

## РАДИОЛОКАЦИЯ МАГНИТОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

*А.М.Бабиченко, А.В.Гуревич, А.Н.Караштин, В.О.Рапопорт*

*Научно-исследовательский радиофизический институт  
603600, Нижний Новгород*

Поступила в редакцию 19 декабря 1990 г.

Приведены первые результаты радиолокационных исследований авроральной магнитосферы в КВ диапазоне. Показано, что спектральные характеристики сигнала соответствуют рассеянию на ионно-звуковой турбулентности в области продольных токов на высотах порядка 4000 км.

Исследования магнитосферы, проведенные на спутниках, показали, что в авроральной области в широком интервале высот от 1000 до 13000 км плазма

сильно турбулизирована <sup>1,2</sup>. Измерения на спутниках позволяют определить непосредственно все параметры плазмы, однако дают лишь статическую картину вдоль траектории движения спутника. Вместе с тем представляет интерес динамическое поведение турбулентности и ее распределение в пространстве. Такие данные можно получить, используя рассеяние радиоволн на неоднородностях плотности плазмы при зондировании магнитосферы с поверхности Земли. Как известно, исследования ионосферной плазмы до высот порядка 600 км проводятся локационным методом некогерентного рассеяния и приносят исключительно богатую информацию о физических свойствах среды. В настоящей работе предпринята первая попытка провести аналогичные исследования для магнитосферы.

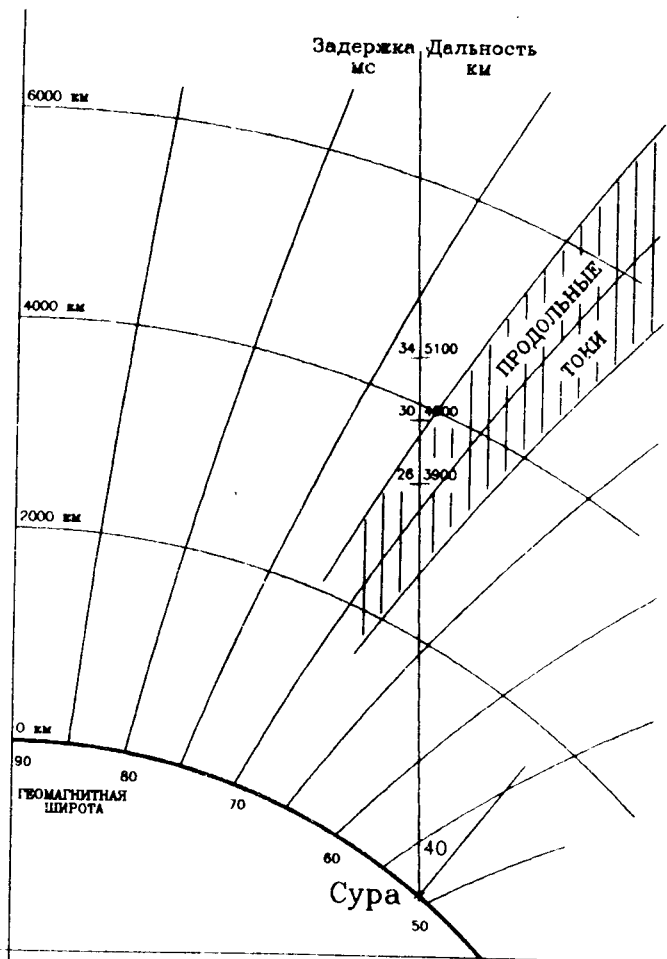


Рис.1

Для зондирования магнитосферы удобно использовать существующие средства КВ диапазона, ориентированные на исследование нелинейных эффектов в ионосфере <sup>1)</sup>, в частности, нагревный стенд НИРФИ "Сура". Стенд "Сура" работает в подходящем диапазоне частот 4,5 - 9 МГц, имеет высокую

<sup>1)</sup> Работы по исследованию возможностей радиолокации магнитосферы впервые были начаты авторами совместно с П.Штубе (Институт аэронавтики М.Планка, ФРГ) и Ю.М.Ямпольским (РИАН УССР, Харьков) в 1988 г. с использованием нагревного стенда в Тромсе (Норвегия) и радиотелескопа УТР-2.

