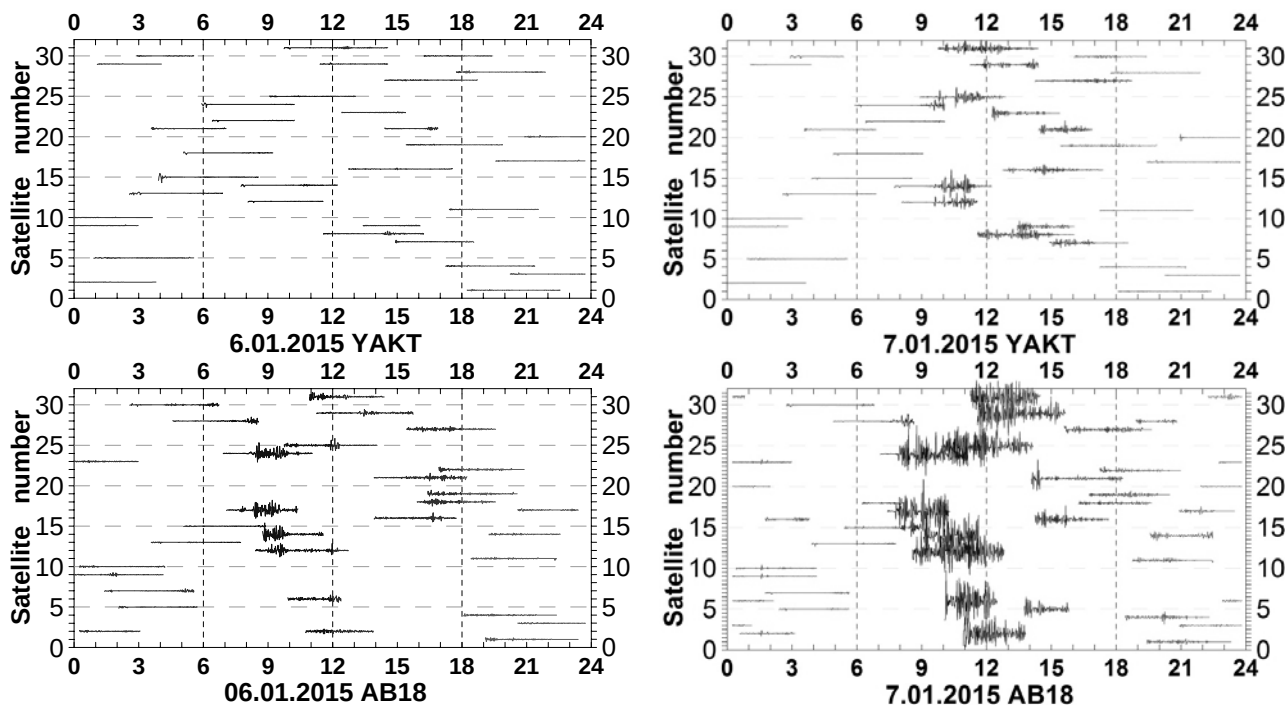


Рисунок 3. Суточный ход вариаций ПЭС с различных спутников по данным обсерваторий на Аляске (AB18) и в Якутске за 6 и 7 января 2015г.

Из приведенных данных вариаций (флуктуаций) ПЭС и полярных сияний следует, что изменение их пространственно-временного положения имеет тенденции к подобию: размеры овала сияний, границы этого овала, степень асимметрии меняются в том же направлении, в каком изменяется пространственно-временная картина флуктуаций ПЭС. Это говорит о возможности использовать имеющиеся результаты прогнозирования полярных сияний для прогноза условий распространения навигационных сигналов в ионосфере. Естественно, что полного совпадения овалов сияний и неоднородностей мы на рис.4 не видим, во-первых, потому, что в данном случае используются не реальные измерения полярных сияний, а данные их прогноза, во-вторых, потому, что овал полярных сияний построен при предположении, что их высота их нижнего края порядка 120 км [5], а «овал» неоднородностей построен для высоты порядка 400 км [4], в третьих, некоторые изменения в расчеты положения обеих овалов могут вносить изменения положения магнитного полюса Земли [6]. Все эти проблемы могут и должны быть исследованы в дальнейших работах.

