

**DOI: 10.25702/KSC.978-5-91137-381-8.102-105**

## **АВРОРАЛЬНЫЙ ОВАЛ И ОВАЛ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

С.А. Черноус<sup>1</sup>, И.И. Шагимурагов<sup>2</sup>, В.В. Алпатов<sup>3</sup>, М.В. Филатов<sup>1</sup>, П.А. Будников<sup>3</sup>, И.И. Ефишов<sup>2</sup>, Ю.В. Федоренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Полярный Геофизический Институт, Мурманск, Апатиты (e-mail: chernouss@pgia.ru)*

<sup>2</sup>*Калининградский филиал ИЗМИРАН, Калининград*

<sup>3</sup>*Институт Прикладной Геофизики имени академика Е.К. Федорова, г. Москва*

**Аннотация.** В работе приводится описание проведенных экспериментальных исследований взаимосвязи возмущений авроральной зоны и изменений полного электронного содержания (ПЭС) по данным приема трансионосферных сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в высоких широтах. Анализируется состояние ионосферы по данным станций высокоорбитальной радиотомографии ФГБУ «ИПГ» Росгидромета. Обнаружено сходство вариаций временных рядов развития активности авроральных суббурь и вариаций ПЭС.

**Abstract.** The paper describes the experimental studies of the relationship between disturbances of the auroral zone and changes in the total electronic content (TEC) according to data received from the trans-ionospheric signals of global navigation satellite systems (GNSS) at high latitudes. The state of the ionosphere is analyzed according to the high-orbital radio tomography stations of the Fedorov Applied Geophysics Institute. The similarity of variations in the time series of the development of auroral activity and TEC variations was found.

### **Материалы и методы**

Исходными данными работы послужили измерения параметров сигнала отдельных пролетов навигационных спутников и наблюдения авроральной активности при помощи оптических и магнитных измерений (1-5) Для каждого спутника рассчитывались степень изменение полного электронного содержания (ПЭС), степень изменчивости электронного содержания - индекс RoTI и индекс сцинтилляции S4. Одновременные наблюдения за сигналами ГНСС и авроральными возмущениями, проводились на станциях, расположенных приблизительно вдоль меридиана от Санкт-Петербурга до Тромсе. В частности, рассматривается большая магнитная буря 17-18 марта 2015 года, когда полярные сияния наблюдались от полярных областей до 55-60° географической широты. Анализируется состояние ионосферы по данным станций высокоорбитальной радиотомографии ФГБУ «ИПГ» Росгидромета (7-9) за выбранные периоды.

### **Результаты и обсуждение**

Обнаружено сходство вариаций временных рядов развития активности авроральных суббурь и вариаций полного электронного содержания. Интенсивность, как флуктуаций ПЭС, так и магнитных возмущений уменьшались по типу авроральной суббури как на северных станциях, так и на средних широтах. В ходе анализа выявлена зависимость ошибок позиционирования от степени возмущенности полярной ионосферы. Изображения пространственного распределения флуктуаций ПЭС (RoTI) в координатах CGL и MLT, построенные с помощью непрерывных измерений сигналов ГНСС на отдельных станциях, демонстрируют пространственную структуру, аналогичную овалу полярных сияний.

На рисунке 1 приведены траектории пролетов навигационных спутников в координатах азимут – угол места, а на рисунке 2 - вертикальные ROTI, рассчитанные по параметрам принимаемого на поверхности Земли их сигнала 17 марта 2015 года. Очевидно, что максимального развития флуктуации ПЭС достигают практически синхронно с развитием аврорального электроджета, характеризуемого на рисунке 3 индексом AE.

На рисунках 4 и 5 приводятся расчетное положение аврорального овала по модели SVALTRACK-2,(6), основанной на экспериментальной модели овала советских ученых (левая часть рисунков) и двумерная карта значений ROTI (7) по данным сети станций РОСКОМГИДРОМЕТА (правая часть рисунков) при различной геомагнитной активности. Сопоставление приведенных рисунков демонстрирует смещение как аврорального овала, так и «овала» ионосферных флуктуаций к экватору при росте геомагнитной активности. Авторы предполагают, что полученные результаты указывают на то, что аналогичные результаты могут иметь место даже в средних широтах во время больших магнитных бурь при экваториальном смещении аврорального овала.

