

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.102-105

УДК 550.388.2; 551.510.535

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НАД АРХ. ШПИЦБЕРГЕН (ПОС. БАРЕНЦБУРГ)\*

**Н. Ю. Романова**

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Мурманск

### Аннотация

На основе анализа большого массива данных (2012–2013 гг.) спутникового радиосигнала, принятого наземным томографическим приемником в пос. Баренцбург (арх. Шпицберген), исследованы параметры мелкомасштабных неоднородностей (с размерами несколько сотен метров поперек магнитного поля) электронной плотности в F-области ионосферы в таких спутниковых сеансах, временной интервал между которыми составлял 16–40 мин. По данным об ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей можно исследовать направление конвекции в полярной шапке.

### Ключевые слова:

*ионосфера, полярная шапка, неоднородности, конвекция.*

## INVESTIGATION OF SMALL-SCALE IRREGULARITIES IN F-REGION OF IONOSPHERE OVER SPITSBERGEN ARCHIPELAGO (BARENTSBURG)

**Natalia Yu. Romanova**

Polar Geophysical Institute, Murmansk

### Abstract

On the basis of the analysis of big data array (2012–2013) of the satellite radio signal obtained by the tomography receiver in Barentsburg (Spitsbergen archipelago), parameters of small-scale irregularities (with sizes several hundreds of meters across magnetic field) of electronic density in the F-region ionosphere in such satellite sessions among which time interval made 16–40 minutes, are investigated. The data on orientation of cross-field anisotropy of small-scale irregularities can be used to investigate the direction of convection in a polar cap.

### Keywords:

*Ionosphere, polar cap, irregularities, convection.*



### Введение

Мерцания высокочастотного радиосигнала от низкоорбитальных спутников, принятые наземным приемником, получили название сцинтилляций [1]. Такие флуктуации радиоволн в F-слое возникают вследствие рефракции на ионосферных неоднородностях с размерами несколько сотен метров, называемых мелкомасштабными. В работе [2] показано, что путем анализа амплитуды спутникового сигнала можно определить пространственные параметры статистически усредненных мелкомасштабных неоднородностей, которые оказались анизотропными как вдоль, так и поперек геомагнитного поля в средне- и высокоширотной ионосфере, а также в полярной шапке [3–5].

Неоднородности вытянуты преимущественно вдоль геомагнитного поля (продольная ось анизотропии  $\alpha$ ), и несколько меньше они вытянуты перпендикулярно геомагнитному полю

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-01024А и в рамках госзадания ПГИ «Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на арх. Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли».

(поперечная ось анизотропии  $\beta$ ). Ориентация оси  $\beta$  не постоянна, она получила наименование «ориентация поперечной анизотропии», обозначается символом  $\Psi_A$ , измеряется в градусах и отсчитывается от направления на географический север по часовой стрелке. В работах [3, 4] показано, что в высоких широтах и полярной шапке ориентация поперечной анизотропии  $\Psi_A$  неоднородностей соответствует направлению дрейфа плазмы  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  (конвекции) и это их свойство может быть использовано для оценки направления дрейфа в высоких широтах.

Цель данной работы — показать, что разработанным в ПГИ радиотомографическим методом на основе приема спутникового сигнала наземным приемником только в одной точке можно мгновенно определить направление дрейфа плазмы в F-слое ионосферы. На основе анализа радиосигнала таких спутниковых сеансов, временной интервал между которыми составлял 16–40 мин (такие спутниковые пролеты назовем «близкими»), можно определить характер конвекции в области наблюдения: стационарный или нестационарный.

### Методика исследований и результаты

Проанализированы данные, полученные в пос. Баренцбург (78.10°N, 14.21°E) на арх. Шпицберген в период 2012–2013 гг. Исследована амплитуда спутникового сигнала (сигнал принимался наземным приемником от отечественных навигационных спутников с круговой орбитой с высотой ~1000 км).

Разработанный в ПГИ метод определения параметров мелкомасштабных неоднородностей основан на предположении равномерного распределения неоднородностей в ионосферном F-слое. При движении спутника, по мере приближения его к наблюдателю в близкой к зениту зоне наземного приемника, наблюдаются интенсивные сцинтилляции спутникового сигнала, свидетельствующие о присутствии мелкомасштабных неоднородностей в данной области. На рис. 1 в левом столбце приведены графики первичных спутниковых данных, в правом столбце — результаты обработки.