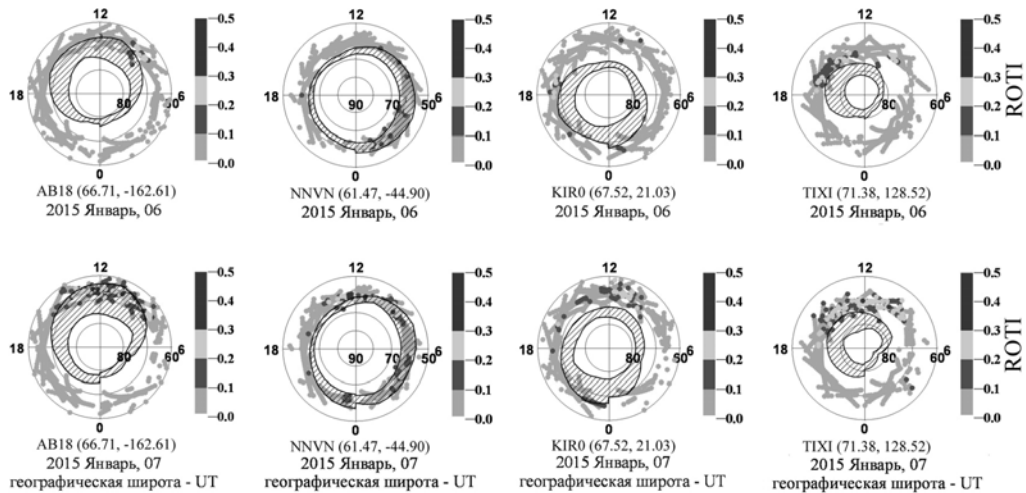


Рисунок 4. Пространственно-временные распределения сияний (черная штриховка) и неоднородностей ПЭС (градации серого) в спокойный день 6.01.2015 и возмущенный 7.01.2015г.

Для демонстрации степени соответствия развития реальных полярных сияний и флуктуаций ПЭС на рис 5 приводятся кеогаммы полярных сияний на станциях Poker Флэт и Якутск. Если сопоставить эти записи с записями вариаций ПЭС на рис.3, можно увидеть высокую степень подобию в реальных событиях.

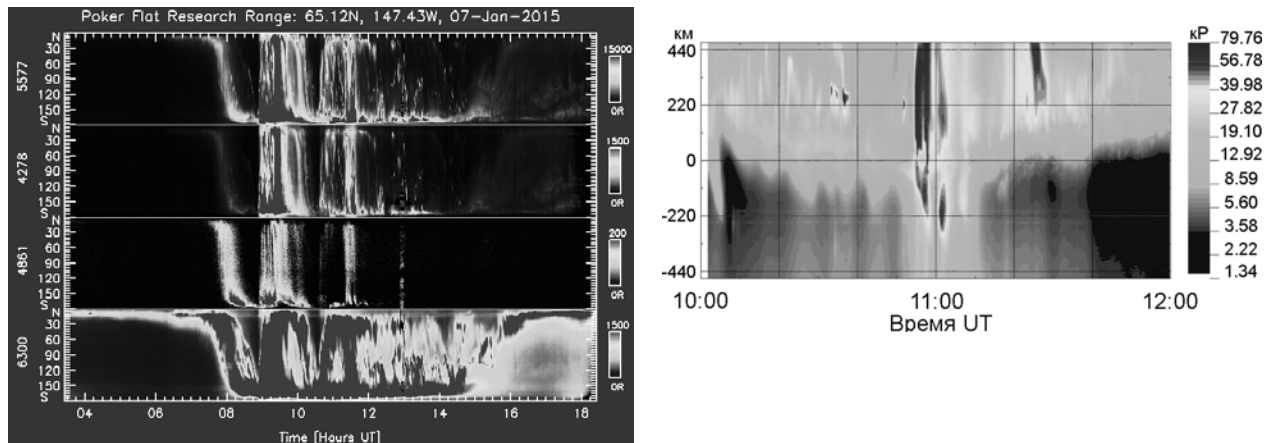


Рисунок 5. Кеогаммы в различных эмиссиях в обсерватории Poker Flat (Аляска) и кеогамма в эмиссии 577.7 нм по данным обсерватории Якутск за 7.01.2015 г.

