

*Д.В. КОТОВ*, м.н.с., Институт ионосферы НАН и МОН Украины  
*Ю.В. КЛЕЙНОСОВ*, студент, НТУ “ХПИ”

*А.Е. МИРОШНИКОВ*, м.н.с., Институт ионосферы НАН и МОН  
Украины

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕУЧЁТА НАЛИЧИЯ ИОНОВ ГЕЛИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

За результатами моделювання розв’язання прямої та зворотної задач радіофізики оцінено методичні похибки визначення параметрів іоносферної плазми, які пов’язані з можливим неврахуванням наявності у складі плазми іонів гелію. Зроблено висновок про те, що у загальному випадку порівняння результатів оброблення експериментальних даних з врахуванням та неврахуванням наявності іонів гелію може дати цінну додаткову інформацію.

Methodological errors of ionospheric plasma parameters determining induced by the possible ignoring of the presence of helium ions in a plasma are estimated as the results of modeling of direct and inverse radiophysics problems solving. It was concluded that, in general, comparing the results of processing experimental data with the results for ignoring helium ion can give more valuable information.

**Введение.** Как известно [1], при определении параметров ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния (НР) первичными данными являются автокорреляционные функции (АКФ) НР-сигнала, которые являются нелинейными функциями искомых параметров. В реальных условиях, когда приходится работать при соотношении сигнал/шум по мощности единица и менее, а также когда существенное влияние на АКФ оказывает сопоставимость дебаевского радиуса экранирования с длиной волны зондирующего радиосигнала, в некоторых случаях для ускорения обработки и уменьшения разброса параметров при их поиске принимается, что ионы гелия в рассматриваемой области ионосферы отсутствуют. При этом за счёт исключения одного из параметров поиска существенно уменьшается время обработки и разброс получаемых параметров плазмы, однако их значения могут оказаться смещёнными. Величина такого смещения для условий работы харьковского радара НР до сих пор не оценивалась.

**Цель статьи** – оценивание погрешностей результатов определения параметров ионосферной плазмы, дополнительно возникающих из-за игнорирования возможного наличия ионов гелия в рассматриваемой области ионосферы.

**Алгоритмы моделирования.** Поскольку АКФ НР-сигнала зависит не только от параметров ионосферной плазмы, но и от характеристик зондирующих радиосигналов и используемой для исследований аппаратуры, в данной работе моделирование проводилось с учётом всех факторов,

которые оказывают определяющее влияние на АКФ. При этом учитывались реальные характеристики радара НР, а также все существенные аппаратурные и методические преобразования, которые имеют место в реальных условиях проведения эксперимента. Алгоритмы такого моделирования предложены и подробно описаны в [2, 3].

При моделировании погрешностей в рассматриваемой ситуации необходимо поэтапно осуществить следующие действия.

1. Задаваясь пространственными распределениями значений параметров ионосферной плазмы (в данном случае мы берём их из международной справочной модели ионосферы IRI–2001), симитировать АКФ НР-сигнала (решить прямую радиофизическую задачу), учитывая все особенности обработки НР-сигнала и специфику метода НР.

2. По симитированной АКФ определить «измеренные» параметры плазмы (решить обратную радиофизическую задачу), полагая при этом, что ионы гелия в плазме присутствуют.

3. Определить смещения оценок параметров ионосферной плазмы как разность между «измеренными» и модельными значениями.

4. По той же симитированной АКФ определить «измеренные» параметры плазмы, полагая при этом, что ионов гелия нет.

5. Определить для этого случая смещения оценок параметров ионосферной плазмы как разность между «измеренными» и модельными значениями.

6. Сравнить погрешности определения параметров ионосферной плазмы, полученные при учёте и неучёте возможного наличия ионов гелия, оценив тем самым величину дополнительно возникающих за счёт неучёта ионов гелия смещений.

Расчёты в соответствии с описанным алгоритмом проводились для двух существенно различных гелиогеофизических условий: зимнее солнцестояние (ЗС), полночь, минимум солнечной активности (СА) и летнее солнцестояние (ЛС), полдень, максимум СА. Сопоставление таких результатов позволит выявить системные качественные особенности поведения погрешностей.

Результаты моделирования представлены на рисунке.

**Обсуждение результатов.** Рассмотрение результатов моделирования позволяет выделить следующие основные особенности дополнительно возникающих погрешностей.

*Температура ионов.* Для полуночи, ЗС, минимум СА, наблюдается незначительное (до 4 %) завышение значений  $T_i$ . Данная погрешность имеет место везде в области высот, где относительное содержание ионов гелия  $N(\text{He}^+)/N$  превышает 5 %.

Для полудня, ЛС, максимум СА, отмечается гораздо более существенное завышение значений  $T_i$  (до 50 %). Пространственное положение максимума дополнительной погрешности совпадает с высотой максимума профиля параметра  $N(\text{He}^+)/N$ .