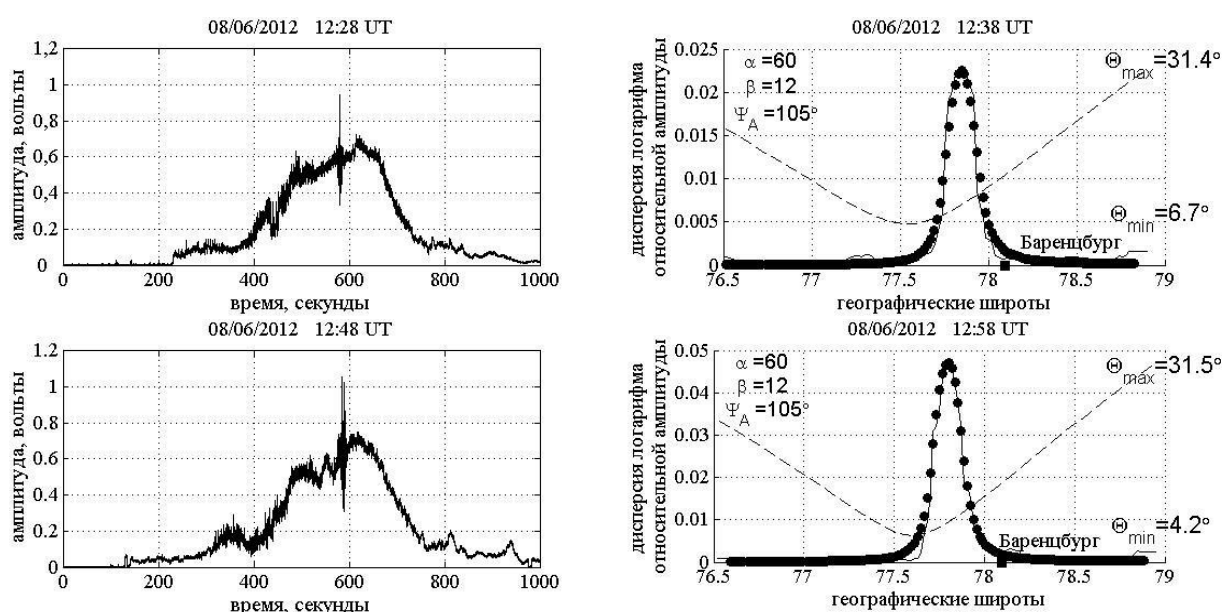


Рис. 1. Графики первичных спутниковых данных (левый столбец), полученные в двух независимых сеансах связи, и графики их индивидуальной математической обработки (правый столбец). Левый столбец — амплитуда спутникового сигнала (в заголовке указано время начала сеанса), правый — экспериментальный (сплошная кривая) и теоретический (черные кружки) максимумы в широтном профиле графика логарифма относительной амплитуды, построенного по этим данным (в заголовке указано время регистрации максимума, пунктиром показан график углов между спутником и наблюдателем при прохождении спутника во время сеанса)

Fig. 1. The diagrams of primary satellite data (the left column) received during two independent communication sessions and diagrams of their personal mathematical processing (the right column). The left column — amplitude of a satellite signal (the title shows the start time of a session). The right column — the experimental (a continuous

curve) and theoretical (black circles) maxima in the width profile of the diagram of the logarithm of the relative amplitude constructed according to these data (the title shows the time of registration of a maximum; the dotted line showed the diagram of angles between the satellite and the observer at passing of the satellite during the session)

