

## ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ НА СТРУКТУРУ ЛУЧЕЙ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Н.И.Дзюбенко, В.Н.Ивченко, Г.П.Милиневский,  
Е.В.Мишин

Обнаружена двухмаксимумная высотная структура свечения, вызываемого вторгающимся в ионосферу пучком энергичных электронов, которая согласуется с теорией, учитывающей влияние столкновений на динамику возбуждаемой пучком сильной ленгмюровской турбулентности.

1. Основная часть полярных сияний вызывается вторжением в нижнюю ( $h < 200$  км) ионосферу потоков энергичных электронов, энергия которых "высвечивается" из-за возбуждения и ионизации нейтральной компоненты слабоионизированной ( $n_e/N \lesssim 10^{-6}$ ) ионосферной плазмы [1]. Объемная интенсивность свечения пропорциональна теряемой электронами в данном объеме энергии, так что по распределению свечения можно судить о механизмах диссипации энергии вторгающихся электронов. Действительно, рассматриваемое обычно (см. [2, 3]) столкновительное взаимодействие для моноэнергичного (при  $h > 200$  км) пучка дает монотонно нарастающий с уменьшением высоты (увеличением  $N$ ) профиль свечения с максимумом на высоте "гибели" пучка ( $h_d$ ). Ширина области максимальной диссипации (как и  $h_d$ ) увеличивается с уменьшением начальной энергии пучка и, например, для  $\epsilon = 2$  кэВ ( $h_d \approx 125$  км) составляет 10 — 15 км. С другой стороны, недавно было показано [4, 5], что коллективное взаимодействие с ионизированной компонентой ионосферы, связанное с развитием пучковой неустойчивости, приводит к значительной дополнительной диссипации энергии пучка, на высотах  $h > h_d$  и особенно в узком слое  $h_m - \Delta h \leq h \leq h_m$ . Верхняя граница слоя определяется условием [4, 5]<sup>1)</sup>  $\nu_{en}(h_m) \approx \left(\omega_p \gamma_b \frac{m}{M}\right)^{1/2}$ ,

где  $\nu_{en}$  — частота соударений ионосферных электронов с нейтралами,  $\gamma_b$  — инкремент пучковой неустойчивости. Толщина слоя  $\Delta h \approx 3 - 5$  км [5]; ниже слоя неустойчивость не развивается.

2. В настоящей работе приведены результаты измерений высотного профиля свечения  $I(h)$  в лучах искусственных (ИПС) и естественных (ПС) полярных сияний, полученные с помощью высокочувствительных телевизионных установок с суперорбитиком [7]. Скорость фотографической регистрации изображения с экрана видеомонитора составляла 5 кадр/сек; время экспозиции одного кадра 0,17 сек. ИПС создавались пучком электронов с энергией  $\epsilon = 7,2$  кэВ, инжектируе-

<sup>1)</sup> Это условие подавления соударениями "бесстолкновительного" коллапса плазменных каверн, образующихся вследствие модуляционной неустойчивости возбуждаемых пучком ленгмюровских колебаний [6].

мым с борта ракеты в ионосферу (эксперимент "Зарница-2" [8]). В течение этого эксперимента было получено 7 снимков лучей ИПС, которые показали двухгорбое распределение яркости. Микрофотометрическое исследование распределения яркости вдоль лучей с учетом условий ракурсности при их наблюдении позволило получить профили  $I(h)$  (рис. 1; приведен также расчетный "столкновительный" профиль свечения [2]).

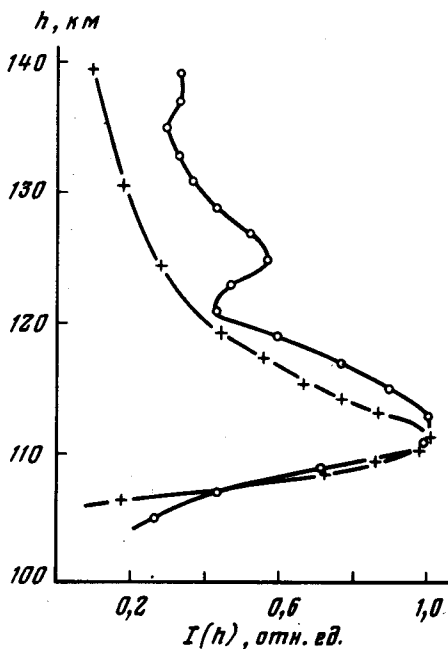


Рис. 1. Высотный профиль свечения луча ИПС, (кружки) и расчетный столкновительный профиль свечения (2) (крестики)

На рис. 2 и рис. 3 соответственно приведены снимок ПС, полученный в бухте Тикси, и его фотометрические профили  $I(h)$  в предположении, что нижний край сияния расположен на высоте  $105 \text{ км}^2$ .

Анализ снимков ИПС и ПС с двухмаксимумным вертикальным профилем яркости показывает, что в большинстве случаев нижний максимум расположен на высоте  $h_d \approx 110 \text{ км}$ , а верхний — на высоте  $120 < h < 130 \text{ км}$  и имеет ширину (по полной полуширине фотометрического профиля) около  $4 + 6 \text{ км}$ .

