

- 9 Brown W. N., Spoelstra T. A. Th. — Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1976, 26, p. 129.
10. Sironi G. — Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 1974, 166, p. 345.
11. Беляев П. П., Тарасов А. Ф., Токарев Ю. В., Юрищев М. А. — Изв. вузов — Радиофизика, 1983, 26, с. 1047.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
18 марта 1986 г.

УДК 551 510 535

О ДИСЛОКАЦИЯХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ОТРАЖЕННОГО ОТ ИОНОСФЕРЫ РАДИОСИГНАЛА

Т. А. Гайлит | В. Д. Гусев, М. И. Иванов

При исследовании флуктуаций фазы сигнала, отраженного от ионосферы, зарегистрированы резкие скачкообразные изменения (на 2π и более) разности фаз в пространственно разнесенных точках, сопровождающиеся прохождением амплитуды через нуль

Для физического истолкования и математического описания этого явления может быть использовано понятие дислокаций поверхности волнового фронта, введенное для пространственно неоднородного поля лазерного излучения в [1, 2], где рассмотрены условия их появления, оценено их количество и выполнена визуализация явления в оптическом диапазоне. Согласно [1], в поперечном сечении пучка при достаточном развитии неоднородности поля неизбежно возникают точки, в которых интенсивность поля равна нулю. При распространении вдоль z эти дискретные точки (носители нулей интенсивности), согласно решению параболического уравнения, описывают криволинейные траектории и могут возникать и аннигилировать парами. При обходе вокруг носителя нуля по замкнутому контуру фаза поля получает дополнительный набег 2π . Поскольку в полном поле имеется быстрый фазовый множитель $\exp(ikz)$, то можно сказать, что линии нуля содержат винтовую дислокацию поверхности волнового фронта. Дислокации были зарегистрированы экспериментально при наблюдении интерференции пространственно-неоднородного лазерного пучка с вспомогательной опорной волной [2]. В наблюдаемой интерференционной картине дислокации соответствуют ветвлению (рождению или уничтожению) интерференционной полосы.

Можно ожидать появления аналогичного явления в неоднородном поле радиоволны, отраженной от ионосферы. При отсутствии специальных направленных антенн отраженную радиоволну можно считать на конечных участках волнового фронта квазиплоской, т. е. удовлетворяющей условию $k_x, k_y \ll k_z$, где z — направление прихода волны, $k_x, k_y \sim 1/l$ (l — пространственный размер неоднородностей поля, $l \gg 1$). Это условие аналогично приближению параксиального волнового пучка в оптическом диапазоне, применяемому в [1].

Для визуализации и однозначной интерпретации явления в КВ диапазоне радиоволн используется специальный многопериодный фазометр, обеспечивающий непрерывную фоторегистрацию разности фаз в интервале $(0 - 2\pi n)$. Принцип работы фазометра состоит в следующем. Из одного принятого сигнала с помощью специального устройства формируется пилообразное напряжение развертки осциллографа с частотой, в n раз меньшей, чем промежуточная частота приемника. Из второго принятого сигнала формируются короткие импульсы, соответствующие нулям синусоиды промежуточной частоты с положительной производной. Они подаются на « z »-вход осциллографа, подсвечивая пилообразное напряжение в соответствующие моменты времени. На экране наблюдаются n ярких точек, которые при изменении разности фаз между принятыми сигналами передвигаются по развертке. Для непрерывной фотозаписи применяется протяжка пленки в поперечном направлении. В обоих приемных каналах фазометра специальное внимание уделено устранению фазоамплитудной зависимости, обычно имеющей место в типовых приемниках и схемах.

При помощи многопериодного фазометра измеряется разность фаз отраженной от ионосферы волны в двух пространственно разнесенных точках (на антенной базе d). Одновременно регистрируется амплитуда на одной из антенн. Из-за дрейфа неоднородностей ионосферы дифракционная картина отраженного поля, содержащая дислокации волнового фронта, движется по поверхности Земли. При прохождении дислокации через антенную базу разность фаз сигнала на антеннах получает дополнительный набег 2π (или $2\pi n$, если корень m -кратный). В экспериментальной записи это проявляется как характерный резкий скачок разности фаз на 2π (или $2\pi m$), сопровождающийся прохождением амплитуды через нуль. На рис. 1 и 2 приведены образцы экспериментальной записи разности фаз и амплитуды. Здесь антенная база имеет длину около 80 м и ориентирована под углом 45° к направлению Север—Юг. В качестве приемных антенн используются полуволновые вибраторы. Из рис. 1 видно, что в неоднородном поле отраженного от ионосферы радиосигнала присутствуют

резкие изменения разности фаз на 2π , сопровождающиеся прохождением амплитуды через нуль (точки A, B). Наблюдается также более сложная картина, когда происходит изменение разности фаз на $2\pi m$, сопровождающееся прохождением амплитуды m раз через минимум (отрезок CD , рис. 2). Это соответствует скоплению m однократных корней, которые теоретически могут существовать в неоднородном поле. Таким образом, из рис. 2 видно, что в экспериментальных записях фазы и амплитуды отраженного от ионосферы радиосигнала наблюдается явление, которое характеризуется одновременным появлением двух признаков: скачка разности фаз на 2π и прохождения амплитуды через нуль (глубокий минимум). Это явление, очевидно, может быть интерпретировано как дислокация волнового фронта радиоволны.

