

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НОЧНОЙ F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙЯНИЯ

Дзюбанов Д. А., Емельянов Л. Я., Ляшенко М. В.

*Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков*

Рассмотрены возможности использования данных харьковского радара некогерентного рассеяния для определения значений коэффициента линейной рекомбинации в F-области ионосферы.

Исследование физических процессов, определяющих распределение электронной концентрации в F-области, важны для решения задач детерминированного подхода к ионосферному моделированию. В частности, от правильного выбора констант фотохимических реакций зависит то, насколько реально рассчитанный профиль электронной концентрации будет соответствовать экспериментальному. Для F-области процесс исчезновения электронов определяется в основном линейной рекомбинацией, которая протекает со скоростью

$$\beta = \gamma_1 [N_2] + \gamma_2 [O_2],$$

где  $\gamma_1$  — константа реакции  $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$ , а  $\gamma_2$  — константа реакции  $O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$ ,  $[N_2]$  и  $[O_2]$  — концентрации молекулярного азота и молекулярного кислорода соответственно. Обычно константы этих реакций определяются в сложных лабораторных опытах и в большинстве случаев довольно неплохо соответствуют наблюдениям. Однако специально поставленные эксперименты с использованием данных некогерентного рассеяния показывали существенные отличия расчетного и наблюдаемого коэффициента линейной рекомбинации  $\beta$  [1]. Возможности радара некогерентного рассеяния в Харькове также позволяют проведение таких исследований. При этом в основу эксперимента положены следующие предпосылки. В общем случае распределение электронной концентрации F-области определяется уравнением непрерывности, связывающим основные физические процессы — ионизацию, рекомбинацию и перенос плазмы:

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} = q - \beta N_e - \operatorname{div}(N_e \vec{V}),$$

где  $q$  — скорость ионообразования,  $\vec{V}$  — полная скорость переноса плазмы за счет амбиполярной диффузии, термосферных ветров и электрических полей. Для экспериментального определения коэффициента  $\beta$  благоприятная возможность создается в ночное время, когда практически нет процесса ионизации. Поэтому изменение электронной концентрации определяется только процессами рекомбинации и переноса, так как уравнение непрерывности существенно упрощается, и коэффициент линейной рекомбинации определяется выражением

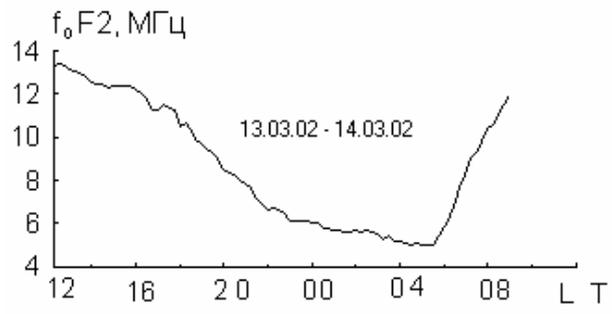
$$\beta = \frac{1}{N_e} \left( -\frac{\partial N_e}{\partial t} - \operatorname{div}(N_e \vec{V}) \right).$$

Таким образом, наблюдая изменения электронной концентрации в определенном объеме и используя данные метода некогерентного рассеяния по измерениям скорости дрейфа плазмы, можно оценить значение коэффициента  $\beta$ . При проведенных оценках был использован ряд допущений и предпосылок, связанных прежде всего с тем, что на харьковском радаре измеряются распределения ионосферных параметров только по вертикали, включая скорости дрейфа плазмы. Предполагаются пренебрежимо малыми горизонтальные градиенты ионосферных параметров в пределах луча радара. Это приводит к существенному упрощению члена  $-\operatorname{div}(N_e \vec{V})$ . Также для упрощения представления этого слагаемого воспользуемся прямоугольной системой координат, аналогичной использованной в [1], в которой ось X направлена на магнитный юг, ось Y — на магнитный восток, а ось Z — вертикально вверх.

Для оценки коэффициента линейной рекомбинации была выбрана магнито-спокойная дата 13 марта 2002 года. Поток солнечного радиоизлучения на длине волны 10.7 см, которым характеризовалась солнечная активность, составлял  $180 \cdot 10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Гц}^{-1}$ , т. е. эта дата относилась скорее к повышенному уровню солнечной активности. Еще одним аргументом выбора такой даты было стремление удовлетворить двум условиям, связанным с методикой определения  $\beta$ . Во-первых, данные, взятые для анализа, должны относиться к высотам, где существенную роль играют процессы переноса, т.е. к высотам верхней части F-области. Во-вторых, необходимо практически полное отсутствие процесса ионизации на этих высотах. Здесь имеется в виду, что с ростом высоты сокращается ночной интервал времени; при определенных условиях, например, в период летнего солнцестояния, Солнце может вовсе не заходить на высотах, больших 300 км. Для определения величины  $\beta$  была взята высота 400 км, на которой заход Солнца наступает примерно в 19 часов местного времени, и мы воспользовались данными, полученными в интервале от 21 ч 30 мин до 22 ч 30 мин. На рисунке изображен временной ход критической частоты F-области. Этот рисунок характеризует характер измерения электронной концентрации в F-области с течением времени. Данные измерений методом некогерентного рассеяния для высоты 400 км дали следующие величины, для удобства представленные в табличном виде (таблица).

Коэффициент линейной рекомбинации  $\beta$ , определенный по этим данным, оказался равным  $0.42 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . Также было оценено теоретическое его значение согласно [2]; при этом использовались экспериментальные данные о температурах электронов и ионов, а концентрации  $[\text{N}_2]$  и  $[\text{O}_2]$  рассчитывались по термосферной модели MSIS-86. Расчет дал значение  $\beta$ , равное  $0.2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . В принципе это согласуется с результатами [1], однако следует отметить, что эти оценки носят предварительный характер и требуют дальнейшего уточнения.

1. Buonsanto M. J. and Holt J. M. Measurements of gradients in ionospheric parameters with a new nine-position experiment at Millstone Hill // J. Atmospheric and Terrestrial Physics v.57, p.705-717, 1995.
2. Иванов-Холодный Г. С., Михайлов А. В. Прогнозирование состояния ионосферы. - Л.: Гидрометеоздат, 1980. - 190 с.



Временной ход критической частоты по данным вертикального зондирования

Данные измерений методом некогерентного рассеяния для высоты 400 км

$N_e, \text{м}^{-3}$	$dN_e/dt,$ $\text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$	$dN_e/dz, \text{м}^{-4}$	$T_e, \text{K}$	$T_i, \text{K}$	$V_z, \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	$dV_z/dz, \text{с}^{-1}$
$0,5 \cdot 10^{-12}$	$-0,18 \cdot 10^8$	$-0,23 \cdot 10^7$	1200	1200	-25	-0,06