На рис. 1 приведен пример двух спутниковых сеансов 8 июня 2012 г., когда спутники прошли над наблюдателем практически один за другим, поскольку при продолжительности каждого сеанса 18 мин начало сеансов было в 12:28 UT и в 12:48 UT. Также спутники имели идентичные параметры траектории, то есть второй спутник пересек ту же область пространства, что и первый. Интенсивные сцинтилляции спутникового сигнала в графиках амплитуды видны как всплески на ~580 с каждого сеанса (левый столбец). Рассчитанные по этим данным графики дисперсии логарифма относительной амплитуды в этих местах имеют максимумы (правый столбец). Поскольку величина максимума существенно превышает уровень фона, то путем аппроксимации его теоретической кривой по методу [2] можно определить параметры мелкомасштабных неоднородностей. Значения этих параметров приведены в левом верхнем углу для каждого сеанса в правом столбце. Сходство параметров анизотропии неоднородностей в двух спутниковых сеансах и особенно сходство значений  $\Psi_A$  как следствия направления дрейфа позволяют сделать вывод о стационарном характере ионосферной конвекции над п. Баренцбург с преимущественно зональным направлением дрейфа.

Очевидно, что предположение о F-слое как о слое с равномерно распределенными неоднородностями — это возможное допущение и постоянство параметров неоднородностей справедливо для небольшой зоны ионосферы. Географическое положение п. Баренцбург таково, что он часто находится либо в фокусе одной из двух крупномасштабных конвекционных ячеек, либо в небольших спорадических конвективных вихрях [4], и вследствие изменения направления дрейфа неоднородности также имеют разные параметры. Пример этому приведен на рис. 2.

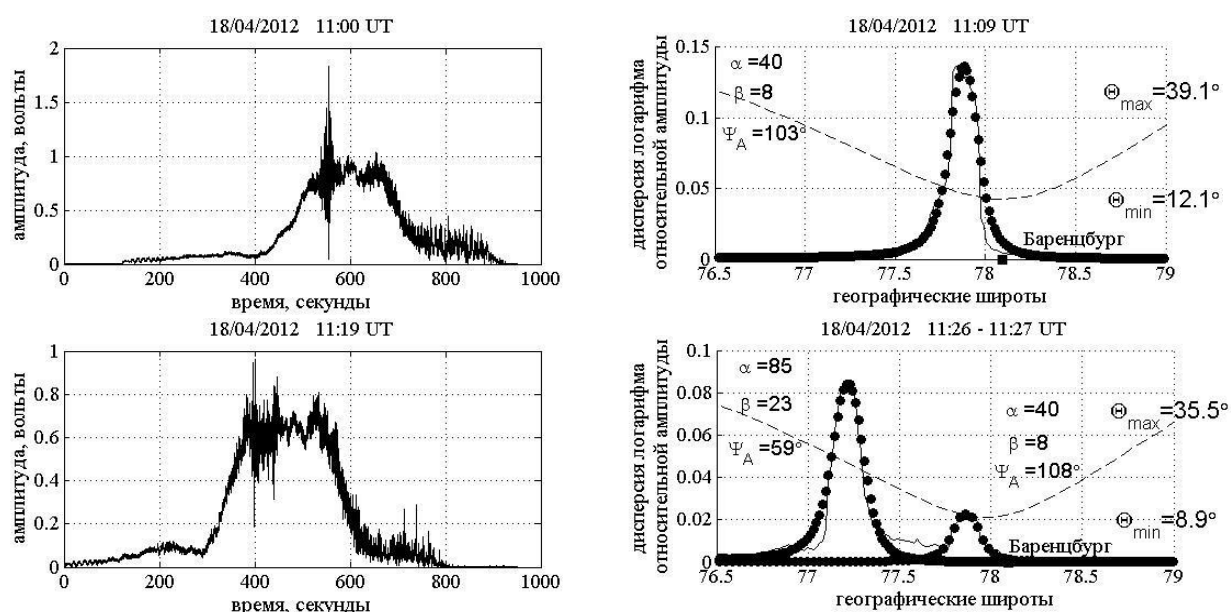


Рис. 2. Графики первичных спутниковых данных (левый столбец), полученные в двух независимых сеансах связи, и графики их индивидуальной математической обработки (правый столбец). Левый столбец — амплитуда спутникового сигнала (в заголовке указано время начала сеанса), правый столбец — экспериментальный (сплошная кривая) и теоретический (черные кружки) максимумы в широтном профиле графика логарифма относительной амплитуды, построенного по этим данным (в заголовке указано время регистрации максимума, пунктиром показан график углов между спутником и наблюдателем при прохождении спутника во время сеанса)

