

УДК 550.338

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ СРЕДНЕШИРОТНОГО КОГЕРЕНТНОГО ЭХА

К.В. Гркович, Б.Г. Шпынев, Е.Б. Романова

## THE ESTIMATION OF IONOSPHERE PLASMA PARAMETERS INSIDE THE REGION OF MIDLATITUDE COHERENT ECHOES GENERATION

K.V. Grkovich, B.G. Shpynev, E.B. Romanova

В работе проводится исследование геофизических условий в субавроральной ионосфере во время сильных геомагнитных возмущений, в результате которых на среднеширотном Иркутском радаре некогерентного рассеяния (НР) наблюдается когерентное эхо (радиоаврора). Исследования проводились на основе теоретической ионосферно-плазмосферной модели [1], а также с использованием модели диаграммы направленности НР [2]. В работе проведена локализация области наиболее сильного рассеяния и получены оценки параметров области рассеяния.

In the work the model investigation of subauroral ionosphere condition, when strong coherent echo signals were observed by Irkutsk incoherent scatter radar, was carried out. The investigation was done on the base of ionosphere-plasmosphere model [1], as well as by using the model of radar diagram pattern [2]. The localization of scattering region and estimation of plasma parameters in this region was performed.

### Введение

Большая ионосферная буря является следствием сложных явлений в среднеширотной ионосфере, причиной которых является реакция на возмущение околоземного космического пространства вследствие солнечных вспышек и сопровождающих их выбросов корональной массы. Основным признаком больших (Severe Storm в иностранной литературе) ионосферных бурь является перестройка структуры среднеширотной ионосферы, включающая не только изменение газового состава и температуры плазмы, но и распространение на средние широты зоны магнитосферной конвекции и границы аврорального овала. Во время таких событий на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (НР) наблюдается редкое явление – когерентное эхо (радиоаврора), которое приходит с областей ионосферы, расположенных к северу от Иркутска на 450–1100 км. Причиной этих мощных сигналов являются неустойчивости плазмы (двухпоточковые или градиентно-дрейфовые [4]), возникающие вследствие сверхзвукового движения плазмы в районе западного электроджета под действием сильного электрического поля, возникающего в утренней, ночной и вечерней ионосфере. Конфигурация области неоднородностей достаточно сложна и мало изучена ввиду того, что наиболее распространенные диагностические средства – ионозонды в такой момент находятся в состоянии экранировки (blackout). В настоящей работе проводится анализ параметров данной области неоднородностей для большой бури 25 сентября 1998 г. на основе теоретической модели (Кринберг, Тащилин 1984), которая была ранее протестирована на данных Иркутского радара НР (Тащилин и др. 2005).

### Теория и эксперимент

Электрическое поле, являющееся источником электроджета, действует в зоне наиболее высокой проводимости, которой во время больших бурь является высотный интервал 100–120 км, соответствующий E-слою ионосферы. Хотя конфигурация этой области для условий авроральной ионосферы

хорошо изучена, в случае больших бурь, затрагивающих средние широты, процесс образования данной области в большой степени зависит от параметров термосферного ветра, достигающего скорости 500–800 м/с и имеющего более высокую на 100–300° температуру. По этой причине большая часть теоретических моделей не в состоянии адекватно описать динамику ионосферы во время сильных возмущений. В работе [3] теоретическая модель ионосферы была протестирована по данным НР во время большой бури 25 сентября 1998 г., так что расчетные параметры показали хорошее согласие с экспериментом для широты Иркутска ~53°.

Экспериментальные данные по когерентному эху получены с дальности 450–1100 км, что соответствует широте 58–63°. Задачей данной работы было исследование на основе модельных параметров области генерации КЭ путем аппроксимации параметров модели на указанный широтный диапазон. При этом основное внимание уделялось локализации области наиболее сильных неоднородностей и связи мощности сигнала КЭ с параметрами среды и диаграммой направленности антенной системы Иркутского радара НР.

### Экспериментальные данные и результаты моделирования

На рис. 1 приведена зависимость мощности сигнала НР от дальности и времени. Полосы внизу рисунка соответствуют замираниям сигнала НР вследствие эффекта Фарадея и позволяют судить о значении электронной концентрации над Иркутском. Мощный сигнал с 8 до 15 UT на дальности 400–1100 км соответствует когерентным эхам. Следует отметить два выделенных максимума на дальностях 450 и 1050 км, причем их происхождение связано с особенностями диаграммы направленности антенны, представленной на рис. 2, и ракурсными условиями рассеяния (волновой вектор излучения должен быть перпендикулярен геомагнитному полю в области рассеяния). Из рисунка видно, что в областях, соответствующих широтам 58° и 63°, при высоте рассеивающего

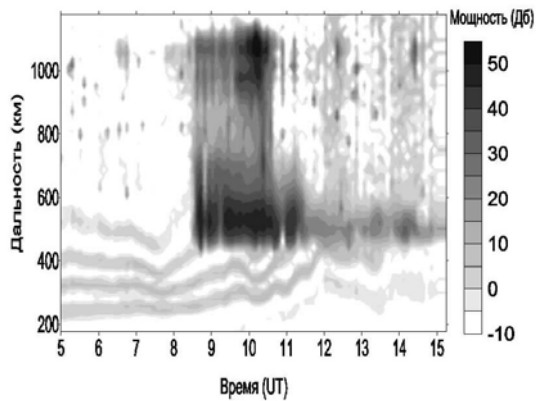


Рис. 1. Данные Иркутского радара НР.

