

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ В F-СЛОЕ ИОНОСФЕРЫ

Г. Г. Гетманцев, Г. П. Комраков, Ю. С. Коробков,
Л. Ф. Мироненко, Н. А. Митяков, В. О. Рапопорт,
В. Ю. Трахтенгерц, В. Л. Фролов, В. А. Череповицкий

Приводятся и обсуждаются результаты экспериментов по исследованию нелинейного воздействия мощных радиоволн на слой F ионосферы.

Еще в 1959 г. Гинзбург и Гуревич [1], а позднее Фарлей [2] указали на возможность существования в сильно-ионизированной плазме и, в частности, в F-слое ионосферы нелинейных эффектов, связанных с нагревом плазмы достаточно мощным электромагнитным излучением. Эксперименты по нелинейному воздействию мощного коротковолнового излучения на F-слой были выполнены в Боулдере и Аресибо (США) в 1970 г. [3 – 5].

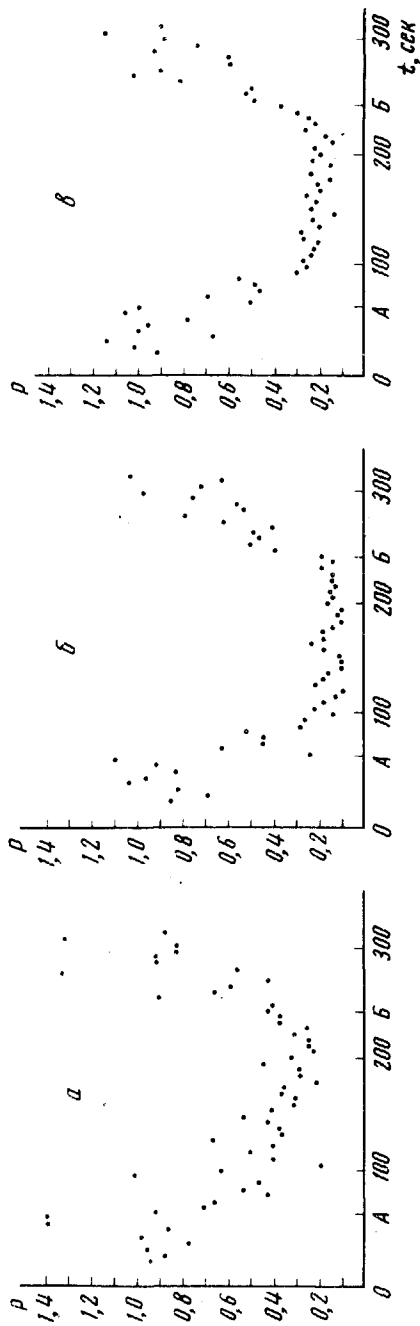
Ниже приводятся некоторые экспериментальные данные о нелинейных эффектах в F-слое, полученные в г. Горьком в 1973 г.

Волна накачки круговой поляризации излучалась на частоте $5,75 \text{ мГц}$ вертикально вверх антенной с коэффициентом усиления $G \approx 150$, Радиопередатчик имел среднюю мощность $P \approx 60 \text{ кВт}$ и мог работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме с $P_{\text{и}} \approx 300 \text{ кВт}$, длительностью импульса $\tau \approx 8 \text{ мкс}$ при частоте повторения 25 Гц .

Для диагностики состояния F-слоя использовалась вспомогательная ионосферная станция, расположенная в том же пункте.

Эксперименты проводились в марте – июне 1973 г. в утренние и вечерние часы, когда критическая частота F-слоя находилась вблизи $5,75 \text{ мГц}$, а поглощение радиоволн в D области ионосферы было невелико. При включении волны накачки наблюдалось значительное (в 3 – 10 раз) уменьшение интенсивности как волны накачки, так и пробных волн в диапазоне $5,5 – 5,9 \text{ мГц}$ с характерным временем убывания интенсивности сигналов около 40 сек . При выключении волны накачки интенсивности отраженных от ионосферы пробных волн восстанавливались за то же характерное время (см. рисунок). Указанное явление, по-видимому, аналогично эффекту, который наблюдался в Боулдере [3, 5]. При отстройке частоты пробной волны на $0,2 \text{ мГц}$ от $f = 5,75 \text{ мГц}$ (в сторону более низких частот) аномальное ослабление пробной волны заметно уменьшалось (рисунок). Уменьшение интенсивности волны накачки и пробных волн наблюдалось исключительно в вечернее время, только на волнах "обыкновенной" поляризации и лишь в тех случаях, когда критическая частота F-слоя превышала $5,75 \text{ мГц}$.

