

*Письма в ЖЭТФ*, том 19, вып. 5, стр. 274 – 276

5 марта 1974 г.

## САМОМОДУЛЯЦИЯ МОЩНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ВЕРХНИХ СЛОЕВ ИОНОСФЕРЫ

*И. С. Шлюгер*

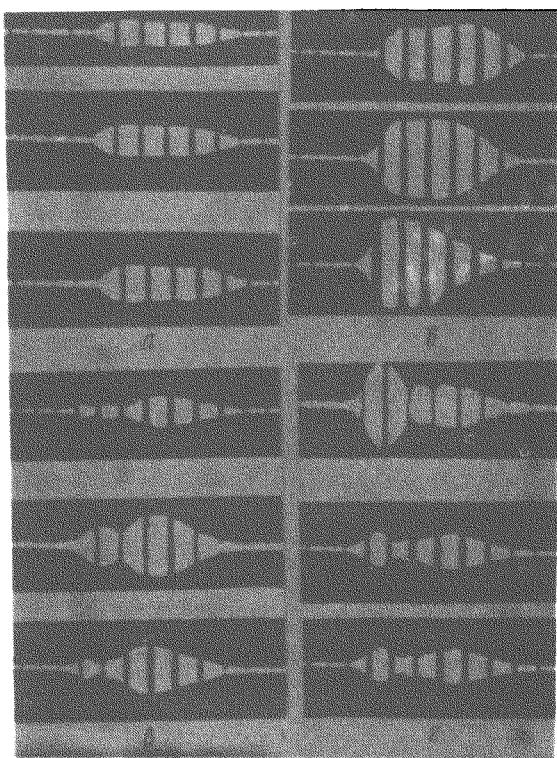
Обнаружены аномальное поглощение и глубокая амплитудная  
модуляция радиоимпульса, отраженного от  $F$ -слоя ионосферы.

Изучение воздействия радиоволн на верхние слои ионосферы вызывает значительный интерес [1]. Так, в работах [2 – 4] обнаружен ряд нелинейных явлений, возникающих при взаимодействии с ионосферой сильных радиоволн с частотой, близкой к критической частоте  $F$ -слоя. В отличие от экспериментов, описанных в [2 – 4], в настоящем сообщении приводятся результаты вертикального зондирования верхних слоев ионосферы в период 1967 – 1968 г., проведенного на более низких частотах. Показано, что взаимодействие короткого радиоимпульса высокой интенсивности с ионосферной плазмой носит существенно нестационарный характер.

При зондировании использовались возмущающие импульсы почти прямоугольной формы длительностью  $\Delta t = 5 \cdot 10^{-4}$  сек с частотой следования 25 Гц. Частота заполнения импульсов  $\omega = 8,48 \cdot 10^6$  сек<sup>-1</sup> была выбрана близкой к циклотронной частоте электронов в магнитном поле Земли. Поляризация радиосигнала строго фиксировалась (обыкновенная, либо необыкновенная волна).

В процессе эксперимента проводилась фотoreгистрация развертки отраженных от ионосферы радиоимпульсов при различной излучаемой мощности. Скорость регистрации составляла 10 кадров в секунду. Излучаемая мощность импульсов линейно нарастала в течение 15 сек от

15 дБ до максимального значения 0 дБ. При этом вначале амплитуда отраженных импульсов монотонно возрастала. Однако этот рост был слабее линейного, что, как показывает детальное сопоставление с теорией [1], хорошо объясняется увеличением в результате нагрева частоты столкновений электронов с нейтральными частицами в нижних слоях ионосферы. В ночное время это нелинейное поглощение невелико — не превышает 4÷5 дБ.



Такая картина сохраняется однако лишь до некоторого критического значения мощности, которое достигается приблизительно на 10-й — 12-й секунде. При превышении этого значения амплитуда отраженного сигнала уже не нарастает, а уменьшается с увеличением мощности излучения, т. е. появляется аномальное поглощение радиоволны. Одновременно возникают и в дальнейшем интенсивно развиваются сильные искажения формы огибающей импульса, т. е. наблюдается глубокая амплитудная модуляция отраженного радиосигнала. Указанные искажения формы импульса носят нерегулярный характер и быстро пульсируют во времени.