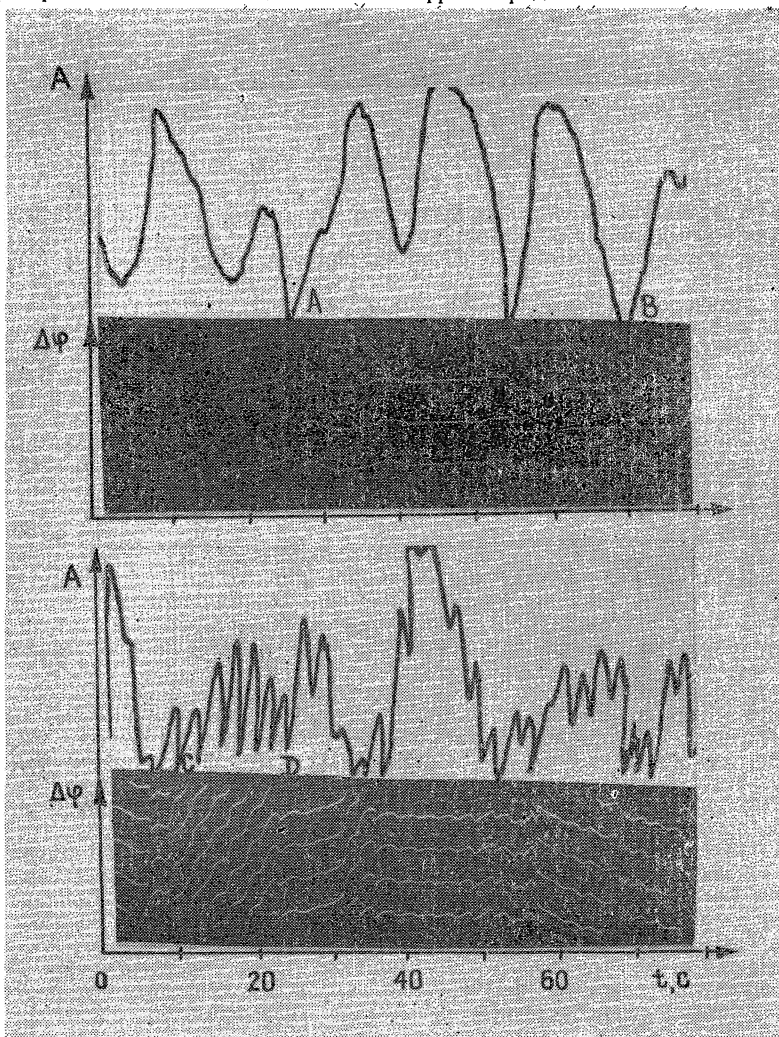


Рис 1, 2.

Отметим, что при обычном способе регистрации, когда измеряется главное значение разности фаз в интервале $[0 - 2\pi]$, рассматриваемые особенности фазы неоднородного поля воспроизводятся неоднозначно, так как теряются все изменения, кратные 2π .

Экспериментально дислокации поверхности волнового фронта исследовались на трех радиотрассах широтной ориентации различной дальности (табл. 1). На двух первых трассах режим работы передатчика был импульсным, на третьей трассе — непрерывным. На первой трассе благодаря изменению рабочей частоты обеспечивались два варианта приема радиосигнала: расщепленный сигнал (необыкновенная компонента) и нерасщепленный сигнал, состоящий из двух магнитоионных компонент. На второй радиотрассе регистрировался односкачковый нерасщепленный сигнал, отраженный от F -слоя ионосферы, на третьей возможен многомодовый сигнал. Соответственно рабочие частоты находятся в диапазоне от 5 до 15 МГц.

Для каждого варианта условий распространения проанализировано около 80 пятиминутных интервалов записи и определено среднее число дислокаций \bar{N} на базе 80 м за пять минут, а также пределы изменения числа дислокаций от сеанса к сеансу ($N_{\min} - N_{\max}$).

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 $f_{\text{ВН}} = 4,785$ МГц, и пробные волны с близкими к $f_{\text{ВН}}$ 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.