<sup>2)</sup> Ранее подобные профили свечения ПС, практически совпадающие с рис. 4, были отмечены лишь дважды [9, 10] и рассматривались как "экзотические", хотя на скачки яркости вдоль луча ПС указывалось неоднократно [11]. Данные о структуре луча ИПС получены впервые.

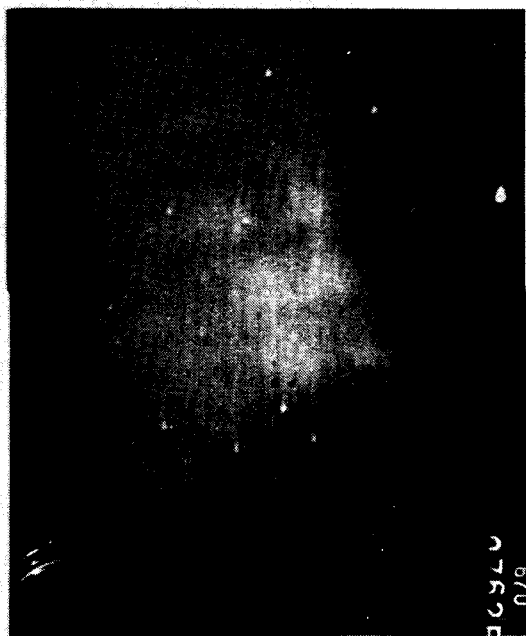


Рис. 2. Снимок лучистой дуги ПС 11 балла

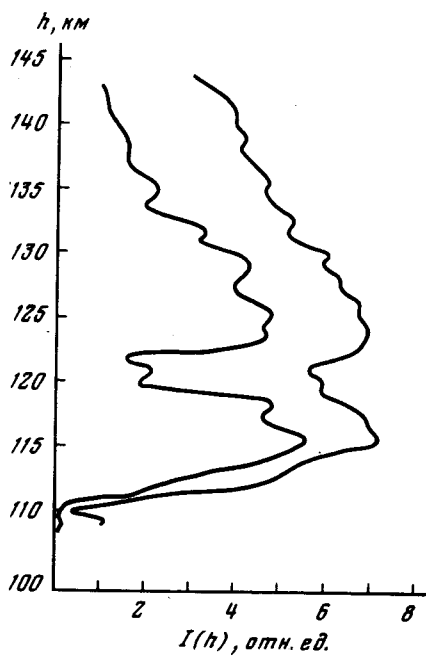


Рис. 3. Высотные профили свечения лучей (правого и среднего) ПС

3. Очевидно, что в рамках столкновительного взаимодействия невозможно объяснить параметры верхнего максимума. В то же время положение и ширина нижнего максимума на рис. 1 и рис. 3 согласуются со "столкновительными расчетами" [2, 3] (для  $\epsilon = 10$  кэВ) соответственно. Таким образом, можно заключить, что верхний максимум свечения связан с дополнительным механизмом диссипации, который особенно эффективен в слое толщиной несколько километров и "выключается" на малых ( $h < 120$  км) высотах (на это указывает и повышенная, по сравнению с расчетами [2, 3], интенсивность свечения на больших ( $h > h_m$ ) высотах). Отмеченными свойствами обладает механизм коллективного взаимодействия, в котором учтено [4, 5] влияние столкновений на динамику возбуждаемой пучком сильной ленгмюровской турбулентности.

Благодарим В.Н.Ораевского и В.Д.Шапиро за полезное обсуждение.

Киевский  
государственный университет  
им. Т.Г.Шевченко

Поступила в редакцию  
1 апреля 1980 г.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн

### Литература

- [1] С.И.Исаев, М.И.Пудовкин. Полярные сияния и процессы в магнитосфере Земли. Л., изд. Наука, 1972.
- [2] Н.И.Ижовкина. Геом. и аэрономия, 19, 176, 1979.
- [3] M. J. Berger, S.M.Seltza, K.Maeda. J. Atm. Terr. Phys., 32, 1015, 1970.
- [4] Н.И.Ижовкина, Е.В.Мишин. Геом. и аэрономия, 19, 585, 1970.
- [5] А.С.Волокитин, Е.В.Мишин. Геом. и аэрономия, 19, 739, 1979; Физика плазмы, 5, 1166, 1979.
- [6] А.А.Галеев, Р.З.Сагдеев, В.Д.Шапиро, В.И.Шевченко, ЖЭТФ, 72, 508, 1977.
- [7] A.T.Nesmeyanovich, V.N.Ivchenko, G.P.Milnevsky. Space Sci. Instr. 4, 251, 1978.
- [8] И.А.Жулин, Р.З.Сагдеев. Вестник АН СССР, 12, 874, 1975.
- [9] T.M.Donahue, T.D.Parkinson, E.C.Zipf et al. Planet. Space Sci., 16, 737, 1968.
- [10] T.Oguti. J. Atm. Terr. Phys., 37, 1501, 1975.
- [11] Н.И.Дзюбенко. Сб. Проблемы космической физики, №3, Киев, Наукова Думка, 1968.