эффективную излучаемую мощность 150 - 300 МВт и антенную систему, способную наклонять диаграмму направленности в направлении север - юг до  $40^\circ$  к вертикали. Географическое положение стенда "Сура" (см. геометрию эксперимента на рис. 1) позволяет при максимальном ( $40^\circ$ ) наклоне диаграммы направленности на север зондировать авроральную область на высотах порядка 3 - 5 тыс. км. В настоящее время стенд "Сура" не позволяет вести работу в локационном режиме с использованием полной мощности, эффективная излучаемая мощность в локационном режиме не превышает 20 - 30 МВт.

Первые эксперименты по локации магнитосферы проводились 21 февраля 1989 г. в 21 - 22 ч. мирового времени вблизи локальной полуночи, когда критическая частота ионосферы не превышала 3 МГц. Для локации использовалась частота 9,310 МГц (длина волны  $\lambda_0 \approx 32$  м), эффективная излучаемая мощность составляла 30 МВт, прием велся на антенну площадью  $3 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>.

Поскольку ожидаемый рассеянный сигнал не должен был превосходить средний шумовой уровень в данном диапазоне, была применена локационная методика, описанная в <sup>3</sup>, и заключающаяся в использовании длинных импульсов с бифазовой модуляцией, кодированных определенным образом. В результате обработки принятого сигнала получались оценки автокорреляционной функции рассеивающей области с достаточно высоким разрешением по временной и корреляционной задержке, которые определяют пространственное и спектральное разрешение локатора. Пространственное разрешение и полоса обзора по частоте определяются длительностью элементарного импульса кодирования. В эксперименте она составляла 500 мкс, что соответствует пространственному разрешению 75 км и полоса обзора по частоте  $\pm 1$  кГц. Спектральное разрешение определяется длиной кода и при использованном в эксперименте 8-разрядном коде составляло 125 Гц. Период повторения импульсов составлял 70 мс, прием велся в интервале временных задержек 16 - 56 мс (дальности 2400 - 8400 км).

На рис. 2 представлены спектры рассеянных сигналов от разных дальностей, усредненные по 85 реализациям, выбранным из интервала в 15 мин, когда помехи от радиостанций были минимальны. Спектральная интенсивность на рис. 2 дана в относительных единицах; кроме того, исключен шумовой уровень, полученный по той же методике при выключенном передатчике. К сожалению, ввиду очень сильных сигналов возвратно-наклонного зондирования <sup>2</sup>), приходящих вне диаграммы направленности антенны, и сравнительно небольшому динамическому диапазону регистрации ( $\sim 40$  дБ), невозможно было получить спектры рассеянного сигнала на временных задержках менее 27,5 мс.

Анализ спектров рассеянных сигналов позволяет сделать следующие выводы: 1) на всех проанализированных временных задержках присутствует сильный рассеянный сигнал на нулевой частоте (относительно частоты передатчика). Этот сигнал соответствует возвратно-наклонному зондированию ионосферы вне диаграммы локатора; 2) на первых временных задержках 27,5 - 28,5 мс, соответствующих дальностям 4125 - 4350 км, дополнительно к центральному пику на нулевой частоте наблюдаются два широких боковых пика; 3) сдвиг частоты этих боковых пиков составляет 500 Гц, что соответствует частоте ионно-звуковых волн с длиной волны  $\lambda = \lambda_0/2$  на высотах порядка 4000 км в полярной магнитосфере; 4) на тех же расстояниях, где наблюдаются боковые

<sup>2</sup>) Сигналы возвратно-наклонного зондирования представляют собой отраженные от ионосферы и рассеянные назад поверхностью Земли радиоволны на наклонной трассе.

