

А.В. БОГОМАЗ, н.с., Институт ионосферы, Харьков;

Д.В. КОТОВ, н.с., Институт ионосферы, Харьков;

М.Н. СЮСЮК, вед. инж.-электроник, Институт ионосферы, Харьков

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ОЦЕНОК КОНЦЕНТРАЦИИ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ К НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯМ ЗАДАВАЕМЫХ ТЕМПЕРАТУР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МЕТОДЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

В результате моделирования решения обратной радиофизической задачи были оценены погрешности измерения относительной концентрации тяжёлых ионов, а также температур ионов и электронов. Сделаны выводы о характере смещения результатов расчёта параметров ионосферной плазмы при разных начальных условиях.

Ключевые слова: некогерентное рассеяние, обратная задача, оценивание параметров, погрешности измерения.

В результаті моделювання розв'язання зворотної радіофізичної задачі було оцінено похибки вимірювань відносної концентрації важких іонів, а також температур іонів та електронів. Зроблено висновки про характер зміщення результатів розрахунку параметрів іоносферної плазми за різних початкових умов.

Ключові слова: некогерентне розсіяння, зворотна задача, оцінювання параметрів, похибки вимірювань.

As a result of simulation of the inverse problem errors of the measurement of molecular ions fraction and ion and electron temperatures were estimated. The conclusions about character of bias of the ionosphere plasma parameters under different initial conditions were made.

Keywords: incoherent scatter, inverse problem, parameters estimation, errors of measurement.

Введение. При определении параметров ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния (НР) на высотах средней ионосферы из-за возникающих при решении обратной радиофизической задачи неоднозначностей невозможно точно определить температуры ионов и электронов, не зная ионного состава плазмы, или определить ионный состав, не зная значений температур. Таким образом, возникает вопрос, насколько изменяется решение обратной задачи при внесении известной неопределённости в значение задаваемого параметра.

Цель статьи – рассмотрение полученных для диапазона высот, соответствующего средней ионосфере, погрешностей решения обратной задачи, а также обсуждение преимуществ и недостатков методов оценки параметров с использованием фиксированных значений температур либо фиксированного ионного состава.

Алгоритм моделирования. Ионный состав на высотах средней

ионосферы является многокомпонентным. В плазме присутствуют три основных типа ионов – NO^+ , O_2^+ и O^+ . Метод НР не позволяет различить ионы NO^+ и O_2^+ в силу малого различия их масс. Поэтому, с точки зрения процесса исследования ионосферы методом НР, можно считать, что в плазме присутствуют два типа ионов – ионы атомарного кислорода O^+ и тяжёлые молекулярные ионы M^+ (их концентрация равна сумме концентраций ионов NO^+ и O_2^+) [1, 2].

Для проведения запланированного моделирования был разработан пакет программ и рассчитаны библиотеки теоретических автокорреляционных функций (АКФ) для оценивания параметров ионосферной плазмы в диапазоне средних высот.

При моделировании решения обратной задачи использовались два подхода. В первом случае задавались значения температур ионов T_i и электронов T_e , и производился расчёт концентрации тяжёлых ионов в ионосферной плазме при небольших изменениях значений температуры относительно заданных. Во втором случае, задаваясь относительной концентрацией ионов атомарного кислорода $N(\text{O}^+)/N$, рассчитывались температуры ионов и электронов при наличии неопределённостей в ионном составе.

На рисунках приведены примеры результатов моделирования для заданных значений температур ионов и электронов $T_i = T_e = 800 \text{ K}$ и относительных концентраций ионов атомарного кислорода в диапазоне 10 – 90 % (с шагом 10 % по параметру $N(\text{O}^+)/N$). Концентрация тяжёлых ионов при этом была равна $N(\text{M}^+)/N = 100 - N(\text{O}^+)/N$, %.

При определении значений параметров плазмы шаг по концентрации ионов составлял 1 %, шаг по температурам – 5 К.

Рассмотрим оба случая подробно.

Заданный ионный состав. При моделировании были получены результаты для решений обратной задачи в условиях отклонения ионного состава от –10 % до 10 % от исходного значения. Рассчитанные значения температур ионов и электронов приведены на рис. 1.

Заданные температуры ионов и электронов. При моделировании были получены результаты для перебора решений обратной задачи в условиях отклонения температур ионов и электронов от –50 К до 50 К от заданного значения. Рассчитанные значения концентрации тяжёлых ионов и абсолютные погрешности их определения показаны на рис. 2.

Выводы. Анализ результатов проведенного моделирования позволяет сделать следующие выводы.

Для эксперимента с задаваемым ионным составом:

1) Погрешность определения температуры ионов уменьшается при уменьшении относительного содержания тяжёлых ионов, в то время как погрешность определения температуры электронов растёт.