Описанная картина проиллюстрирована на рисунках *а* — *г*. Вертикальные полосы на рисунках — мелки времени, расположенные на расстоянии  $10^{-4}$  сек друг от друга (слева направо). На рис. *а* и *б* показаны отраженные импульсы при сравнительно небольшой мощности излучения (1 — 3 секунды и 7 — 10 секунд, соответственно). Видно, как с ростом мощности нарастает интенсивность отраженного импульса. Рис. *в* соответствует небольшому превышению над критической мощностью (13-я секунда), а рис. *г* — максимальной излучаемой мощности (15-я секунда).

Видно уменьшение средней мощности отраженного сигнала и его глубокая модуляция с частотой  $f = (3 \div 5) \cdot 10^3$  Гц.

Следует подчеркнуть, что аномальное поглощение и модуляция отраженного импульса наблюдаются только в темное время суток для обыкновенной возмущающей волны. Измерение времени запаздывания импульса показывает, что в этом случае он отражается в  $F$ -слое ионосферы на высотах  $h = 200 \div 250$  км. Частота соударений электронов на таких высотах невелика, так что характерное время нагрева электронов на четыре – пять порядков превосходит длительность импульса. Специальные дополнительные измерения, проведенные при фиксированной мощности излучающего передатчика, показали, что средняя амплитуда туда и частота модуляции отраженного сигнала остаются практически неизменными в течение длительного времени, порядка 10 мин и более. Все это дает основание полагать, что наблюдаемые новые явления не вызваны нагревом электронов.

С другой стороны, в области отражения обыкновенной волны в ионосфере при превышении порога параметрической неустойчивости  $E_{\Pi}$  возможно эффективное возбуждение ленгмюровских колебаний [5]. В нашем случае поле волны в области отражения в  $F$ -слое более, чем на порядок превосходит пороговое поле  $E_{\Pi}$ , указанное, например, в [6]. Взаимодействие падающей волны с возбуждаемыми ленгмюровскими шумами может приводить к ее аномальному поглощению и к модуляции отраженного радиоимпульса. Согласно [7, 8] характерный период такой модуляции  $T \sim (1 + 10)/y$ , где  $y$  – максимальный инкремент неустойчивости; в наших условиях  $y \sim 10^{-4}$  сек<sup>-1</sup>.

С точки зрения такой интерпретации наблюдаемые эффекты – результат непосредственного проявления самовоздействия радиоволн в ионосфере, вызванного возбуждением параметрической неустойчивости. Несомненный интерес представляют поэтому дальнейшие исследования и, в частности, измерения фазовой модуляции отраженного импульса.

Научно-исследовательский  
институт радио

Литература

Поступила в редакцию  
22 января 1974 г.

- [1] В.Л.Гинзбург, А.В.Гуревич. УФН, **70**, 201, 393, 1960. А.В.Гуревич, А.Б.Шварцбург. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере М., изд. Наука, 1973.
- [2] W.F.Utlaut. J.Geophys. Rev., **75**, 6402, 1970; У.Ютло, Р.Коэн. УФН, **109**, 371, 1973.
- [3] A.J.Wong. R.J.Taylor. Phys. Rev. Lett., **27**, 644, 1971.
- [4] Г.Г.Гетманцев. Г.П.Комраков, Ю.С.Коробков, Л.М.Мироненко. Н.А.Митяков, В.О.Рапопорт, В.Ю.Трахтенгерц. В.Л.Фролов, В.А.Череповецкий. Письма в ЖЭТФ, **18**, 621, 1973.
- [5] E.W.Perkins, R.Kaw. J.Geophys. Rev., **76**, 282, 1971.
- [6] В.В.Васьков, А.В.Гуревич. Радиофизика, **16**, 188, 1973.
- [7] В.В.Васьков, А.В.Гуревич. ЖЭТФ, **64**, 1272, 1973.
- [8] Я.И.Альбер, З.Н.Кротова, Н.А.Митяков, В.О.Рапопорт, В.Ю.Трахтенгерц. ЖЭТФ, **66**, 574, 1974.