

УДК 551.511.3

## ЧАСТИЧНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ КОРОТКИХ ВОЛН ОТ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СТРАТОСФЕРЫ

Е. А. Бенедиктов, В. А. Иванов

Обнаружены слабые отражения радиоволн с частотой  $f = 5,75$  МГц от неоднородностей показателя преломления, образующихся на высотах  $h \sim 40$  км. Приводятся характеристики отраженных сигналов.

В последние годы атмосферные процессы (ветры, волновые движения) интенсивно изучаются с помощью МСТ (мезосферно-стратосферно-тропосферных) радаров, работающих в диапазонах частот 30—300 МГц и 300—3000 МГц (см., например, [1]). В основу метода исследования положено явление слабых отражений зондирующих волн от неоднородностей показателя преломления, наблюдающихся в диапазоне высот 1—100 км. Заметим, что этот же эффект определяет применимость метода частичных отражений для изучения  $D$ -области ионосферы (область мезосферы) [2, 3]. Используемые в этом случае КВ сигналы ( $f = 2 \div 6$  МГц) отражаются, как правило, в диапазоне высот 55—100 км; данные о частичных отражениях КВ сигналов от уровней стратосферы в литературе отсутствуют.

Весной и летом 1970 г. в Горьком методом частичных отражений была проведена серия экспериментов по определению  $N(h)$ -профилей в  $D$ -области ионосферы в период внезапных ионосферных возмущений (ВИВ). Наблюдения проводились на  $f = 5,75$  МГц с 5 ч 45 мин до 14 ч УТ. Вертикально вверх излучалась волна линейной поляризации, а при приеме отраженных сигналов выделялись две волны с круговой поляризацией — обыкновенная и необыкновенная компоненты. Амплитуды последних регистрировались на фотопленку с экрана осциллографа, на котором наблюдались частично отраженные сигналы в зависимости от дальности отражающих неоднородностей. Полная информация об аппаратуре и результатах этих измерений содержится в работах [4, 5].

Как отмечалось ранее [4], частичные отражения носили диффузный характер, их амплитуды в периоды ВИВ, как правило, возрастали, а наименьшие высоты понижались до 55—60 км.

В 55 сеансах наблюдений было замечено, что в периоды ВИВ\* появлялись также слабые, лишь в 2—4 раза превышающие уровень помех\*\* одиночные стратосферные отражения, отвечающие дальностям 38—55 км.

На рис. 1 приведено распределение появляемости стратосферных отражений в течение периода наблюдений: с 5 ч 45 мин до 14 ч УТ, а на рис. 2 — распределение дальностей до отражающих стратосферных неоднородностей (сплошная линия) и до соответствующих неоднородностей области  $D$  (пунктирная линия). Следует отметить почти равновероятную появляемость стратосферных отражений в период наблюде-

\* Отметим, что стратосферные отражения имели место, правда очень редко, и в периоды наблюдений, не связанные с внезапными ионосферными возмущениями.

\*\* Заметим, что в периоды ВИВ уровень помех значительно понижался.

ний и увеличенное число отражений, соответствующих расстояниям 38—42 км и 52—55 км.

На рис. 3 приведена гистограмма распределения отношения амплитуд «необыкновенной» ( $A_x$ ) и «обыкновенной» ( $A_0$ ) компонент для стратосферных отражений. Согласно этим данным, у обнаруженных сигналов в большинстве случаев поляризация сохранялась ( $A_x/A_0=1$ ), однако в отдельных случаях имела место деполяризация ( $A_x/A_0 \neq 1$ ).

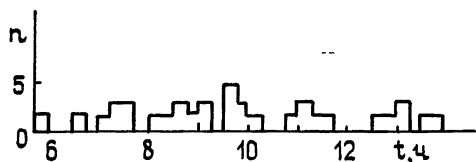


Рис. 1.

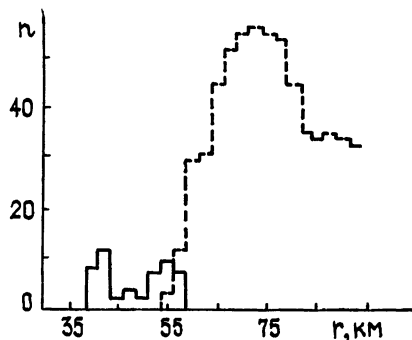


Рис. 2.

Рассмотрение последовательности фотокадров показало, что в одних сеансах наблюдений отраженные сигналы были неподвижными, в других — они перемещались в зависимости от дальности на экране осциллографа. Движущиеся и неподвижные сигналы имели различное «время жизни», если для первых оно в среднем составляло 50 с, то для вторых — 30 с. Движения отражений также отличались. Было, например, установлено, что в 11 случаях сигналы приближались, в 9 — удалялись, а в 4 — сперва приближались к началу развертки осциллографа, но достигнув положений, соответствующих дальности 38—40 км, удалялись от начала развертки.

