

- [4] Созин Ю.И., Крючкова А.Р., Черепинина Е.С. // АМРА. 1971. В. 8. С. 44-51.
- [5] Simon R.W., Platt C.E., Daly R.P., Lee A.E., Wagner M.K. // IEEE Transactions on Magnetics. 1989. V. 25. N 2. P. 2433-2436.
- [6] Witnatchchi S., Patel S., Shaw D.D., Kwok H.S. // Material letters. 1989. V. 8. N 1, 2. P. 53-56.

Институт физики
Дагестанского филиала
АН СССР

Поступило в Редакцию
3 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 16

26 августа 1990 г.

04; 09

© 1990

НЧ ВОЗМУЩЕНИЯ В ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ, СТИМУЛИРОВАННЫЕ БОРТОВЫМ ВЧ ИСТОЧНИКОМ

Ю.Н. Агафонов, В.С. Бажанов,
Ю.И. Гальперин, Н.В. Джорджо,
В.Я. Исякаев, Г.А. Марков,

А.А. Мартинсон, М.М. Могилевский,

А.А. Похунков, Ю.В. Чугунов

Исследовано влияние поля излучения бортового ВЧ источника на возбуждение электромагнитных НЧ неустойчивостей в полярной ионосфере. Обнаружены сильные шумовые возмущения электромагнитных полей в ионосфере и возбуждение спорадических альвеновских резонансов в окрестности гирочастоты протонов при работе дипольного ВЧ источника мощностью ≤ 1 кВт на высотах $H \geq 140$ км в режиме телеграфной модуляции с частотами 240 и 960 Гц.

Эксперимент был реализован запуском метеоракеты МР-12 на широте $68^\circ N$ и 0° долготы в 22.44.57 УТ. Для диагностики использовалась аппаратура на ракете и комплекс научной аппаратуры (КИА) на спутнике „Ореол-3“ советско-французского проекта АРКАД-3 [1]. В качестве ВЧ источника была использована антенна плазменных волн в виде проволочного кольца диаметром 2 м, поднятого штангой-держателем на 1,5 м над головной частью ракеты. ВЧ напряжение амплитудой 1 кВ на частоте $f = 480$ кГц подводилось между корпусом и возбуждающим кольцом. ВЧ сигнал модули-

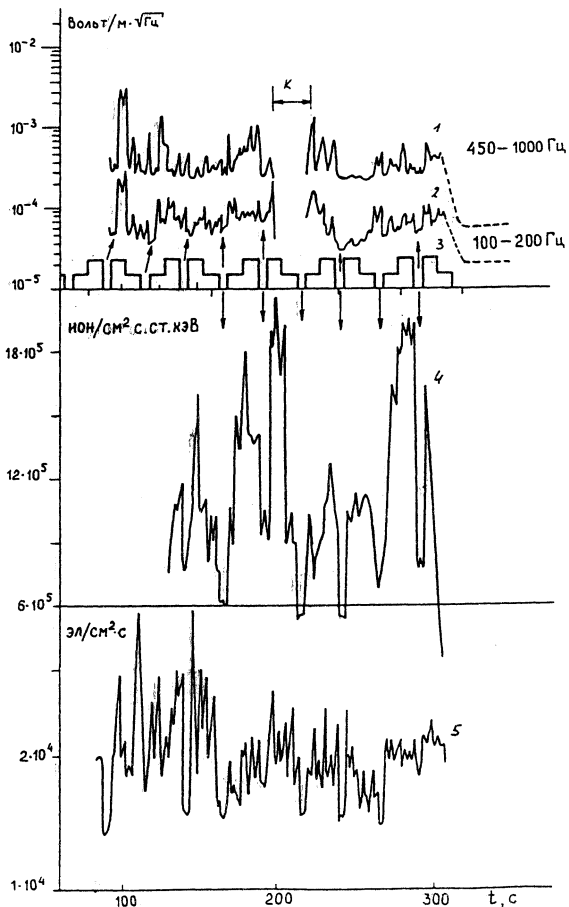


Рис. 1. Верхняя панель - результаты измерения горизонтальной составляющей электрического поля в двух диапазонах частот на борту спутника Ореол-3. Ниже приведены циклограмма работы ВЧ-генератора на ракете. Обозначенный буквой "к" разрыв кривых связан с бортовой калибровкой прибора ОНЧ-ТВГ.

На двух других панелях приведены результаты измерений потоков ионов ($E \sim 3,5$ кэВ) и электронов $E_e \geq 40$ кэВ), проводившихся на борту ракеты.

Графики приведены в зависимости от времени (с), отсчитываемого от момента старта ракеты.

ровался меандром на частотах 240 и 960 Гц по специальной циклограмме.

В данной работе приведены результаты измерений при помощи автоколебательного зонда и прибора для измерений сверхтепловых электронов с энергией $E_p \geq 40$ кэВ и ионов с энергией $E_e \sim 3,5$ кэВ [2], установленных на борту ракеты. Волновые низкочастотные из-

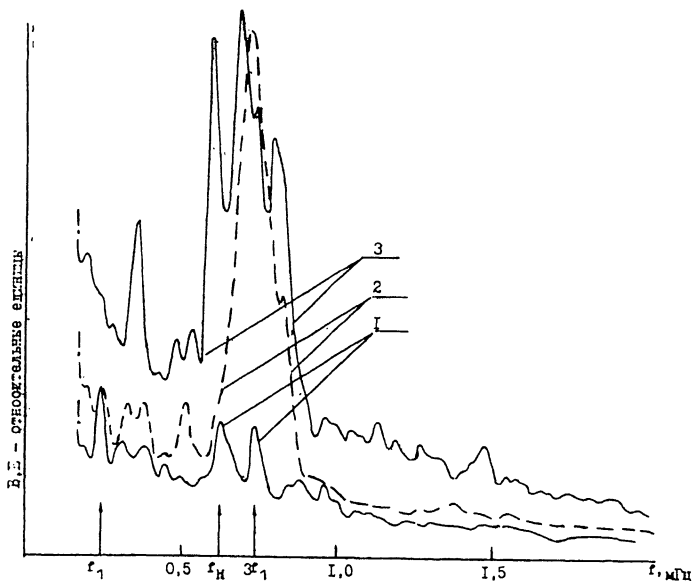


Рис. 2. Спектры НЧ излучений, зарегистрированных на борту спутника ОРЕОЛ-3 при работе ВЧ генератора. 1 - высота ракеты $H = 130$ км, частота модуляции $f_m = 240$ Гц; 2 - $H = 152$ км, $f_m = 240$ Гц; 3 - $H = 155,5$ км, $f_m = 960$ Гц.

мерения проводились на ИСЗ ОРЕОЛ-3 при помощи прибора ОНЧ-ТВФ [3]. Запуск ракеты проходил в период сильного геомагнитного возмущения и был согласован с полетом спутника ОРЕОЛ-3, так, чтобы обеспечить возможность регистрации на борту спутника волн, распространяющихся от излучателя на ракете.

После выхода ракеты с ВЧ источником на высоты $H > 140$ км приемники спутника зафиксировали появление интенсивных шумовых НЧ сигналов. Область появления НЧ сигналов лежит внутри авроральной зоны, местоположение которой определялось по измерениям продольного тока на спутнике и не связана с характерными границами последней.

На рис. 1 приведены в качестве примера графики изменений горизонтальной составляющей электрического поля, зафиксированные приемниками спутника в двух частотных интервалах: 450-1000 Гц (кривая 1) и 100-200 Гц (кривая 2). Там же представлены графики изменений потоков ионов с энергией $E \sim 3,5$ кэВ (кривая 4) и электронов с энергией $E \geq 40$ кэВ (кривая 5), по данным приборов, установленных на борту ракеты, и циклограмма работы ВЧ генератора (кривая 3).

Сопоставление кривых 3, 4 и 5 рис. 1 позволяет заключить о заметном влиянии поля бортового источника на формирование по-

токов быстрых частиц, которые, как известно [4], могут быть причиной НЧ возмущений в ионосфере. Некоторую корреляцию между кривыми 1, 2 и 3, 4, 5 помогают увидеть стрелки на рис. 1. Характерно, что запаздывание минимумов на кривых 1 и 2, соответствующих паузам в работе ВЧ генератора, позволяет оценить время распространения НЧ сигналов от места возмущения до спутника. Измеренные значения $U_{гр} \approx 300$ км/с соответствуют скорости МГД волн. В качестве источников возбуждения широкого спектра НЧ возмущений в ионосфере в нашем случае можно рассматривать кроме потоков выпадающих энергичных частиц как естественного происхождения, так и стимулированных в нашем эксперименте, также и низкочастотную модуляцию локальных параметров ионосферной плазмы вблизи ракеты разрядом, развивающимся в поле ВЧ источника [5, 6]. В результате такого воздействия возможна заметная модуляция естественных ионосферных токовых струй, что наблюдалось в ряде экспериментов с наземными передатчиками [7, 8].

Особый интерес представляют, по-видимому, спектры НЧ электромагнитных колебаний, зафиксированных аппаратурой спутника в верхней ионосфере в то время, когда ВЧ источник был выведен ракетой на высоты $H \approx 140$ км ($UT = 22.47.28-22.49.04$). В этих условиях, как оказалось, в ионосфере хорошо возбуждался целый спектр спорадических резонансных колебаний в окрестности гирочастоты ионов водорода f_H . Появление колебаний в верхней ионосфере, соответствующее работе генератора в режиме телеграфной модуляции с частотой $f_1 = 240$ Гц, по-видимому, связано с резонансной неустойчивостью ионосферной плазмы, обусловленной как токами за счет естественных геомагнитных возмущений ($K_p \approx 5$), так и периодическими возмущениями локальных параметров нижней ионосферы ВЧ источником с частотой модуляции f_1 и ее гармониками $3f_1$. На рис. 2 приведены примеры обработки волновых измерений со спутника для 3 разных экспериментальных ситуаций.

Кривая 1 — спектр горизонтальной составляющей электрического поля для случая работы источника на предельно малых для наблюдаемого эффекта высотах $H \approx 130$ км ($UT \approx 22.47$). На кривой хорошо выделены пики, соответствующие частотам f_1 , f_H , $3f_1$. С ростом высоты ракеты H уменьшаются частоты столкновений частиц, растет характерное время изменения параметров плазмы при заданном внешнем воздействии и, по-видимому, возрастает пространственная неоднородность плазмы в F-области. В результате происходит существенное расширение полосы частот модуляции параметров плазмы и наблюдается заметное увеличение ширины спектра и амплитуды возбуждаемых в ионосфере колебаний (кривая 2, $H = 152$ км, $UT = 22.48.16$). Наконец, на высотах $H = 155$ км уширение полосы частот модуляции параметров оказалось достаточным для раскачки интенсивных колебаний в окрестности гирочастоты протонов источником, работающим в режиме модуляции с частотой 960 Гц (кривая 3).

Наличие нескольких выделенных резонансных пиков на кривых рис. 2, по-видимому, не может быть объяснено нелинейным взаимо-

действием возбуждаемых НЧ полей с плазмой ввиду их малости, но может служить подтверждением возможности существования в возмущенной полярной ионосфере сравнительно высокочастотных альвеновских резонансов. Достаточно быстрое изменение резонансных кривых во время эксперимента говорит о локальности и спорадичности обнаруженных резонансов, обусловленных образованием в ионосфере резких плазменных неоднородностей с характерным масштабом в несколько километров вдоль геомагнитного поля и временем жизни в несколько секунд. Такие неоднородности могут образовываться во время магнитных бурь [4], а также при ионизационном самокапопировании сильных ВЧ полей [5, 6]. Поэтому исследование „высокочастотных“ альвеновских резонансов представляет значительный интерес как для понимания физики явления, так и для натурального моделирования некоторых нелинейных авроральных явлений в ионосфере Земли, а возможно и для разработки новых средств НЧ радиосвязи.

Авторы выражают свою благодарность В.Ю. Трахтенгерцу за плодотворное обсуждение результатов эксперимента, а также Е.Е. Титовой и В.Е. Юрову за прием ТМ информации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Galperin Yu.I., Remen, Beghin S. et al. // Ann. Geophys. 1982. V. 38. N 5. P. 543-546.
- [2] Экспериментальные исследования с помощью космической техники / Под редакцией В.Ф. Тулинова и В.М. Фейгина. Труды ГосНИИ и ПР. 1985. Вып. 21. С. 120.
- [3] Berthelier J.J., Lefevre F., Moglevskiy M.M. et al. // Ann. Geophys. 1982. V. 38. N 5. P. 643-668.
- [4] Лайонс Л., Уильямс Д. Физика магнитосферы. М.: Мир. 1987. 312 с.
- [5] Марков Г.А., Попова Л.Л., Чугунов Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 23. С. 1465-1469.
- [6] Агафонов Ю.Н., Бабаев А.П., Бажанов В.С., Исякаев В.Я., Марков Г.А., Намазов С.А., Похунков А.А., Чугунов Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 17. С. 1-5.
- [7] Гетманцев Г.Г., Комраков Н.П., Коробков П.П., Мироненко Л., Митяков Н.А., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю., Фролов В.Л., Череповицкий В.А. // Письма в ЖЭТФ. 1973. Т. 18. С. 621-624.
- [8] Капустин И.Н., Перцовский Р.А., Васильев А.Н., Смирнов В.С., Распопов О.М., Соловьева Л.Ф., Ульянченко А.А., Арыков А.А., Галяхова Н.В. // Письма в ЖЭТФ. 1977. Т. 24. С. 22; -231.

Поступило в Редакцию
1 июня 1990 г.