

Таблица 1

D , км	Вид сигнала	\bar{N}	$N_{\min} - N_{\max}$	l , м
100	Необыкновенная компонента	0,1	0—2	1600
100	Нерасщепленный, один скачок	4,0	0—10	250
1400	Нерасщепленный; один скачок	6,4	1—23	80
2300	Многомодовый сигнал	23,6	2—40	20

Исследование дислокации ионосферного радиосигнала может быть использовано для изучения тонкой структуры дифракционной картины рассеянного поля с целью определения размеров неоднородностей ионосферы. В предположении нормального распределения поля можно определить число нулей случайного поля на заданной площади [1] и вычислить количество дислокаций, проходящих через антенную базу d за время T : $N = dv_{\perp} T / 2\pi l^2$, где v_{\perp} — проекция скорости дрейфа на направление, перпендикулярное базе, l — пространственный размер неоднородностей поля. Подсчитав число дислокаций на записи и зная скорость дрейфа, можно вычислить средний размер неоднородностей поля l при различных условиях распространения. В табл. 1 приведены оценки среднего пространственного размера неоднородностей поля l , полученные этим способом для рассматриваемых экспериментальных радиотрасс. Следует отметить, что оценки тем ближе к истинному размеру, чем больше l по сравнению с d . В сложном случае многомодового сигнала на третьей радиотрассе условие $l > d$ нарушается, поэтому оценка размера в этом случае является условной и приведена для сравнения. Приведенные в табл. 1 экспериментальные величины размеров соответствуют известным из литературы значениям, которые получены в аналогичных условиях методом корреляционного анализа. Предлагаемый метод определения размеров неоднородностей поля является более простым, так как сводится к подсчету числа скачков на записи. При использовании двух антенных баз метод подсчета дислокаций позволяет определить также направление скорости дрейфа.

Наличие дислокаций волнового фронта КВ радиосигнала является очевидной причиной появления ошибок при фазовой телеграфии и пеленгации. Изучение дислокаций необходимо как для оценки величины и вероятности ошибок при фазовых измерениях, так и при разработке методов повышения помехоустойчивости. Представляется перспективным дальнейшее развитие с учетом явлений дислокаций метода порогового приема [3], при котором в фазовых измерениях используется информация о флуктуациях амплитуды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова Н. Б., Зельдович Б. Я. — ЖЭТФ, 1981, 80, вып. 5, с 1789
2. Баранова Н. Б., Зельдович Б. Я., Мамаев А. В. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, вып. 4, с 206
3. Гайлит Т. А., Капаев В. В. — Радиотехника и электроника, 1973, 18, № 12, с. 2619.

Московский государственный университет

Поступила в редакцию 18 февраля 1986 г.

УДК 551.510.535

АНОМАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ПРОБНЫХ РАДИОВОЛН В СПОРАДИЧЕСКОМ СЛОЕ E ИОНОСФЕРЫ

Г. Н. Бойко, В. А. Зюзин, С. А. Метелев

В июне 1985 г на стенде «Сура» проводились эксперименты по воздействию на ионосферу мощным КВ радиоизлучением. Ионосферные условия этой серии экспериментов характеризовались частым возникновением мощных спорадических слоев в области E, обладающих частотами экранирования $f_b \geq 7$ МГц (рис. 1). В этих условиях волна накачки (ВН), частота которой $f_{ВН} = 4,785$ МГц, и пробные волны с близкими к $f_{ВН}$ частотами отражались от слоя E_s . Было обнаружено, что пробные волны обыкновенной поляризации испытывают значительное аномальное ослабление в слое E_s во время работы мощного радиопередатчика, что указывает на развитие нелинейных явлений в этом слое.

Воздействие на ионосферу осуществлялось стендом «Сура» с использованием антенны, обладающей вертикальной диаграммой направленности. Эффективная мощность излучения обыкновенной поляризации составляла величину порядка 150 МВт. Передатчики стенда работали в режиме 20 с — излучение, 40 с — пауза. В качестве пробных волн (ПВ) использовалось импульсное излучение входящего в состав диагностического комплекса стенда «Сура» радиопередатчика ИС-50 (длительность импульса $\tau_{\text{и}} = 150$ мкс, частота повторения импульсов $F = 100$ Гц) с эффективной мощностью в импульсе порядка 0,6 МВт. Прием пробных волн осуществлялся на антенну с вертикальной диаграммой направленности и коэффициентом усиления меньше порядка 5, расположенную недалеко от мощных радиопередатчиков. В связи с этим были предприняты специальные меры для исключения нежелательного влияния волны накачки на входные цепи приемной радиоаппаратуры. Сигнал с антенны через блок поляризатора и фильтр-пробку, ослабляющие мощный сигнал ВН на 50—55 дБ, подавался на вход приемников Р-250М2. После усиления сигнал поступал на вход импульсного детектора и регистрировался на ленте самописца.