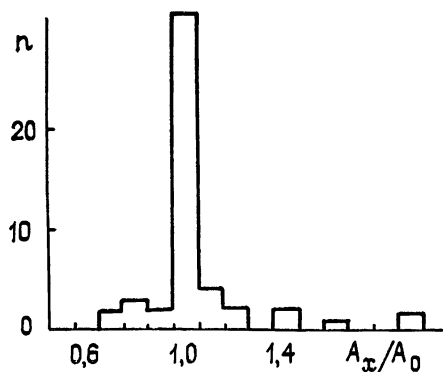


Рис. 3.

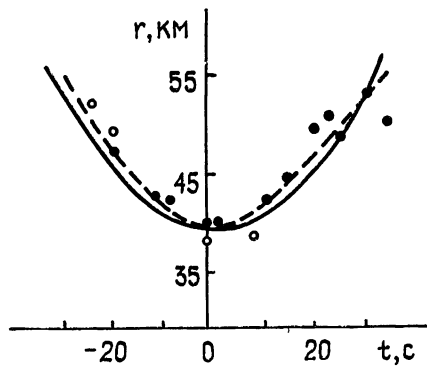


Рис. 4.

Для построения модели движения с помощью каждого фотокадра определялась дальность до стратосферного отражения, что позволило для каждого случая установить зависимость дальности до отражения  $r$  от времени  $t$ .

Примеры зависимости  $r(t)$  для данных, полученных 16 мая (точки) и 16 июня (кружки), приведены на рис. 4. Поскольку выбранные для примера случаи наблюдались в разное время, то для удобства их анали-

за за начало отсчета  $t$  мы выбирали время, когда отражения на осциллографе находились ближе всего к началу развертки (т. е. было принято, что  $t=0$ , если  $r=38 \div 40$  км). Представленные здесь данные могут быть аппроксимированы некоторой кривой, изображенной на рисунке пунктиром.

Полученный результат позволил предположить, что во всех других случаях, когда наблюдалось изменение дальностей до отражений, совокупность полученных данных также представляет некоторую общую картину смещений. Поэтому все они были нанесены на рис. 5 так, чтобы в целом получилась некоторая кривая. Здесь точками отмечены данные, полученные 12 июня, крестиками — 13 июня, кружками — 14 июня, квадратиками — 16 июня, треугольниками с основанием, направленным вверх, — 18 июня, звездочками — 19 июня. На рис. 5 пунктиром показаны дальности, соответствующие неподвижным отражениям.

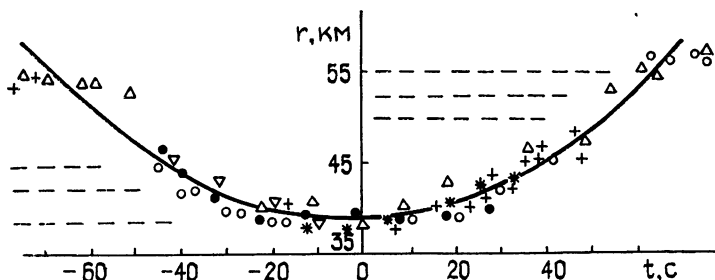


Рис. 5

Представленная выше совокупность данных свидетельствует о том, что стратосферные отражения являются, по-видимому, частичными отражениями КВ радиоволн от неоднородностей показателя преломления.

Оценки коэффициента отражения от одиночных неоднородностей различной формы показали, что он в основном зависит от того, насколько быстро показатель преломления меняется на масштабе порядка длины волны, и, чтобы отражения были достаточными для регистрации их на фоне шумов, необходимы сильные градиенты показателя преломления.

Полученные данные не позволяют дать ответ на вопрос о микроструктуре показателя преломления. Однако нам кажется маловероятным, что она связана с ионизованной компонентой газа, более разумно предположить, что микроструктура показателя преломления КВ радиоволн на высотах  $\sim 40$  км, так же, как и для волн УКВ диапазона, обусловлена флуктуацией таких параметров атмосферы, как давление, температура, упругость водяных паров и т. п.

Согласно данным [6, 7], полученным с помощью МСТ радаров, в верхней стратосфере и в мезосфере существуют турбулентные слои, вертикальная протяженность которых меньше 100 м. Поэтому наблюдаемые нами перемещения отраженных стратосферных сигналов можно попытаться объяснить движением неоднородностей на горизонтальном уровне  $h = 40$  км.

Пусть начало координат 0 декартовой системы  $x, y, z$  совпадает с точкой наблюдения, а объект, отражающий сигнал, движется со скоростью  $V$  в плоскости  $z=h$  по прямой ВС, которая находится на расстоянии  $l$  от оси  $Oz$  (см. рис. 6). Пусть в момент времени  $t$  он находится в точке С, расположенной на расстоянии  $r$  от начала координат.

Исходя из симметрии движения относительно точки  $B$ , предположим, что время  $t$  отсчитывается от момента, когда объект находится в этой точке.

Таким образом,  $BC = Vt$ ,  $OB = \sqrt{h^2 + l^2}$ . Отсюда получим

$$r = \sqrt{h^2 + l^2 + V^2 t^2} \quad (1)$$

Формула (1) устанавливает функциональную зависимость между  $r$  и  $t$  в рамках рассматриваемой модели движения.