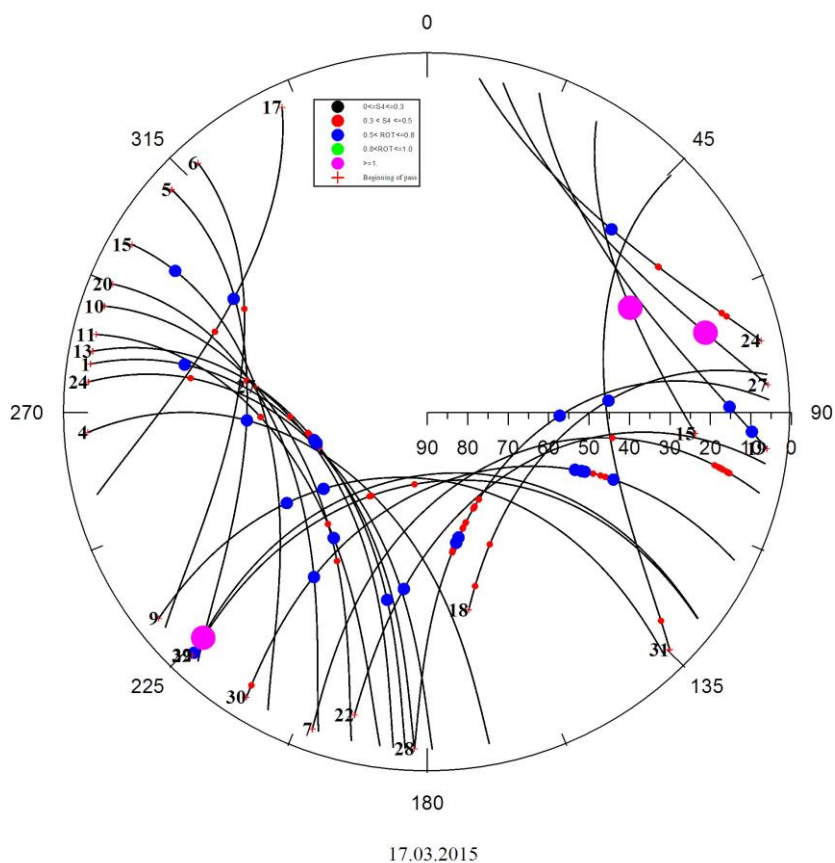


Рисунок 1. Пролеты высокоапогейных навигационных спутников в угловых координатах 17 марта 2015 г. В кругу на начало пролета поставлен номер спутника.

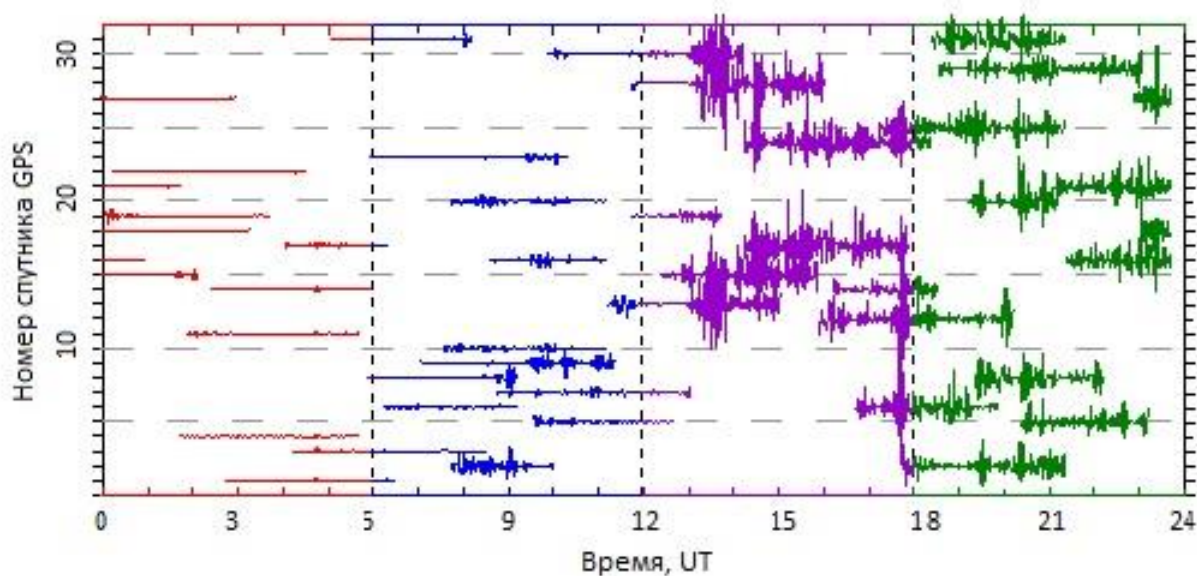


Рисунок 2. ROT, восстановленный по сигналам от каждого спутника навигационной системы 17 марта 2015 г.

