

УДК 550.388.2; 551.510.413.5

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ДВУМЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ИОНОСФЕРЫ К ЗАДАЧЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© Николаев П.Н.

e-mail: pnikolayev@gmail.com

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация*

Статистический анализ данных наземных и спутниковых измерений свидетельствуют о том, что аномальные возмущения в ионосфере появляются за несколько суток-часов до землетрясений. Кроме того, в работах [1, 2] показано, что отклонения полного электронного содержания (ПЭС) могут превышать 50% от фонового значения.

Оперативное восстановление структуры ионосферы методами томографии позволяет выявлять аномальные возмущения в области F. Для этого целесообразно использовать сравнение текущих значений реконструируемого ионосферного профиля  $f^*(x, y)$  с фоновым, в качестве которого возможно использовать скользящее среднее  $f_{cp}^*(x, y)$  с диапазоном окна от 10 до 15 суток. В настоящей работе использовалась методика томографической реконструкции ионосферного профиля, рассмотренная в [3]. Отклонение текущего рассчитанного профиля от скользящего фонового значения оценивается по формуле:

$$df^*(x, y) = 100 \cdot (f^*(x, y) - f_{cp}^*(x, y)) / \langle f_{cp}^*(x, y) \rangle \quad (1)$$

где  $f^*(x, y)$  – текущий реконструированный ионосферный профиль в фиксированный момент времени;  $f_{cp}^*(x, y) = \sum_{i=1}^N f_i^*(x, y) / (N-1)$  – скользящее среднее значение, вычисленное по  $N = 15$  предшествующим реконструированным профилям ионосферы для того же момента времени;  $\langle \rangle$  – операция усреднения;  $df^*(x, y)$  – отклонение от фонового значения, выраженное в (%).

В настоящей работе было рассмотрено два крайних случая реконструкции ионосферного профиля, задаваемого моделью NeQuick [4], ошибки формирования начального приближения по методике из [3] в которых составляют  $\delta(l^\infty) = 0,25$  и  $\delta(l^\infty) = 0,65$ , где  $\delta(l^\infty) = \max_i |f_i - f_i^*| / \max_i |f_i|$ .

На эти модельные распределения были добавлены положительные неоднородности в виде функций Гаусса, среднеквадратичные отклонение которых составляют 200 км по широте и 75 км по высоте. Каждая неоднородность примерно в 2,5 раза выше уровня концентрации области, в которой она расположена. Координаты центров функций Гаусса размещались на высотах 300, 325, 350 км случайным образом и на широтах – 45, 0, 30, 80 °.

На рисунке показаны отклонения реконструированных профилей, содержащих ионосферные возмущения от 15-дневного скользящего среднего  $f_{cp}^*(x, y)$ . Значения превышающие уровень в 100% соответствуют искомым возмущениям. Не удалось различить лишь одну неоднородность на рисунке, а. Возмущения находящиеся ниже

уровня 100% вызваны ошибкой методики. Также успешность определения возмущения слабо зависит от точности формирования начального приближения.