Исследование выражения (1) начнем с оценок. Пусть  $t=0$ , тогда для всех  $l$ , для которых  $(l^2/h^2) \ll 1$ , вторым слагаемым под знаком корня можно пренебречь. Если, например,  $h \sim 40$  км, то изменения  $l$  от 0 до 10 км будут приводить к изменениям в  $r$  лишь до 1 км. Поэтому, учитывая небольшой, всего порядка 1—2 км, разброс экспериментальных значений в минимуме кривых,

представленных на рис. 4 и 5, опустим второе слагаемое в наших дальнейших расчетах. Заметим также, что при скоростях  $V < 100$  м/с отражения будут казаться практически неподвижными за периоды порядка их «времени жизни». Этим, по-видимому, и объясняется экспериментальный факт существования неподвижных отражений.

Кривые, нанесенные на рис. 4 и 5 сплошными линиями, рассчитаны по формуле

$$r = \sqrt{h^2 + V^2 t^2} \quad (2)$$

в первом случае при  $h=40$  км и  $V=1200$  м/с, а во втором — при  $h=38$  км и  $V=600$  м/с. Они достаточно точно соответствуют характеру экспериментальных зависимостей  $r(t)$  до  $t \sim 30$  с и  $t \sim 60$  с соответственно. По данным радиолокационного зондирования атмосферы [1] на высотах  $\sim 40$  км скорости ветров не превышают 50 м/с. Поэтому можно предположить, что скорости  $\sim 1$  км/с относятся либо к волновым движениям среды, либо они являются кажущимися скоростями возмущений, возникающих в местах встречи фронтов двух воздушных масс.

В работе [8] сообщалось о линейном законе изменения  $r(t)$  для отражений (трейсов), наблюдавшихся в авроральной  $D$ -области ионосферы в диапазоне высот 60—90 км (область мезосферы) на частоте 2,75 МГц. По величине скоростей и характеру перемещений они имели сходство с теми отражениями, которые были обнаружены нами на уровнях стратосферы, где ионизованная компонента газа отсутствует. Это сходство наводит на мысль о том, что действительной причиной перемещения неоднородностей, наблюдавшихся в [8], являются процессы, происходящие в нейтральной атмосфере.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Balsley В. В.—J. Atm Terr Phys, 1981, 43, № 5—6, p. 495
- 2 Belrose J S, Burke H. J.—J Geophys Res., 1964, 69, № 13, p. 2799.
- 3 Fraser G J—J. Atm. Terr. Phys., 1968, 30, № 5, p 707.
- 4 Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Гришкевич Л. В., Иванов В. А., Комраков Г. П., Подмошников В. В., Флат Ф. А. — Геомагнетизм и аэронавигация, 1971, 11, № 6, с 1090
- 5 Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Гришкевич Л. В., Иванов В. А. — Изв. вузов — Радиофизика, 1975, 18, № 8, с. 1094.

- 6 Czechowsky P, Rüster R, Schmidt G.—Geophys. Res. Lett, 1979, 6, p. 459.  
7. Röttger J, Schmidt G.—IEEE Trans. Geosci. Electr, 1979, GE-17, p. 182.  
8. Schlegel K., Thrane E., Brekke A.—J. Atm. Terr. Phys., 1980, 42, № 9—10, p. 809.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
29 сентября 1982 г.,  
после доработки  
16 марта 1983 г.

## PARTIAL REFLECTION OF SHORT RADIO WAVES BY IRREGULARITIES OF THE STRATOSPHERE

*E. A. Benediktov, V. A. Ivanov*

Weak reflections of radio waves at the frequency of  $f = 5,75$  MHz by irregularities of the refraction index, forming at the height of 40 km have been observed. The characteristics of reflected signals are given.

---

### Аннотации депонированных статей

УДК 621.371.534.222:537.88

#### ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РАССЕЯНИЮ ВОЛН ТУРБУЛЕНТНЫМИ ПОТОКАМИ

*В. А. Коробков, В. Г. Спицын*

Описывается постановка задачи моделирования методом Монте-Карло процесса многократного рассеяния волн на неоднородностях турбулентного потока, представляющих собой набор изотропных, случайным образом распределенных рассеивателей. Приводятся результаты расчетов, полученные в предположении малости размеров неоднородностей по сравнению с длиной волны зондирующего излучения и расстояниями между неоднородностями.

*Статья депонирована в ВИНТИ,  
рег. № 4068—83. Деп. от 19 июля 1983 г.*

УДК 621 372.8 : 532 546

#### РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ

*Ф. Л. Саяхов*

Рассматриваются некоторые радиофизические задачи канализации, излучения высокочастотного электромагнитного поля в продуктивном пласте вокруг скважины, представляющей излучающее устройство. Воздействие высокочастотного поля стимулирует фильтрацию высоковязкой нефти через продуктивную породу к скважине за счет термомеханических эффектов. Приведены результаты экспериментальных исследований на моделях.

*Статья депонирована в ВИНТИ,  
рег. № 6129—83. Деп. от 16 ноября 1983 г.*