Помимо отмеченного выше аномального ослабления отраженных от ионосферы радиоволн в описываемом эксперименте наблюдались и другие эффекты. При наличии волны накачки частота федингов, связанных с ионосферными неоднородностями электронной концентрации, возрастала (в среднем на 30%). Кроме того, сразу же после включения



Изменение интенсивности $P(t)$ (в относительных единицах) отраженных от ионосферы пробных волн при воздействии на ионосферу мощной радиоволны: a — частота пробной волны $f = 5500$ *кГц*, $b - f = 5745$ *кГц*, $\theta - f = 5760$ *кГц*. A и B — моменты включения и выключения мощного передатчика (соответственно). Каждая точка является результатом осреднения интенсивности пробной волны по 12 последовательным циклам работы мощного передатчика (3 минуты включено, 2 минуты выключено) с 18 по 19 часов 5 апреля 1973 г.

волны накачки часто наблюдалось кратковременное (1 – 3 сек) уменьшение (а иногда увеличение) интенсивности пробной волны на $5 \pm 10\%$, если ее частота отстояла от 5,75 *мгц* не более, чем на 20 *кГц*.

При медленном (в течение 10 минут) увеличении мощности передатчика от 0 до 60 *квт* аномальное ослабление интенсивности пробных волн возрастало, а при последующем плавном снижении мощности эффект возрастания интенсивности пробных волн был выражен значительно слабее. При работе мощного передатчика в импульсном режиме наблюдаемые эффекты носили аналогичный характер, что и при непрерывном излучении. К сожалению, приведенные данные об изменении статистических свойств отраженных от ионосферы сигналов и зависимости нелинейных эффектов от мощности волны накачки носят лишь качественный характер и получение количественных зависимостей требует более длительных измерений.

Приведенные выше экспериментальные данные трудно объяснить в рамках классических представлений, основанных на омическом нагреве плазмы в поле мощной волны [6]. В частности, разогрев плазмы, где преобладают электронно-ионные столкновения, должен приводить к снижению числа столкновений и, следовательно, к росту интенсивности пробных волн. Вместе с тем, изменение плотности электронов в результате разогрева и связанные с этим эффекты самофокусировки волн в условиях нашего эксперимента должны быть малы [6].

По-видимому, определяющими здесь являются эффекты параметрической неустойчивости, которые приводят к сильному увеличению интенсивности плазменных волн вблизи точки отражения мощной волны "обыкновенной" поляризации. В пользу этого свидетельствуют прямые эксперименты по диагностике плазменных волн в Аресибо и теоретические представления, развитые в работах [7 – 9]. Однако, теория параметрической неустойчивости в изотермической плазме, где запрещено возбуждение низкочастотной турбулентности, не позволяет объяснить основной эффект уменьшения интенсивности отраженных от ионосферы волн в широком (более 0,2 *мгц*) диапазоне частот с характерным временем ~ 40 *сек*. Такой эффект может быть связан с распадом поперечной волны на плазменные и низкочастотные ионно-циклотронные колебания, которые могут существовать и в слабо неизолированной плазме ($T_e \gg T_i$). Инкременты таких распадов существенно ниже максимальных инкрементов параметрической неустойчивости и характерные времена в условиях ионосферного эксперимента могут составлять десятки секунд. Благодаря эффектам накопления интенсивность низкочастотной турбулентности может оказаться достаточной для проявления сильного аномального ослабления энергии поперечных волн.

Таким образом, результаты описанных выше и других подобных экспериментов по нашему мнению являются ключевыми для развития теории нелинейного взаимодействия мощного электромагнитного излучения с плазмой.

Литература

- [1] В.Л.Гинзбург, А.В.Гуревич. УФН, 70, 201, 1960.
 - [2] D.T.Farley. J.Geophys. Res., 68, 401, 1963.
 - [3] W.F.Utlaut. J.Geophys. Res., 75, 6402, 1970.
 - [4] A.J.Wong, R.J.Taylor. Phys. Rev. Lett., 27, 644, 1971.
 - [5] У.Ютло, Р. Коэн, УФН, 109, 371, 1973.
 - [6] А.В.Гуревич, А.Б.Шварцбург. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере, М., изд. Наука, 1973.
 - [7] E.Valeo, C.Oberman, E.W.Perkins. Phys. Rev. Lett., 28, 340, 1972.
 - [8] N.A.Mityakov, V.O.Rapoport, V. Yu. Trakhtengerts. Planetary and Space Science, 21, 265, 1973.
 - [9] В.В.Маськов, А.В.Гуревич. Изв. высш. уч. зав., сер. "Радиофизика" 16, 188, 1973; ЖЭТФ, 64, 1272, 1973.
-