

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ

Секция "Распространение оптических волн" Научного совета АН СССР по
комплексной проблеме "Распространение радиоволн"

Секция астрометрии при Астрономическом совете АН СССР

Научный совет АН СССР по проблеме "Когерентная и нелинейная оптика"

Научный совет АН СССР по проблеме "Метеорология"

ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО РЕФРАКЦИИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Томск - 1983

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА РЕФРАКЦИИ В СФЕРИЧЕСКИ-СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ
АТМОСФЕРЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВОЛНОВОДА

К.П.Гайкович, А.С.Гурвич

Рефрактометрические методы дистанционного исследования атмосферы привлекли к себе в последнее время особое внимание. В ряде работ [1, 2] показано, что соответствующие обратные задачи сводятся к уравнениям типа Абеля, которые имеют хорошо обусловленное обратное преобразование относительно показателя преломления. Зависимость рефракции от

$$\varepsilon(p) = -2p \int_p^{\infty} \frac{d \ln n}{d p_0} \frac{d p_0}{\sqrt{p_0^2 - p^2}}, \quad (1)$$

а решение обратной задачи

$$n(r_0(p_0)) = \exp \left[\frac{1}{n} \int_{p_0}^{\infty} \frac{\varepsilon(p) dp}{\sqrt{p^2 - p_0^2}} \right], \quad (2)$$

$p_0 = r_0 n(r_0)$ позволяет перейти от $n(p_0)$ к $n(r_0)$. В случае внутриатмосферных измерений под величиной $\varepsilon(p)$ в (1),(2) следует понимать разность величин рефракции $\varepsilon_-(p) - \varepsilon_+(p)$, измеренную под положительными и отрицательными углами места θ_0 [2]. В оптическом диапазоне показатель преломления пропорционален плотности воздуха, что позволяет восстановить высотные распределения давления и температуры [1].

В атмосфере встречаются сильные инверсии, когда показатель преломления убывает с высотой так резко, что $dp/dr < 0$ (при этом $dn/dr \leq -1,6 \cdot 10^{-4} \text{ км}^{-1}$). В этом случае для некоторых p рефракция обращается в бесконечность - образуется приподнятый волновод [3]. Ясно, что решение (2) в этой ситуации уже несправедливо, для лучей с перигеями вне волновода (1) по-прежнему имеет место, представляя из себя уравнение Вольтерра 1-го рода. Рассмотрим возможности численного решения (1). В дискретном виде будем иметь

$$\varepsilon(p_i) = \sum_{j=i}^{M-1} A_{ij} \Delta n_j, \quad (3)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} -4p_i (\sqrt{p_{j+1} - p_i} - \sqrt{p_i - p_j}) / (\sqrt{p_j} p_i (p_{j+1} - p_j)), & \text{если } dp/dr \neq 0, \quad (4a) \\ -2p_i / (\sqrt{p_j^2 - p_i^2}), & \text{если } dp/dr = 0, \quad (4b) \end{cases}$$

A_{ij} - треугольная матрица. Обращая систему (3) относительно $\Delta p_i(r_i)$ и используя значение n_m на высоте наблюдателя H , можно получить решение (1), которое в случае, когда волновода нет, будет тождественно (2). При наличии волновода система (3) неполна - в ней недостает уравнений, отвечающих значениям p_i внутри волновода. Однако, при наблюдениях, по-видимому, невозможно отличить ситуации, когда имеется волновод от ситуации, когда есть просто сильный пик рефракции, как из-за конечной горизонтальной протяженности волновода, так и из-за дифракционных явлений. Рассмотрим на примере, к каким погрешностям восстановления приводит наличие волновода, когда решение подучается обычным образом.