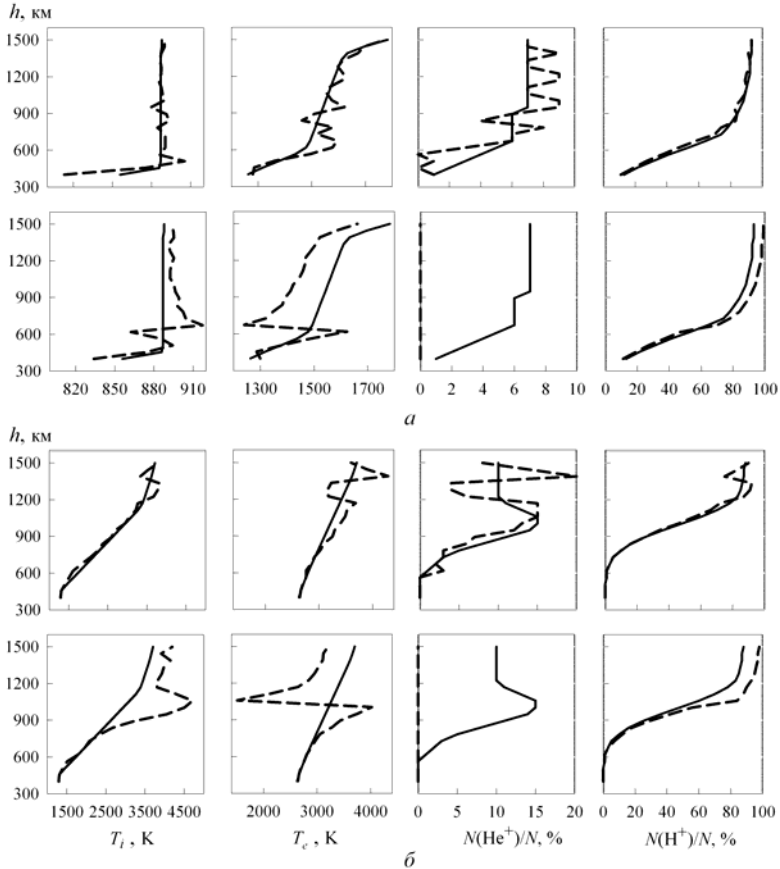


Рис. 1. Высотные профили модельных значений параметров ионосферной плазмы (сплошная линия) и результата решения обратной радиофизической задачи (пунктир) для полуночи, ЗС, минимум СА (а) и полудня, ЛС, максимум СА (б). На верхних панелях рисунков а и б отображены результаты, полученные при учёте наличия ионов гелия, на нижних – без учёта.

*Температура электронов.* Для полуночи, ЗС, минимум СА, наблюдается занижение (до 15 %) величины  $T_e$ . Такая погрешность, как и погрешность величины  $T_i$ , присутствует везде в области высот, где относительное содержание ионов гелия  $N(\text{He}^+)/N$  превышает 5 %, а положения максимумов погрешностей  $T_i$  и  $T_e$  совпадают. Отличительной особенностью высотного хода параметра  $T_e$  является наличие резкого скачка значений  $T_e$ , причём знак погрешности меняется.

Для полудня, ЛС, максимум СА, также наблюдается занижение величины  $T_e$ , однако величина смещения в данном случае достигает 50 %.

Высотная зависимость величины погрешности аналогична имеющей место для полуночи, ЗС, минимум СА. Аномальный резкий скачок значений  $T_e$ , сопровождающийся сменой знака погрешности, также наблюдается.

*Относительное содержание ионов водорода.* Высотное поведение параметра  $N(H^+)/N$  для рассматриваемых условий имеет сходный характер. И для полуночи, ЗС, минимум СА, и для полудня, ЛС, максимум СА, отмечается завышение значений  $N(H^+)/N$  до 6 % и 18 % соответственно. Заметное дополнительное смещение  $N(H^+)/N$  начинает проявляться на высотных зависимостях выше области аномального скачка температур электронов.

**Выводы.** Проведенное моделирование и анализ полученных результатов позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Неучёт наличия ионов гелия при обработке экспериментальных данных для радара Института ионосферы может привести к недопустимо большим смещениям значений других параметров ионосферной плазмы.

2. Отмеченные особенности дополнительно возникающих погрешностей качественно подобны для существенно различных гелиогеофизических условий. Абсолютные значения погрешностей увеличиваются при росте солнечной активности.

3. Аномальные скачки на высотном профиле температуры электронов могут не только служить достаточно надёжным индикатором наличия ионов гелия в данной области ионосферы, но и приблизительно указывать на положение максимума высотного профиля параметра  $N(He^+)/N$ . Как представляется, это обстоятельство может быть использовано при обработке экспериментальных данных. Предполагается сначала проводить обработку без учёта ионов гелия, определяя положение высоты максимума профиля  $N(He^+)/N$  по резкому скачку высотного хода  $T_e$ . При вторичной обработке (с учётом ионов гелия) информация об этой высоте будет использоваться в качестве вспомогательной для коррекции полученных результатов.

**Список литературы:** 1. Эванс Дж.В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн // ТИИЭР. – 1969. – 57, № 4. – С. 139 – 175. 2. Домнин И.Ф., Котов Д.В., Черногор Л.Ф. Корреляционная функция некогерентно рассеянного сигнала. Моделирование вариаций. Методические погрешности определения параметров ионосферной плазмы // Нелинейный мир. – 2010. – 8, № 3. – С. 160 – 179. 3. Клейменов Ю.В., Котов Д.В. Оцінювання похибок визначення параметрів іоносферної плазми, пов'язаних з неврахуванням наявності іонів гелію // XVIII Міжнародна научно-практична конференція: Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Сборник тезисов. – Х.: НТУ "ХПИ", 2010.

*Поступила в редколлегию 31.05.2010*