2) Величина абсолютной погрешности определения температуры ионов лежит в пределах от -90 К до 120 К, а погрешность температуры электронов – от -60 К до 60 К (при величине ошибки задаваемого относительного содержания тяжёлых ионов от -10% до 10%).

3) Абсолютная погрешность определения температур практически симметрична относительно истинного значения концентрации ионов и для одинаковых по модулю, но противоположных по знаку ошибок задаваемого относительного содержания тяжёлых ионов также имеет разные знаки.

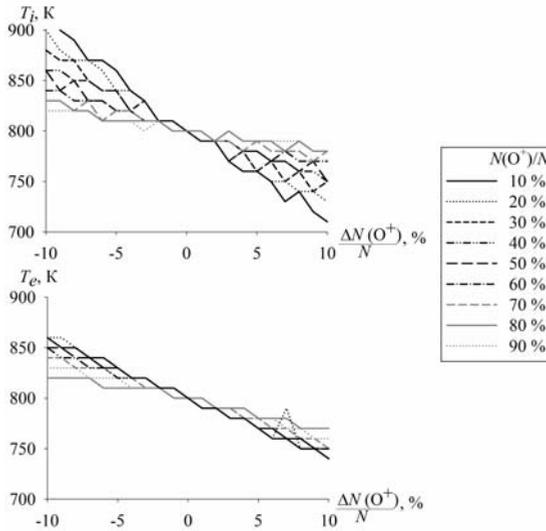


Рис. 1 – Оценки температур ионов и электронов при внесении неопределённости в значение задаваемого ионного состава

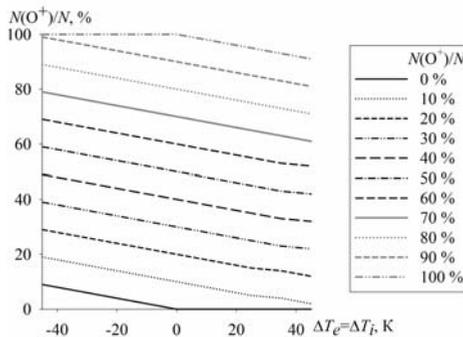


Рис. 2 – Оценки концентрации ионов кислорода при внесении неопределённости в значения задаваемых температур

Для эксперимента с задаваемыми температурами ионов и электронов:

1) Относительная погрешность определения концентрации тяжёлых ионов практически не зависит от их абсолютного значения.

2) Величина абсолютной погрешности определения относительного содержания тяжёлых ионов лежит в пределах от -10% до 10% при величине ошибки задаваемых температур от -50 К до 50 К .

3) Абсолютная погрешность определения концентрации тяжёлых ионов практически симметрична относительно истинного значения температур ионов и электронов и для одинаковых по модулю, но противоположных по знаку ошибок задаваемого значения температур также имеет разные знаки.

Общий вывод по двум экспериментам следующей. Величины погрешностей практически равноценны. Это значит, что при оценивании температур можно задаваться, как ионным составом, так и температурами ионов и электронов. Поиск температур ионов и электронов при заданном ионном составе широко используется при обработке данных НР высокоширотной ионосферы [3–4]. Однако, это неприменимо для данных, получаемых на радаре НР Института ионосферы из-за отсутствия надёжной проверенной модели ионного состава для среднеширотной ионосферы. В то же время температуры в максимуме ионизации (где плазму можно считать однокомпонентной, т.е. представленной только лишь ионами атомарного кислорода) можно определить достаточно точно. Кроме того, температуры ионов и электронов внизу области средней ионосферы приблизительно равны температуре нейтральных частиц атмосферы [3]. Существующие модели атмосферы (например, модель MSIS) дают достаточно точные значения температур нейтралов [5–6], поэтому можно считать, что температуры ионов и электронов в нижней области ионосферы также известны.

Из вышеприведенных исследований следует, что определение ионного состава средней ионосферы с использованием задаваемых значений температур ионов и электронов является не только целесообразным, но и вполне оправданным подходом.

Список литературы: 1. Данилов А.Д. Популярная аэрономия / А.Д. Данилов // Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 230 с. 2. Брюнелли Б.Е. Физика ионосферы / Б.Е. Брюнелли, А.А. Намгаладзе // М.: Наука, 1988. – 528 с. 3. Радклифф Дж. Введение в физику ионосферы и магнитосферы / Дж. Радклифф // М.: Мир, 1975. – 278 с. 4. Эванс Дж.В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / Дж.В. Эванс // ТИИЭР. – 1969. – Т. 8, № 4. – С. 139-175. 5. Bilitza D., International Reference Ionosphere 2000 / D. Bilitza // Radio Science. – 2001. – № 2. – P. 261-275. 6. International Reference Ionosphere [Электронный ресурс] / NASA Official: Dr. Robert McGuire. – URL: <http://iri.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 01.04.2013).

Поступила в редколлегию 01.04.2013