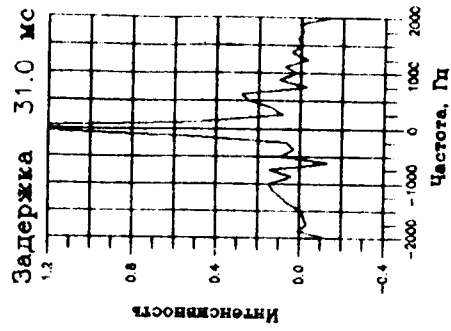
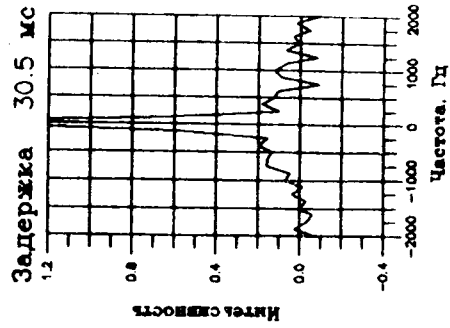
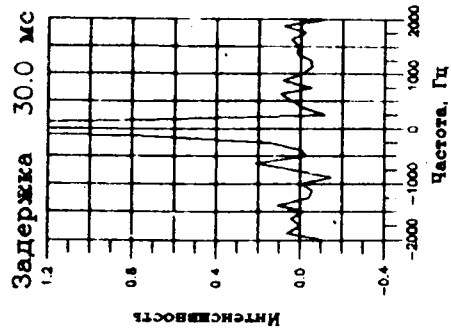
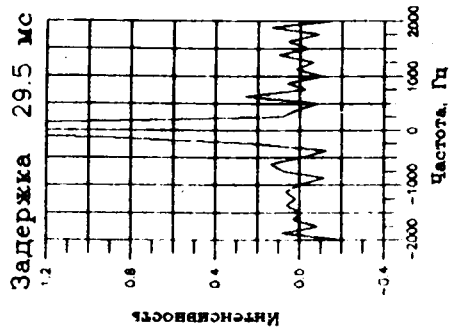
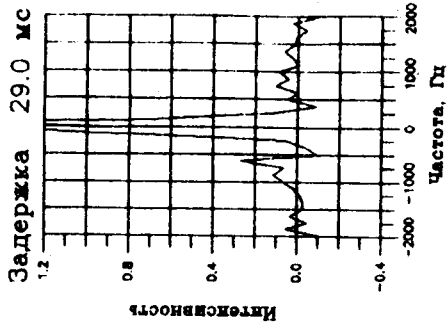
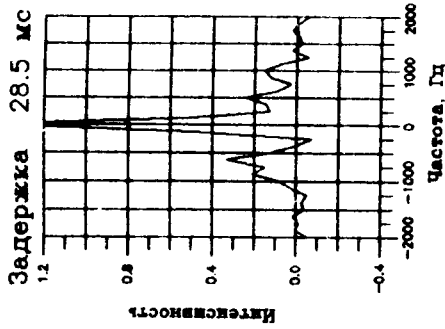
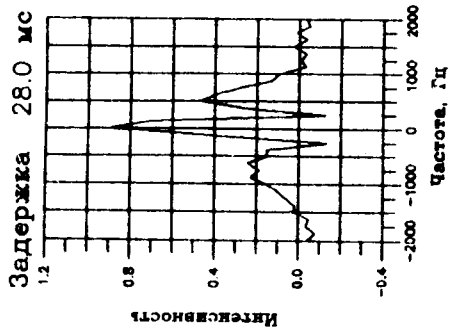
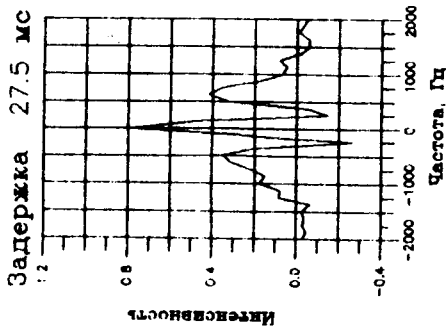


Рис. 2

пики, луч радара пересекает область продольных токов (авроральную область), см. геометрию эксперимента, рис. 1; 5) такие боковые пики не наблюдаются на больших временных задержках; 6) теоретические оценки показывают, что наблюдаемые интенсивности сигналов не противоречат данным, полученным на спутниках <sup>1,2</sup>.

Таким образом, можно полагать, что в авроральной области полярной магнитосферы возбуждаются ионно-звуковые колебания, которые могут быть исследованы предложенным методом.

Авторы признательны Институту аэронавтики М.Планка (ФРГ) за предоставленную возможность использования вычислительной техники для обработки результатов эксперимента.

### Литература

1. Mozer F.S. et al. J. Geophys. Res., 1979, 84, 5875.
  2. Block L.P. et al. Geophys. Res. Lett., 1987, 14, 435.
  3. Lehtinen M.S., Haggstrom I. Radio Sci., 1987, 22, 625.
-