

ИСКУССТВЕННАЯ ДЕФОКУСИРУЮЩАЯ ЛИНЗА В ИОНОСФЕРЕ

*Г.Н.Бойко, В.В.Васьков, С.Ф.Голян, А.В.Гуревич
Я.С.Димант, В.А.Зюзин, В.Ю.Ким, Г.П.Комраков,
Л.А.Лобачевский, В.В.Мигулин, Н.А.Митяков, В.А.Панченко,
В.П.Полиматиди, В.А.Рыжов*

Обнаружена сильная дефокусировка пробных радиосигналов, распространяющихся в ионосфере, возмущенной действием интенсивной радиоволны.

Под воздействием мощного радиоизлучения изменяется ионизация ионосферы. Это должно приводить к образованию неоднородной структуры в ионосферном слое толщиной порядка $100 \div 200$ км и горизонтальным масштабам, определяемым диаграммой направленности антенны возмущающего передатчика. Такая крупномасштабная неоднородность может играть роль линзы, фокусирующей или дефокусирующей радиоволны ¹. В настоящей работе сообщается об экспериментальном обнаружении сильной дефокусировки радиоволн, зондирующих возмущенную область, что свидетельствует о создании в ионосфере эффективной дефокусирующей линзы.

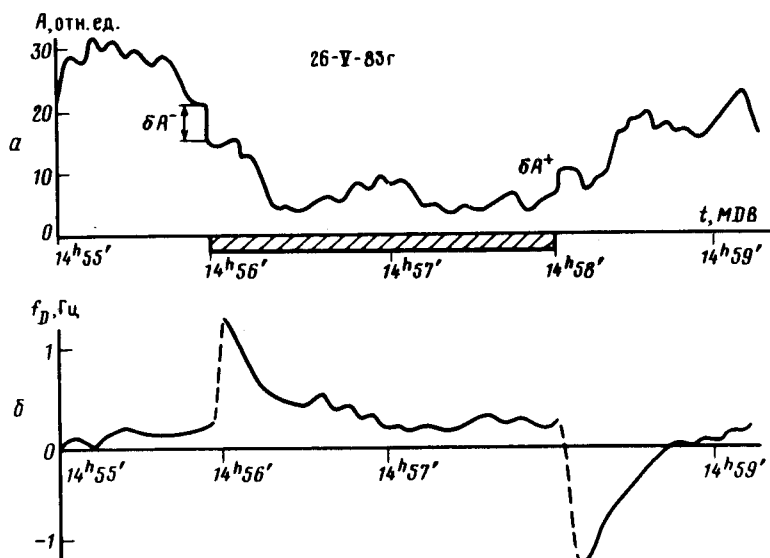


Рис.1. Динамика амплитуды (а) и доплеровского смещения частоты (б) пробной волны с частотой $f = 6,71$ МГц при нагреве мощной радиоволной на частоте $f_0 = 7,82$ МГц, $P = 200$ МВт. Период работы мощного передатчика показан штриховкой

При воздействии на ионосферу мощной радиоволны „обыкновенной“ поляризации с частотой ниже критической частоты ионосферного слоя F_2 возникает эффект широкополосного аномального ослабления радиоволн ^{2 3}, природа которого достаточно хорошо изучена ⁴. Для однозначного выделения эффектов дефокусировки в описываемых экспериментах осуществлялись режимы, когда аномальное поглощение отсутствует. Эксперименты проводились на нагревном стенде НИРФИ „Сурга“ обладающем высокой эквивалентной мощностью излучения до 300 МВт и узкой диаграммой направленности. Диагностика возмущений концентрации производилась в режиме вертикального зондирования одновременно на восьми частотах с помощью доплеровского комплекса ИЗМИРАН ⁵. Частота пробных радиоволн выбиралась таким образом, чтобы зондировался ионосферный слой в интервале высот от 100 до 300 км. При этом регистрировались доплеровский сдвиг частоты f_D и амплитуда сигнала A для каждой из пробных радиоволн.

Приведенные ниже экспериментальные результаты были получены в мае и июле 1983 г. в дневных условиях. На рис.1 показано типичное поведение доплеровского сдвига частоты $f_D(t)$ и амплитуды $A(t)$ для пробной волны в одном из циклов нагрева. При этом излучалась волна „необыкновенной“ поляризации. Аналогичный ход $f_D(t)$ и $A(t)$ был зарегистрирован и на остальных семи зондирующих частотах в диапазоне от 4 до 8,4 МГц. Анализ хода доплеровского сдвига $f_D(t)$ на всех пробных частотах показывает, что концентрация электронов нарастает при включении возмущающей станции в области высот $100 \lesssim z \lesssim 200$ км приблизительно на 10 %.