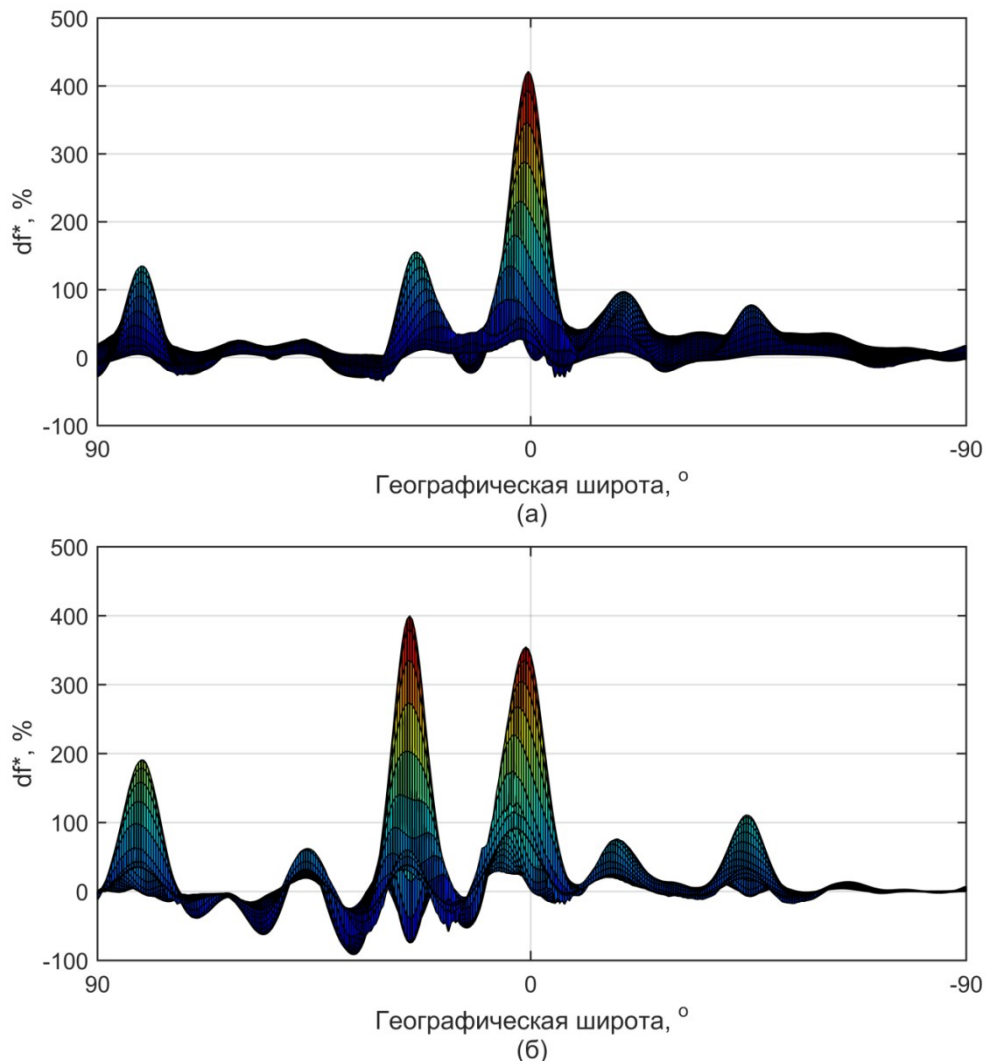


Рис. Отклонения реконструированных профилей ионосферы от 15-дневного скользящего среднего в плоскости полярной орбиты; а – первая модель; б – вторая модель

### Библиографический список

1. Pulinets, S.A. Main phenomenological features of ionospheric precursors of strong earthquakes [Text] / S.A. Pulinets [and etc.] // J. Atm. Solar Terr. Phys. – 2003. – 65. – P. 1337–1347.
2. Давиденко, Д.В. Диагностика ионосферных возмущений над сейсмоопасными регионами [Текст] :Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: 25.00.29.: защищена 25.00.29. / Д.В. Давиденко. – М. : ФГБУ "ИПГ", 2013. – 147 с.
3. Николаев, П.Н. Метод реконструкции электронной концентрации в ионосфере по схеме регистрации данных спутник – спутник [Текст] / П.Н. Николаев // Сборник трудов 15-й Конференции молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования» под ред. А.М. Садовского. Сер. «Механика, управление и информатика», Москва, 11-13 апреля 2018 г. – М.: ИКИ РАН, – 2018. – С. 73-80.
4. Giovanni G.Di. An analytical model of the electron density profile in the ionosphere [Text] / G.Di Giovanni, S. M. Radicella // Advances in Space Research. – 1990. – V. 10, No. – 11. – P. 27-30.