Fig. 1. The diagrams of primary satellite data (the left column) received in two independent communication sessions and diagrams of their personal mathematical processing (the right column). The left column — amplitude of a satellite signal (the title shows the start time of a session). The right column — the experimental (a continuous curve) and theoretical (black circles) maxima in the width profile of the diagram of the logarithm of the relative amplitude constructed according to these data (the title shows the time of registration of a maximum; the dotted line showed the diagram of angles between the satellite and the observer at passing of the satellite during the session)

Как и в предыдущем случае, была выбрана пара сеансов, когда спутники пересекали одну и ту же область пространства и временной интервал между сеансами минимален. В первом сеансе из примера на рис. 2 можно придерживаться приближения о постоянстве параметров неоднородностей в исследуемой зоне, поскольку максимум единственный. Присутствие в ионосфере неоднородностей с различными параметрами проявилось как два максимума в экспериментальном графике дисперсии амплитуды второго сеанса. Каждый максимум аппроксимирован индивидуальной теоретической кривой в предположении однородной ионосферы для пространственной области, занимаемой каждым максимумом. В первом сеансе направление дрейфа можно назвать стационарным вследствие присутствия единичного максимума. Второй сеанс интересен тем, что, во-первых, меньший максимум сходен по величине с уровнем фона (но принятый во внимание, поскольку «вырос» на сцинтилляциях, которые очевидны в первичных данных — около 430 с). Между тем в первом сеансе его величина была в несколько раз больше, пространственно это одна и та же область —  $\sim 77.8^\circ\text{N}$ . Это показывает, что неоднородности за время движения спутника переориентировались поперек геомагнитного поля. Во-вторых, появилась область с неоднородностями с другими параметрами около  $\sim 77.2^\circ\text{N}$ , которой не было во время первого сеанса. Известно, что направление дрейфа может измениться в течение нескольких минут. Можно утверждать, что метод определения параметров мелкомасштабных неоднородностей может отследить этот быстротечущий процесс.

## Выводы

Обработка большого массива данных за 2012–2013 гг. показала, что среди всех спутниковых сеансов нужно уделять внимание так называемым «близким спутниковым пролетам», так как близкие во времени спутниковые сеансы дают больше информации об ионосферной конвекции, чем остальные сеансы. Только по таким сеансам в одной точке пространства можно определить стационарный или нестационарный характер ионосферной конвекции.

## Благодарность

Автор благодарит сотрудников лаборатории радиопросвечивания ПГИ за проведение экспериментальных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aarons J. Global morphology of ionospheric scintillations // Proc. IEEE. 1982. 70. P. 360–378. 2. Куницын В., Терещенко Е., Андреева Е. Радиотомография ионосферы. 2007. 3. Comparison of the orientation of small scale electron density irregularities and F-region plasma flow direction / E. D. Tereshchenko [et al.] // Ann. Geophysicae. 2000. 18. P. 918–926. 4. Tereshchenko E. D., Romanova N. Yu., Koustov A. V. VHF scintillations, orientation of the anisotropy of F-region irregularities and direction of plasma convection in the polar cap // Ann. Geophysicae. 2008. Vol. 26. P. 1725–1730. 5. Романова Н. Ю. Взаимосвязь между направлением горизонтального ветра и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, № 4. С. 463–471.

## Сведения об авторе

Романова Наталья Юрьевна — младший научный сотрудник Полярного геофизического института  
E-mail: romanova@pgi.ru

## Author Affiliation

Natalia Yu. Romanova — Junior Researcher of the Polar Geophysical Institute  
E-mail: romanova@pgi.ru

## Библиографическое описание статьи

Романова, Н. Ю. Исследование мелкомасштабных неоднородностей в F-области ионосферы над арх. Шпицберген (пос. Баренцбург) / Н. Ю. Романова // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 3 (10). — С. 102–105.

## Reference

Romanova Natalia Yu. Investigation of Small-Scale Irregularities in F-Region of Ionosphere over Spitsbergen Archipelago (Barentsburg). *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2018, vol. 3 (10), pp. 102–105 (In Russ.).