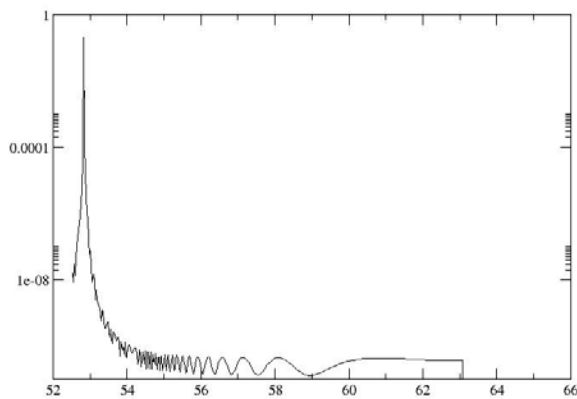


Рис. 2. Диаграмма направленности радара НР.

слоя 115 км имеются максимумы (боковые лепестки диаграммы направленности), которые при соблюдении условий ракурсности рассеяния приводят к высокому уровню сигнала [2]. Именно для этой области было проведено моделирование электронной концентрации и температуры плазмы.

Результаты моделирования представлены на рис. 3. Сравнение результатов моделирования  $N_e$ ,  $T_e$  с динамикой сигналов КЭ показывает, что начало КЭ соответствует прохождению через область рассеяния мощного фронта горячего термосферного ветра, меняющего ионный состав и резко уменьшающего  $N_e$  в нижней ионосфере. Следом за этим фронтом на данные широты распространяется зона магнитосферной конвекции, которая характеризуется зоной спорадических образований, возможно связанной с высыпаниями энергичных частиц (с 10 до 12 UT, 57 до 60° N). Несмотря на то, что концентрация электронов падает на порядок, в этой области наблюдаются наиболее сильные неоднородности, порождающие сигнал КЭ. Причиной этих неоднородностей могут быть потоки энергичных частиц (высыпания),двигающихся вниз вдоль открытых силовых линий магнитного поля и производящих ионизацию нижних слоев ионосферы. Если такое предположение справедливо, то данные неоднородности относятся к градиентно-дрейфовому типу, согласно принятой классификации [4]. Чтобы дать однозначный ответ на этот вопрос, нужно провести детальный анализ источников частиц и распределения их скоростей вдоль рассматриваемых силовых трубок. По данным модели следует, что с 12:30 UT на широтах 63–65° N начинается резкий подъем концентрации электронов, что можно связать с

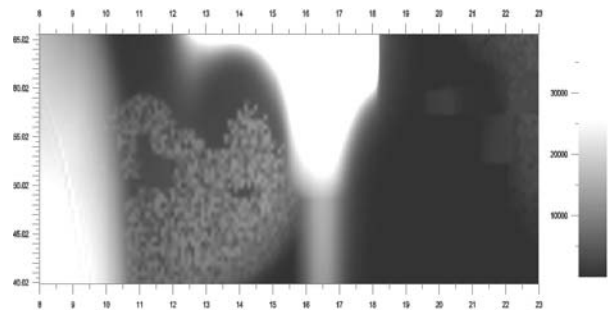


Рис. 3. Концентрация электронов на высоте 115 км.

опусканием на юг области аврорального овала, подтверждается данными спутников DMSF. Однако на мощности сигналов КЭ это не сказывается, что является очень неожиданным фактом. Возможно, аппроксимация данных модели на более высокие широты в условиях сильной бури не является корректной, поскольку не все процессы ионосферно-магнитосферного взаимодействия учитываются при моделировании, однако как качественные оценки эти данные вполне реалистичны и могут быть использованы.

### Выводы

Результаты моделирования электронной концентрации и температуры в области образования сигналов КЭ показали, что наиболее эффективным источником неоднородностей, вызывающих сигнал КЭ, является зона магнитосферной конвекции, в которой наблюдается широтный минимум  $N_e$ . Наиболее вероятным механизмом образования этих неоднородностей являются потоки энергичных частиц,двигающихся вниз вдоль открытых силовых линий магнитного поля и производящих ионизацию нижних слоев ионосферы. В свою очередь, по данным модели предполагаемая граница аврорального овала не оказывает существенного влияния на мощность сигнала КЭ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №07-05-01084а.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tashchilin A.V., Romanova E.B. Numerical modeling the high-latitude ionosphere // *Proceeding of COSPAR Colloquia Series*. 2002. 14. P. 315–325
2. Гркович К.В., Шпынев Б.Г., Бернгардт О.И. Ракурсная зависимость сигналов среднеширотного когерентного эха во время магнитной бури 9–10 ноября 2004 г. // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды IX Конференции молодых ученых «Физические процессы в космосе и околоземной среде»*. Иркутск, 2006. С. 104–106.
3. Тащилин А.В., Романова Е.Б., Шпынев Б.Г. Модельное сравнение поведения среднеширотной ионосферы во время сильных геомагнитных бурь 28 сентября 1998 г. и 15 июля 2000 г. // *Солнечно-земная физика. Изд-во СО РАН*, 2003. Вып. 3. С. 5–7.
4. Haldoupis C. A review of radio studies of auroral E-region ionospheric irregularities // *Ann. Geophys.* 1989. V. 7. N 3. P. 239–258.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск