

ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВОЙ РАЗРЯД  
В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Ю.Н. А г а ф о н о в, А.П. Б а б а е в,  
В.С. Б а ж а н о в, В.Я. И с я к а е в,  
Г.А. М а р к о в, С.А. Н а м а з о в,  
А.А. П о х у н к о в, Ю.В. Ч у г у н о в

Впервые осуществлен и исследован волновой разряда в ионосфере Земли, формируемый полем излучения бортовой дипольной антенны на частотах локального плазменного резонанса для косых пент-мюровских волн. Подобного типа разряды, формируемые в результате развития ионизационной неустойчивости и самоканалирования пакета плазменных волн, наблюдались в лабораторных экспериментах [1] и были предложены в [2] в качестве средства модификации локальных параметров ионосферной плазмы.

Эксперимент был реализован запуском метеорокет МР-12 в средней и полярной ионосфере. В качестве ВЧ источника была использована антенна плазменных волн в виде проволочного кольца диаметром 2 м, поднятого штангой-держателем на 1.5-2 м над головной частью ракеты. Для возбуждения волновых полей в данном эксперименте ВЧ напряжение амплитудой  $\sim 1$  кВ на частоте  $f = 480$  кГц подводилось между корпусом ракеты и возбуждающим кольцом. ВЧ сигнал модулировался частотами 240 и 960 Гц по специальной циклограмме. Для диагностики использовались бортовые приборы: автоколебательный зонд, фотометр, счетчики электронов и ионов с энергией  $\gtrsim 3$  кэВ, анализатор низких частот, датчики магнитного поля и ряд других. Кроме этого, в эксперименте в средних широтах осуществлялся наземный прием радиоизлучения в широком диапазоне частот и оптического свечения разряда, которое наблюдалось при подъеме ракеты на высотах  $\sim 60-80$  км.

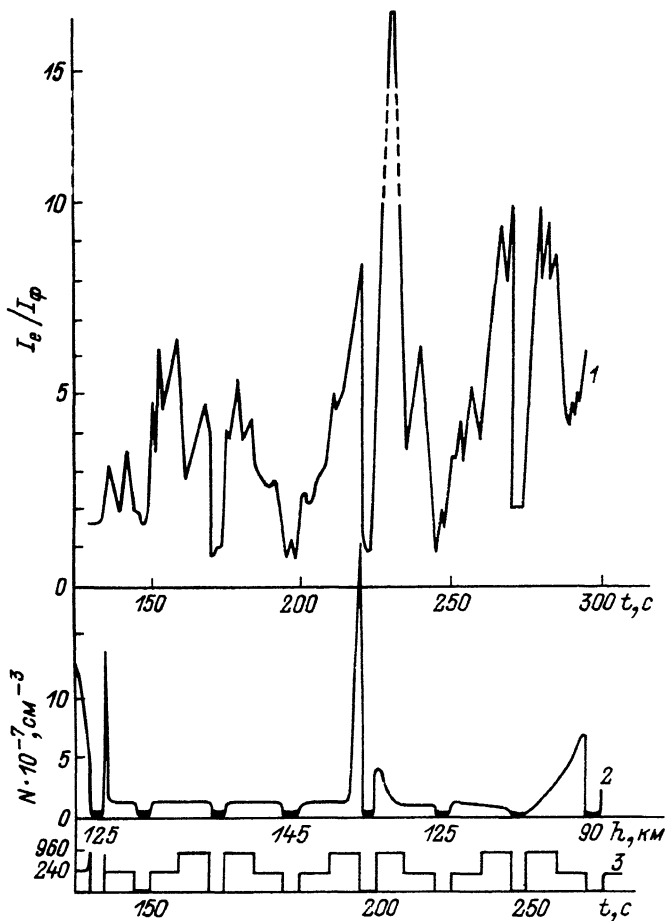


Рис. 1. Результаты эксперимента в средних широтах. Стимулированные работой ВЧ источника изменения потока электронов с энергией  $\mathcal{E}_e \gtrsim 2.2$  кэВ (1) и плотности плазмы на расстоянии  $\sim 1$  м от головной части ракеты (2) в зависимости от времени полета  $t$ . Циклограмма работы ВЧ генератора (3).

На рис. 1 приведены графики, отражающие изменения потоков быстрых электронов  $I_e(t)$  с энергией  $\mathcal{E}_e \gtrsim 2.2$  кэВ относительно уровня фона  $I_\phi$  (кривая 1) и концентрации плазмы  $N(t)$  (кривая 2) в окрестности ракеты во время полета в условиях спокойной ночной ионосферы средних широт. Там же проставлены контрольные высоты  $h$  и приведена циклограмма работы ВЧ генератора (3), в которой верхний уровень соответствовал модуляции с частотой 960 Гц, средний - модуляции с частотой 240 Гц, нижний уровень означал паузу в работе генератора. Полное раскрытие антенны произошло на 128 с (из-за задержки схода одной из створок обте-

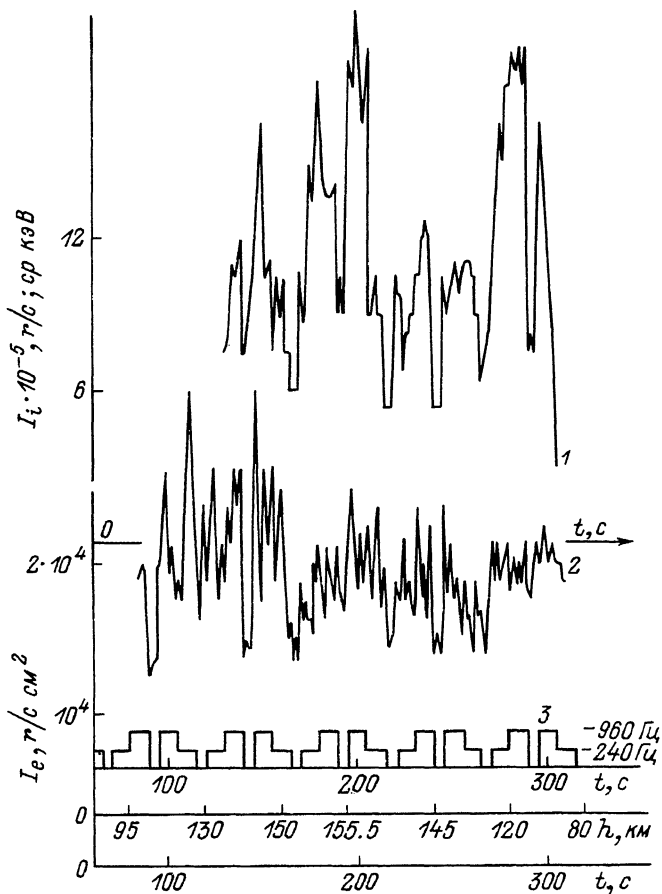


Рис. 2. Результаты эксперимента в полярных широтах. Стимулированные работой ВЧ источника изменения потоков ионов с энергией  $\mathcal{E}_i \approx 3,5$  кэВ (1) и электронов с энергией  $\mathcal{E}_e \approx 40$  кэВ (2) в зависимости от времени полета  $t$ . Циклограмма работы ВЧ генератора (3).

кателя) и сопровождалась, по-видимому, кратковременным замыканием выхода генератора на корпус, что привело к срыву генерации и образованию в результате дугового разряда газового облака. Пик  $N(t)$  при  $t \approx 134$  с обусловлен ионизацией этого газа полем антенны. После раскрытия антенны разряд перешел в нормальную фазу. Концентрация в разряде четко отслеживала циклограмму работы генератора, а ее величина достигала значений  $\approx 10^7$  см<sup>-3</sup>. На 218 с полета на высоте  $h \approx 140$  км был произведен специальный напуск  $\sim 6$  г воздуха в сторону антенны. За время выброса  $\tau_H \sim \sim 10$  с в ионосфере образовалась газовая неоднородность с масшта-

бом  $L \sim 65 Z_H \sim 5 \text{ км}$  ( $U_s$  — скорость звука), в которой был сформирован вытянутый вдоль геомагнитного поля плазменно-волновой канал; концентрация в разряде при этом возросла до значений  $N > > 10^8 \text{ см}^{-3}$ , резко увеличились потоки ускоренных электронов и мощность, отдаваемая ВЧ-генератором в плазму.

О вытянутости вдоль гесмагнитного поля формируемой при разряде плазменной неоднородности свидетельствовала модуляция сигналов с фотометра, обусловленная вращением ракеты, в результате которого блендирующее устройство ФЭУ просматривало либо большую, либо меньшую часть плазменного столба.

Подтверждением факта образования сильно вытянутого плазменно-волнового разряда являются сдвиги по времени максимумов потоков быстрых электронов  $I_e$  (рис. 1) относительно максимумов  $N(t)$ , связанных с напуском газа на 128 и 218 с. Достаточно интенсивные по сравнению с фоном потоки электронов с энергией  $\mathcal{E}_e \gtrsim 2.2 \text{ кэВ}$  могут формироваться в протяженных волновых каналах за счет захвата и ускорения частиц полем косых ленгмюровских волн. Поэтому при включении генератора плотность электронов с большой энергией возрастала в несколько раз. Величина вкладываемой в разряд ВЧ мощности заметно зависела от давления газа и на высотах  $h < 100 \text{ км}$  составляла в среднем величину  $\sim 0.5 \text{ кВт}$ , на высотах  $h \gtrsim 130 \text{ км}$  величину  $< 0.3 \text{ кВт}$  и резко увеличивалась до значения  $\sim 0.6 \text{ кВт}$  при напуске газа.

Запуск ракеты на широте  $68^\circ \text{ N}$  и 0 долготе происходил в период сильного магнитного возмущения. В этих условиях энергетика плазменно-волнового разряда, по-видимому, оказалась достаточной для стимулирования в ионосфере широкого спектра шумовых сигналов и ускоренных частиц в широком интервале энергий. Записи сигналов телеметрической системы „Трал“, например, зафиксировали резкое увеличение и синхронизацию числа сбоев телеметрии с режимом работы ВЧ источника (увеличение шума при включении передатчика и его постепенное уменьшение во время пауз). Приемники спутника „Аркад-3“ зафиксировали резкий рост НЧ шумов при работе источника на высотах  $h > 100 \text{ км}$ .

На рис. 2 приведены кривые, показывающие изменения за время полета плотности потока ионов  $I_i(t)$  с энергией  $\mathcal{E}_i \gtrsim 3.5 \text{ кэВ}$  (1) и электронов  $I_e(t)$  с энергией  $\mathcal{E}_e \gtrsim 40 \text{ кэВ}$  (2). Кривые демонстрируют существенное изменение потока быстрых частиц по сравнению с фоновым значением и корреляцию этих изменений с циклограммой (3) работы ВЧ-передатчика. Как правило при частоте модуляции  $f_M = 960 \text{ Гц}$  наблюдались более резкие изменения потоков быстрых частиц.

Влияние разряда на электроны с энергией  $\mathcal{E}_e \gtrsim 40 \text{ кэВ}$  свидетельствует об эффективности ускорения частиц в плазменно-волновом канале, а модуляция потока частиц с периодом (3:4) с несет информацию о собственных частотах глобальных ионосферных резонансов [3].

Проведенные ракетные эксперименты показали, что при сравнительно простоте возбуждения плазменно-волновой разряд легко реа-

лизуется в нижних слоях ионосферы Земли, а при напуске газа возможен и на более больших высотах. При этом возможны сильные локальные возмущения окружающей плазмы, которые можно использовать для стимулирования некоторых геомагнитных возмущений (особенно в полярной ионосфере) в качестве дополнительных средств диагностики ионосферной плазмы и для решения ряда других прикладных вопросов.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Марков Г.А., Миронов В.А., Сергеев А.М. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. В. 21. С. 672-676.  
 [2] Марков Г.А., Попова Л.Л., Чугунов Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 23. С. 1465-1469.  
 [3] Беляев П.П., Поляков С.В., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю. // Доклады АН СССР. 1987. Т. 297. № 4. С. 840-843.

Горьковский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию  
7 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 17

12 сентября 1989 г.

05.3; 07

### ДВУХФАЗНАЯ СИСТЕМА В ПОЛЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.Н. К л и м и н, В.В. С е р ж е н т у,  
И.И. Ж е р у, И.Г. Л у п я

Тепловое воздействие лазерного излучения на вещество во многом отличается от нагрева внешними источниками тепла. Например, в многофазных системах излучение может избирательно нагревать какие-либо фазы, что приводит к специфическим формам самоорганизации.

В [1] исследован процесс выпадения растворенного вещества из пересыщенного раствора. Рассматривая кинетику таких систем на стадии коалесценции в присутствии электромагнитного излучения в рамках приближений, сделанных в [1], предположим, что излучение поглощается только в зернах растворяемого вещества. Концентрация определяется как объем вещества, растворенного в единичном объеме раствора. Обозначим через  $c$  и  $T$  соответственно концентрацию и температуру на большом удалении от зерна. Диффузионный поток растворенного вещества задается выражением

$$j(r) = D(r) \left[ \frac{\partial c(r)}{\partial r} - \frac{Qc(r)}{T^2(r)} \frac{\partial T(r)}{\partial r} \right], \quad (1)$$