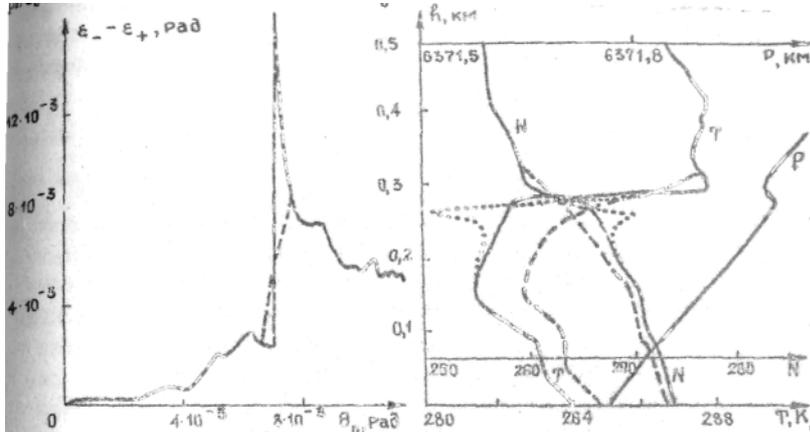
На рисунке представлено модельное распределение метеопараметров с силовой инверсией температуры на высоте 290-310 м ($dT/dr \sim 200-300$ К км), которая приводит к образованию волновода в слое 270-310 м. Высота наблюдателя $H = 500$ м. Линейно интерполируя рефракцию на отрезке, который включает точку $\varepsilon = \infty$ (пунктир слева на рисунке), решаем (3). Из рисунка видно (восстановление - пунктир), что возникает систематическая погрешность N ($N = 10^6(n-1)$), связанная с тем, что в такой постановке задачи dn/dr в области волновода не может превысить минимальный волноводный градиент. У поверхности погрешность N , T и P составляют соответственно 0,7; 0,5 К; 0,8 мбар. Отметим, что в целом уровень вносимых волноводом погрешностей невелик. Сужение области интерполяции в пять раз практически не меняет результатов восстановления.

Можно получить более точное решение в случае, если имеется опорное значение показателя преломления где-либо ниже волновода, например, используя значение прицельного параметра луча, перигей которого находится около поверхности. В этом случае $n(r_0) = p/r_0$, и можно дополнить (4) условием

$$\sum_{i=1}^{N-1} \Delta n_i = n(r_0) - n(r_N), \quad (5)$$

при этом A_{ij} для Δp в волноводе соответствует (4б). Восстановление (дано на рисунке точками) при этом совпадает с исходным распределением всюду, кроме небольшой области вниз от волновода. Исследование влияния погрешностей измерений на точность восстановления показано, что по отношению к ошибкам в рефракции за-

дача сохраняет свою хоровую обусловленность, тогда как погрешность в $n(\theta_0)$ приводит к систематическому сдвигу восстановления на величину погрешности (вид решения аналогичен пунктирным линиям на рисунке при



справа - исходные профили (сплошная; и восстановление, слева - измеряемая величина $\varepsilon_-(\rho) - \varepsilon_+(\rho)$ в зависимости от угла места θ_0 .

Приведенные численные эксперименты показывают, что наибольшая ошибка при восстановлении вертикальных профилей и при наличии приподнятых волноводов возникает на высотах, соответствующих волноводу, и может быть уменьшена за счет определения $n(\rho_0)$. Неизбежное сглаживание "бесконечных" значений рефракции за счет конечной длины волновода или дифракции не вносит существенных изменений в результат восстановления ниже волновода.

Литература

1. Гурвич А.С., Кан В., Попов Л.И., Рюмин В.Б., Савченко С.А., Соколовский С.Б. Восстановление профиля температуры в атмосфере по киносъемке Солнца и Луны с орбитальной станции "Салют-6", - ФАО, № 1, 1982.
2. Гайкович К.П., Гурвич Л.С., Наумов А.П. О восстановлении метеопараметров из внутриатмосферных измерений оптической рефракции космических источников. - ФАО, 1983, №7.
3. Lehn W.H. The Novaya Zemlya effect. J.O.S.A., 69. № 5, 776 - 781. 1979.