

УДК 550.338

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕС ТОМОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ПО ДАННЫМ
ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ GNSS.

аспирант Падохин А.М

МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, кафедра физики атмосферы
padokhin@mail.ru

С развитием наземной сети приемников сигналов высокоорбитальных навигационных систем GPS и ГЛОНАС, расположенных практически по всему земному шару, появилась возможность использовать непрерывные измерения параметров проходящих через ионосферу навигационных сигналов для региональной или глобальной реконструкции распределения электронной концентрации в ионосфере. В связи с этим целью данной работы является моделирование возможности восстановления глобального распределения электронной концентрации в ионосфере томографическими методами.

Входными данными для высокоорбитальной томографии ионосферы являются измерения фазы радиосигнала (фазового пути) при прохождении им пути от спутника до наземной станции-приемника на двух рабочих частотах. Для системы GPS эти частоты составляют $f_1 = 1575,42 \text{ MHz}$ и $f_2 = 1227,6 \text{ MHz}$, для системы ГЛОНАСС 1600 MHz и 1250 MHz соответственно. Соответствующие данные принято называть L_1 и L_2 - фазовые пути радиосигналов, измеренные в длинах зондирующих волн. По данным L_1 и L_2 можно определить полное электронное содержание вдоль распространения луча (наклонный sIТЕС) исходя из следующей формулы:

$$sIТЕС = \left(\frac{L_1}{f_1} - \frac{L_2}{f_2} \right) \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{c}{K} + const,$$

где $K = 40.308 \frac{\text{м}^3}{\text{с}^2}$, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость света в вакууме.

Томографический подход заключается в определении распределения электронной концентрации в ионосфере по набору интегралов по лучам, пересекающим область реконструкции, т.е. по набору sIТЕС для каждой пары спутник-приемник:

$$\int_l N_e(r, t) dl = sIТЕС_l(t)$$

Было построено простейшее модельное распределение электронной концентрации в ионосфере, качественно отражающее такие особенности исследуемой среды, как различие концентраций на дневной и ночной стороне Земли, экваториальная аномалия и главный ионосферный провал. Использовалось приближение толстого слоя с постоянной толщиной, а все временные и пространственные неоднородности моделировались распределением электронной концентрации на высоте максимума слоя. Для модельного распределения электронной концентрации в ионосфере, и для реальной геометрии расположения приемников и спутников (на примере дня 30 октября 2003 года) была решена прямая томографическая задача и посчитаны значения наклонного ТЕС по лучам для каждой пары спутник-приемник.

По данным о наклонном ТЕС, полученным в прямой задаче, было проведено восстановление модельного поля электронной концентрации и поля вертикального ТЕС с использованием нескольких алгоритмов восстановления.

Продемонстрирована необходимость использования процедур интерполяции получаемого решения в области отсутствия данных или, при использовании итерационных методов решения, использования межитерационного сглаживания решения. Показано, что томографические методы дают возможность восстанавливать такие крупномасштабные неоднородности распределения электронной концентрации в ионосфере, как экваториальная аномалия и главный ионосферный провал, обладая при этом большей

разрешающей способностью, чем общепринятые методики пересчета наклонного ТЕС на вертикаль. На рисунках 1 и 2 показаны модельное и восстановленное при реальной геометрии спутников и приемников (для 30 октября 2003 года) распределение вертикального ТЕС для времени 4:00UT. Видно хорошее совпадение результатов.

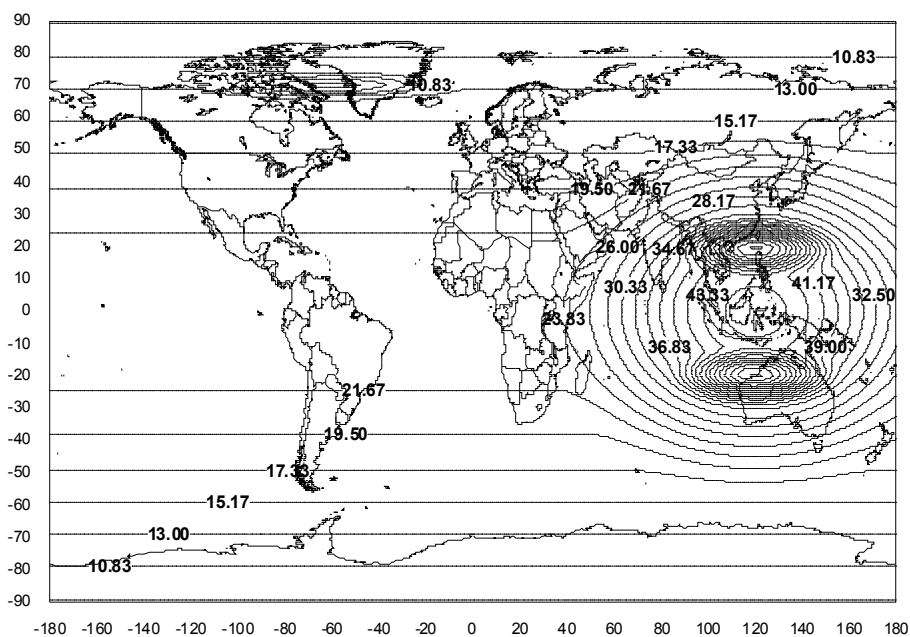


Рис. 1 Модельное распределение вертикального ТЕСа (4 UT).

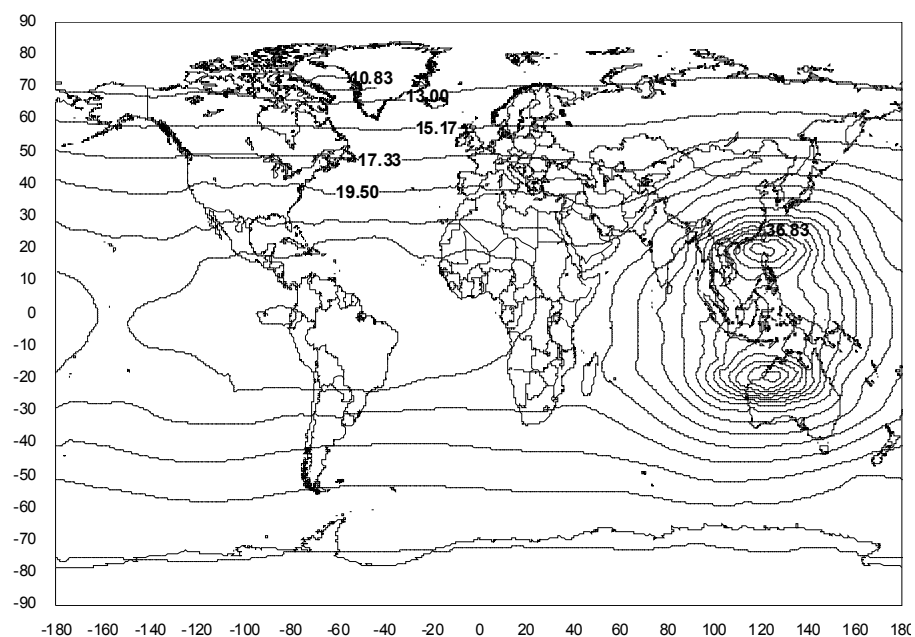


Рис. 2 Томографическая реконструкция вертикального ТЕС (4 UT)

Литература.

1. В.Е. Куницын, Е.С. Андреева, М.А. Кожарин, И.А. Нестеров//Вестник московского университета. Физика и Астрономия. 2005. №1. С.74
2. Kunitsyn V.E., Tereshenko E.D., Ionospheric Tomography, Springer-Verlag, 2003