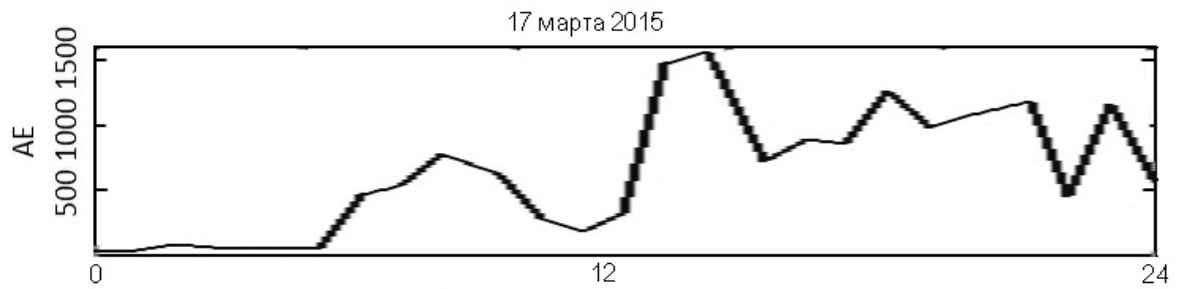


Рисунок 3. Вариации AE индекса 17 марта 2015 г.

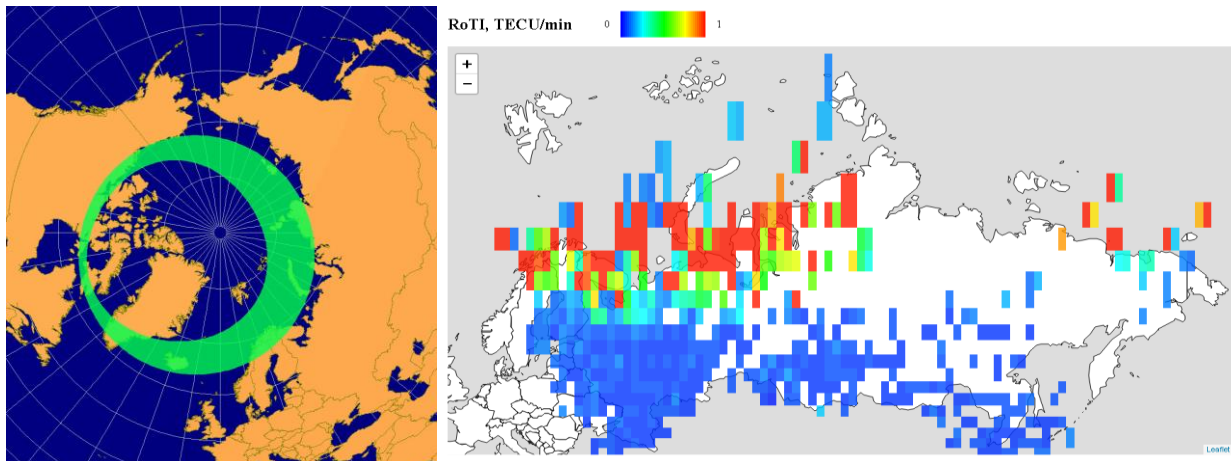


Рисунок 4 Модель аврорального овала при  $K_p=3$  и пространственно-временное распределение ROTI (25 августа 2018г. 20:00 UT) по данным сети станций радиотомографии, соответствующее такому значению  $K_p$ .