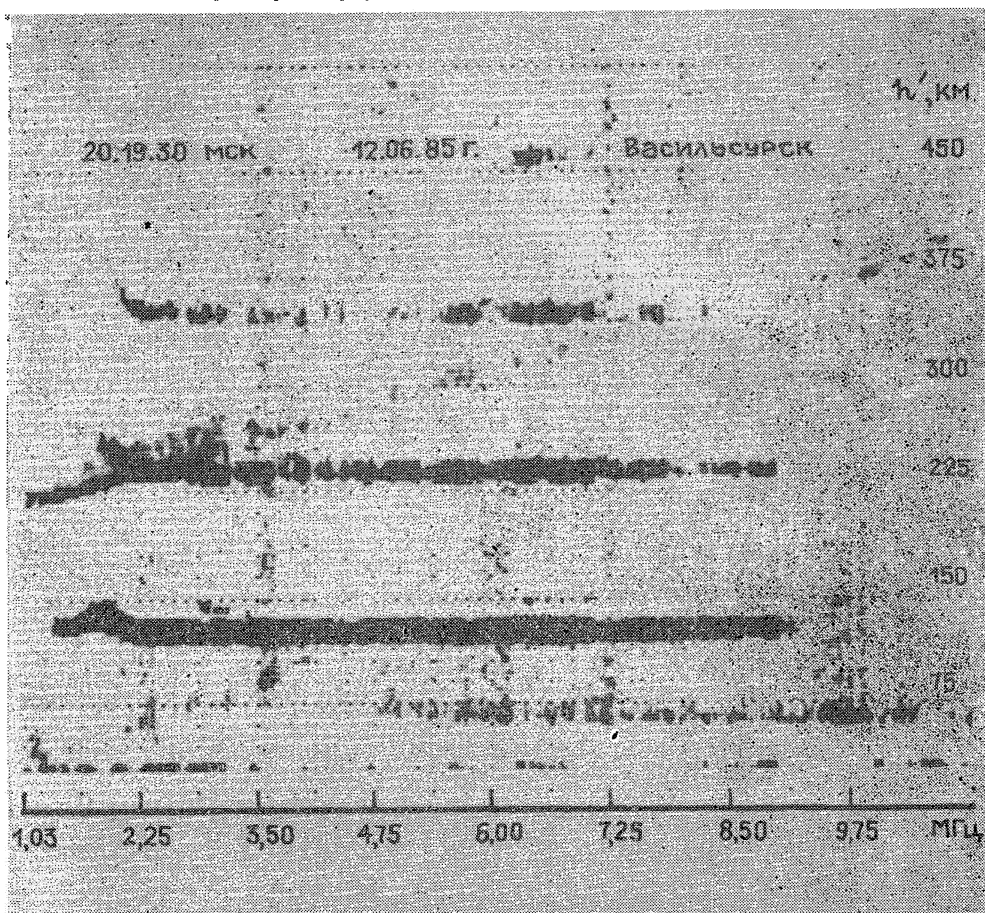


Рис 1.

Пример записи зависимости амплитуды ПВ с частотой $f_{\text{пв}} = 4,460$ МГц от времени приведен на рис 2. Данные получены в 20.20—20.30 мск 12.06.85 г усреднением по трем циклам воздействия. Видно, что сигнал пробной волны, отраженной от слоя E_s , после включения ВН испытывает быстрое ($\tau_{\text{разв}} < 0,5$ с) и значительное поглощение.

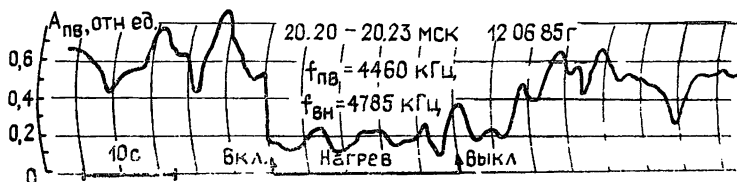


Рис. 2.

После выключения ВН происходит восстановление амплитуды ПВ до прежнего уровня. Время этой релаксации составляет несколько секунд (около 5 с). Зависимости времени релаксации амплитуды ПВ от их частоты обнаружено не было, в то время как вли-

чина аномального ослабления K_{E_s} ($K_{E_s} = A_{OE_s}/A_{E_s}$, A_{OE_s} , A_{E_s} — амплитуды ΠB , отраженной от слоя E в возмущенных условиях и при установившемся режиме воздействия соответственно) уменьшалась при увеличении отстройки частоты ΠB от частоты ВН $K_{E_s} = 3,5$ при $f_{\text{пв}} = 4,710$ МГц и $K_{E_s} = 1$ при $f_{\text{пв}} = 3,980$ МГц. В то же время необходимо отметить, что аномальное поглощение пробных волн, отраженных от слоя E_s , наблюдалось вплоть до $f_{\text{пв}} = 6,5$ МГц.