Амплитуда пробной радиоволны, как видно из рис.1, а, при включении возмущающей станции испытывает резкое уменьшение на величину δA^- за время меньше, чем 0,1 с. Точно такой же относительный скачок δA^+ , но в обратном направлении она имеет при выключении. Эти эффекты вызваны уменьшением амплитуды пробной радиоволны вследствие роста частоты соударений ν при нагреве электронов (кроссмодуляционное поглощение K_ν , ¹). Однако, как видно из рис.1, а амплитуда пробного сигнала продолжает медленно спадать после включения и нарастать после выключения возмущающей станции. Этот эффект полностью коррелирует с поведением $f_D(t)$, т.е. с усилением и ослаблением ионизации на высотах $100 \text{ км} \lesssim z \lesssim 200 \text{ км}$. Поэтому можно заключить, что медленное, но значительное изменение амплитуды поля пробной радиоволны связано с ее дефокусировкой, вызванной изменением в ионосфере концентрации электронов.

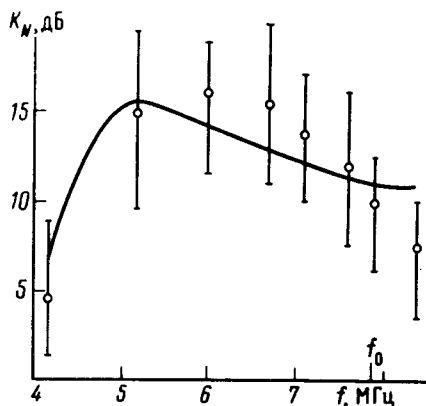


Рис. 2

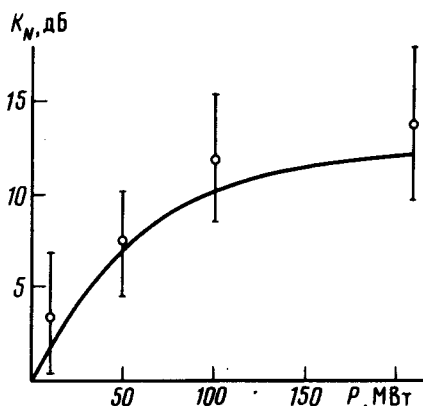


Рис. 3

Рис.2. Зависимость коэффициента дефокусировки K_N от частоты пробных радиоволн. Нагрев на частоте $f_0 = 7,82 \text{ МГц}$, $P = 200 \text{ МВт}$. Точки – эксперимент, сплошная линия – теоретический расчет

Рис.3. Зависимость коэффициента дефокусировки K_N от мощности нагревной волны. Нагрев на частоте $f_0 = 7,82 \text{ МГц}$, частота пробной волны $f = 7,02 \text{ МГц}$. Точки – эксперимент, сплошная линия – теоретический расчет

На рис.2 представлена частотная зависимость коэффициента дефокусировки $K_N(f) = K_{\text{полн}}(f) - K_\nu(f)$, где $K_{\text{полн}} = 20 \lg(A_{\text{п}}/A_{\text{н}})$, $A_{\text{п}}$ – среднее значение амплитуды в паузе. $A_{\text{н}}$ – та же величина во время нагрева, вычисленная на интервале от момента установления $A(t)$ и $f_D(t)$ до момента выключения нагрева; $K_\nu = 20 \lg[A_1/(A_1 - \delta A)]$, где A_1 – амплитуда в момент перед включением нагрева. Видно, что мощность сигнала уменьшается за счет дефокусировки в $10 \div 30$ раз. Полученная зависимость $K_N(f)$ говорит о том, что дефокусирующая линза расположена на уровне слоев E и $F1$. Зависимость $K_N(P)$ от мощности нагрева показана на рис.3. Аналогичная картина в поведении величин $A(t)$, $f_D(t)$ и K_N наблюдалась при нагреве ионосферы в режиме „на просвет”, а также при изменении поляризации мощной радиоволны с „необыкновенной” на „обыкновенную”.

Теоретически эффект нелинейной дефокусировки радиоволн за счет изменения ионизации при ее нагреве мощным радиоизлучением был предсказан Гуревичем ⁶. В соответствии с ^{1,6} были рассчитаны функции $K_N(f)$ и $K_N(P)$ для типичного высотного распределения параметров дневной ионосферы, результаты такого расчета показаны на рис.2 и рис.3 сплошными кривыми. Видно их хорошее соответствие с экспериментом.

Таким образом, можно утверждать, что в настоящих экспериментах обнаружено возникновение искусственной ионосферной линзы, приводящей к значительному ослаблению поля проходящих через нее радиоволн.

Литература

1. *Gurevich A. V.* Nonlinear Phenomena in the Ionosphere, Springer-Verlag, New-York, 1978.
2. *Utlaut W.F.* Proc. IEEE, 1975, 63, 1022.
3. *Ерүхимов Л.М., Метелев С.А. и др.* Сб. „Тепловые нелинейные явления в плазме”, ИПФ АН СССР, Горький, 1979, стр. 7.
4. *Васьков В.В., Гуревич А.В.* Сб. Тепловые нелинейные явления в плазме”, ИПФ АН СССР, Горький, 1979, стр. 81.
5. *Васьков В.В., Голян С.Ф., Груздев Ю.В., Гуревич А.В., Димант Я.С., Ким В.Ю., Лобачевский Л.А., Мигулин В.В., Панченко В.А., Петров М.С. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 582.
6. *Гуревич А.В.* Геомагнетизм и аэрономия, 1965, 5, 70; 1972, 12, 24.

Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн
Академии наук СССР

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию
24 января 1984 г.
8 мая 1984 г.