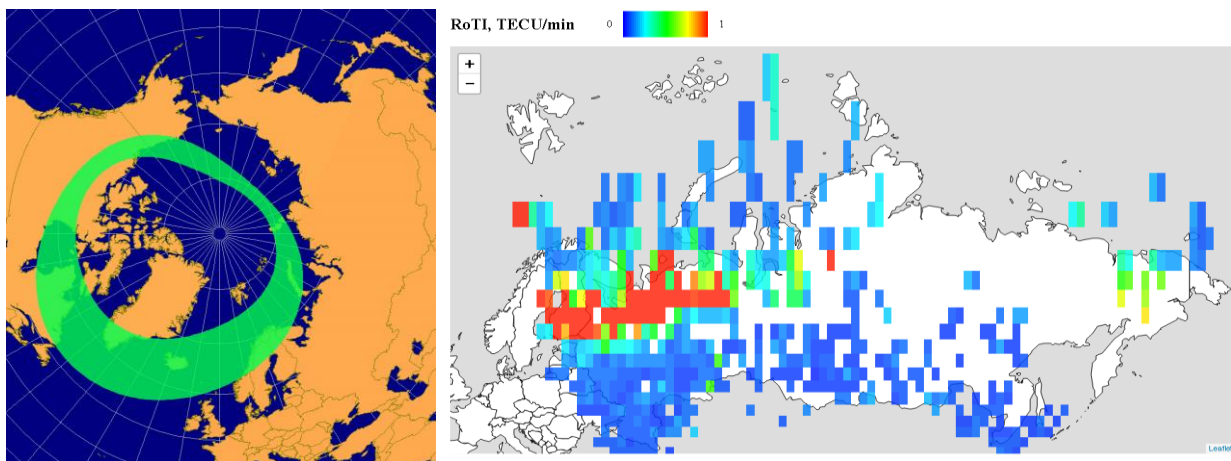


Рисунок 5 Модель аврорального овала при  $K_p=6$  и пространственно-временное распределение ROTI (26 августа 2018г. 02:00 UT) по данным сети станций радиотомографии, соответствующее такому значению  $K_p$ .

### Заключение

В работе приводится описание проведенных экспериментальных исследований взаимосвязи геофизических возмущений авроральной зоны и изменений полного электронного содержания (ПЭС) по данным приема трансионосферных сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в высоких широтах. Анализируется состояние ионосферы по данным станций высокоорбитальной радиотомографии ФГБУ «ИПГ» Росгидромета. Обнаружено сходство вариаций временных рядов развития активности авроральных суббурь и

вариаций ПЭС и их пространственного распределения, что ведет нас к численному определению ошибок и погрешностей позиционирования и построению модели прогноза условий навигации в Арктике при различной гелиогеофизической обстановке.

### Литература

1. Chernouss S. A., Kalitenkov N.V., The dependence of GPS positioning deviation on auroral activity, *International Journal of Remote Sensing*, 32(1), 3005-3017(2011).
2. Kalitenkov N. V., V. I. Milkin, E. D. Tereschenko, S. A. Chernouss. // Method of location object. Abstract of invention. RU 2484494 C1., 07.11.2011.
- 3.S.A. Chernous, M.V. Shvets, M.V. Filatov, I.I. Shagimuratov, N.V. Kalitenkov *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2015, Vol. 9, No. 5, pp. 778–784. Pleiades Publishing, Ltd., 2015.
4. Черноус С.А., Шагимуратов И.И., Иевенко И.Б., Филатов М.В., Ефишов И.И., Швец М.В., Калитенков Н.В. Авроральные возмущения как индикатор воздействия ионосферы на навигационные сигналы // *ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА* том 37 №5 с.77-83 2018г. DOI: 10.7868/S0207401X18050102
5. S.A. Chernouss, I.I. Shagimuratov, V.V. Alpatov, I.I. Efishov, M.V. Filatov, P.A. Budnikov, Yu.S. Ivanov Auroral activity and GPS positioning during great geomagnetic storms // *Astronomy and space physics in the Kyiv university Book of Abstracts May29 – June 01 2018* p.93-94,
6. 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.
7. И.М. Алешин, В.В. Алпатов, А.Е. Васильев, С.С. Бургучев, К.И. Холодков, Ф.В. Передерин Опыт создания оперативной службы сбора данных сети наземных станций глобальных навигационных спутниковых систем *вестник краунц. науки о земле. 2015. № 1. выпуск № 25, .1-4.*
8. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С. Спутниковое радиозондирование и радиотомография ионосферы // *Успехи физических наук*. 2010. Т. 180. № 5. С. 548-553.
9. S. Chernous, P. Budnikov, I. Shagimuratov, V. Alpatov, M. Filatov, I. Efishov and N.Tepenitsina, Variations of GNSS signals in Euro-Arctic region during auroral Activity, 45th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, 27-31 August 2018, Kiruna, Sweden, p.10