Эти данные получены при максимальной мощности передатчика стенда. Приведенная мощность излучения $P_{\text{п}} = P_{\text{э}}$ м, учитывающая коэффициент линейного затухания в ионосфере, составляла в этом случае $P_{\text{п}} \approx 100$ МВт. При изменении мощности ВН ($P_{\text{п}} = 6-100$ МВт) было установлено, что аномальное ослабление пробных волн в спорадическом слое E является пороговым эффектом по мощности ВН. Пороговая мощность эффекта составляла величину 12—25 МВт.

Обнаруженное явление с качественной стороны подобно хорошо известному эффекту аномального ослабления радиоволн, возникающему при воздействии на r -слой ионосферы [1] и обусловленному рассеянием энергии ВН и ΠB в энергию плазменных волн на мелкомасштабных неоднородностях концентрации плазмы [2]. Искусственные неоднородности, вытянутые вдоль геомагнитного поля, возбуждаются в ходе развития тепловой параметрической (резонансной) неустойчивостей плазмы вблизи уровня отражения мощной электромагнитной волны [3, 4]. Можно предположить, что поглощение ΠB в слое E_s , возникающее при воздействии на него мощной электромагнитной волной, также обусловлено возбуждением тепловой параметрической неустойчивости в области отражения ВН и вызвано рассеянием энергии ΠB в энергию плазменных волн. На это, в частности, указывает и то, что наиболее сильные эффекты развиваются при $f_b > f_{\text{ВН}}$ (т. е. в условиях полного внутреннего отражения ВН), хотя иногда они обнаруживаются и при $f_b < f_{\text{ВН}} < f_0$. В ряде случаев полупрозрачного слоя E_s наблюдалось аномальное ослабление пробных волн, отраженных как от слоя E_s , так и от области F . Последнее может быть объяснено сильной «неоднородностью» спорадического слоя E_s , которая обеспечивала частичное просачивание энергии ВН и пробных волн в вышележащие области ионосферы. Развитие неустойчивостей в слое E_s будет, по-видимому, носить специфический характер вследствие более высоких эффективных частот соударений электронов и резких градиентов концентрации плазмы в слое, что, в частности, приведет к сильному возрастанию пороговых мощностей возбуждения. Однако при превышении порога по мощности более высокие инкременты (пропорциональные обратному характерному времени возрастания температуры электронов τ_{rel}) приводят к более быстрому развитию эффекта поглощения ΠB в E_s по сравнению с подобным эффектом в F -слое, что и наблюдалось на эксперименте. Наблюдающаяся на эксперименте более быстрая релаксация поглощения пробных волн в слое E_s ($\tau_{\text{rel}} \approx 4$ с) по сравнению с релаксацией эффекта в слое F ($\tau_{\text{rel}} \approx 8$ с), по-видимому, вызвана большим коэффициентом поперечной электронной диффузии $D_{e\perp}$ (250 км) $\approx 2 \cdot 10^3$ см²/с, $D_{e\perp}$ (120 км) = 10^4 см²/с).

Из литературы известен еще один механизм возбуждения метровых неоднородностей в слое E — термомодифицирующая неустойчивость плазмы [5], возникающая при нагреве электронов на высотах слоя E . Однако, согласно [5], инкременты этой неустойчивости на порядок меньше $\nu_{\text{те}}$, что должно приводить к более медленному развитию аномального ослабления по сравнению с наблюдавшимся на эксперименте.

Кроме рассмотренных выше причин уменьшение уровня отраженных пробных волн, в принципе, могут вызвать горизонтальные неоднородности электронной концентрации, возникающие в поле стоячей волны, за счет рассеяния по углам падающего на них излучения. Но в нашем случае возможно лишь обратное рассеяние на этих структурах, которое не должно приводить к уменьшению уровня сигналов пробных волн.

Таким образом, наблюдающееся явление указывает на возможность создания в спорадическом слое E мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации плазмы, вытянутых вдоль геомагнитного поля, путем его нагрева мощной электромагнитной волной.

В заключение заметим, что в экспериментах 1974 г. [6] было обнаружено возникновение таких искусственных неоднородностей в обычном слое E при воздействии на него мощным радиоизлучением с $f_{\text{ВН}} < f_{0E}$.

Авторы благодарны Л. М. Ерухимову за полезные обсуждения полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Гетманцев Г. Г. и др. — Изв. вузов — Радиофизика, 1975, 18, № 4, с. 516.
2. Митяков Н. А., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю. — Изв. вузов — Радиофизика, 1975, 18, № 9, с. 1273.
3. Грач С. М., Митяков Н. А., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю. — В сб.: Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 46.
4. Васьков В. В., Гуревич А. В. — В сб. Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 81.
5. Гуревич А. В., Караштин А. Н. — Геомагнетизм и аэронавигация, 1984, 24, № 6, с. 885.
6. Fialer P. A. — Radio Sci., 1974, 9, № 11, p. 923