Об этом же говорит рис.6, на котором приводятся данные (в процентах к общему числу) нарушений приема сигналов навигационных спутников на станциях приема, расположенных на различных широтах в период спокойных и возмущенных дней.

Latitudes	N day of 2015	LLI		L2=0.		Total	
		N	%	N	%	N	%
<=60	006	96	0.33	201	0.68	297	1.01
	007	1062	3.57	850	2.85	1912	6.42
	008	130	0.43	170	0.58	300	1.01
<=65	006	296	0.86	449	1.23	745	2.09
	007	634	1.86	1233	3.64	1867	5.5
	008	314	0.89	399	1.05	713	1.94
<=70	006	374	1.25	419	1.4	793	2.65
	007	1104	3.68	1216	4.09	2320	7.77
	008	254	0.84	337	1.14	591	1.98
<=75	006	104	0.35	204	0.67	308	1.02
	007	160	0.53	398	1.32	558	1.85
	008	126	0.4	211	0.7	337	1.1
<=80	006	422	1.34	819	2.65	1241	3.99
	007	521	1.64	889	2.89	1410	4.53
	008	391	1.24	808	2.27	1199	3.51
<=85	006	55	0.18	96	0.32	151	0.5
	007	44	0.14	95	0.31	139	0.45
	008	41	0.13	98	0.32	139	0.45

LLI-Loss Lock indicator
Lack of reading L2 signal

Рисунок 6. Таблица нарушений приема сигналов навигационных спутников (январь 2015 г.).

Заключение

В работе предпринята попытка использования полярных сияний в качестве средства диагностики и прогноза пространственно-временного распределения неоднородностей ПЭС в Арктике. По модельным представлениям и реальным измерениям установлено, что использование модели прогнозирования параметров овала полярных сияний NORUSKA может являться способом прогнозирования овала неоднородностей ПЭС. Целесообразность проведенных исследований подтверждается данными сбоев приема сигналов навигационных спутников.

Благодарности

Работа поддержана грантами РФФИ 14-05-98820 р_север-а и 15-45-05090 р_восток-а.

Литература

1. Chernouss S.A., Shagimuratov I.I., Ievenko I.B., Filatov M.V., Efishov I.I., Shvets M.V., Kalitenkov N.V. Aurora as Indicator of the Ionospheric Impact on TransIonospheric Navigation Signals, Proceedings of V Intern. Conf. "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2016), Kaliningrad, Russia, 2016, pp. 185—191.
2. <http://optics.gi.alaska.edu/optics/realtime>
3. F. Sigernes, M. Dyrland, P. Brekke, S. Chernouss, D.A. Lorentzen, K. Oksavik, and C.S. Deehr, Two methods to forecast auroral displays, Journal of Space Weather and Space Climate (SWSC), Vol. 1, No. 1, A03, DOI:10.1051/swsc/2011003, 2011b.
4. Shagimuratov I. I., Krankowski A., Efishov I., Cherniak Yu., Wielgosz P. and Zakharenkova I. High latitude TEC fluctuations and irregularity oval during geomagnetic storms, 2012 // Earth Planets Space, Vol. 64, pp. 521-529.
5. Feldstein, Y. I., Auroral Oval, J. Geophys. Res., 78(7), 12101213, 1973.
6. Лазутин Л.Л. "Воздействие магнитных бурь на техносферу и эффект смещения северного магнитного полюса", "Исследования" ТрВ № 108, 2012 с. 10 – 16.