

УДК 551.501.7: 525.723

**ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ  
АТМОСФЕРЫ ПО РАДИО- И РАДИООПТИЧЕСКИМ  
ИЗМЕРЕНИЯМ РЕФРАКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ**

**Гайкович К.П.**

Исследованы возможности использования совместных измерений рефракции в оптическом и радиодиапазонах, а также рефракции только в радиодиапазоне для восстановления различных метеопараметров, включая влажность. С помощью численного эксперимента исследовано влияние ошибок измерения на точность восстановления влажности, давления, температуры и показателя преломления, что позволило сформулировать требования к условиям эксперимента. Рассмотрены варианты как внутриатмосферного, так и космического экспериментов.

В настоящее время большое внимание<sup>1</sup> уделяется возможностям дистанционного определения метеопараметров атмосферы с помощью измерений рефракции излучения космических источников в атмосфере Земли. В работах [1—4] рассмотрены различные аспекты постановки и решения обратных рефрактометрических задач как для космических, так и для внутриатмосферных наблюдений в оптическом диапазоне. Было установлено, что для сферически-слоистой атмосферы задача восстановления высотного профиля показателя преломления является хорошо обусловленной в интервале высот ниже уровня наблюдателя,— при этом показатель преломления связан с рефракцией обратным преобразованием Абеля. Определение показателя преломления выше уровня наблюдателя является некорректной обратной задачей, поскольку измеряемая и восстанавливаемая величины связаны интегральным уравнением, сводящимся к уравнению Фредгольма 1 рода [3].

В указанных выше работах рассматривалась рефракция в оптическом диапазоне, где показатель преломления пропорционален плотности воздуха. С помощью барометрической формулы оказалось возможным восстановить профили давления и температуры, наблюдая заходы Солнца и Луны через земную атмосферу.

В радиодиапазоне показатель преломления зависит также и от влажности воздуха, поэтому в [2, 3] была высказана идея использования радиорефракции для определения содержания этой атмосферной компоненты. Измерения рефракции в радиодиапазоне отличаются от измерений в оптическом диапазоне рядом особенностей. Так, в радиодиапазоне (по крайней мере в окнах прозрачности) можно наблюдать радиоисточники во всем интервале углов места и даже при наличии облаков, тогда как в оптическом диапазоне, даже в ясную погоду, при достаточно малых углах места практически можно наблюдать лишь Солнце. Однако измерения в радиодиапазоне имеют свои трудности: сложнее приемная аппаратура, труднее достигнуть необходимого углового разрешения, а также сильнее сказываются дифракционные эффекты, связанные с неоднородностями атмосферы. Тем не менее, подобные измерения могут существенно дополнить и уточнить данные, получаемые в оптическом диапазоне.

### Внутриатмосферные совместные измерения радио-и оптической рефракции

По аналогии с [3], где рассмотрен оптический эксперимент, выберем высоту наблюдателя  $H=500$  м. Для анализа будем использовать модельные профили температуры и влажности весьма сложной структуры. Геометрия лучей для данного случая' представлена на рис. 1, а. Измеряемыми величинами здесь являются оптическая и радиорефракция  $\epsilon$  в

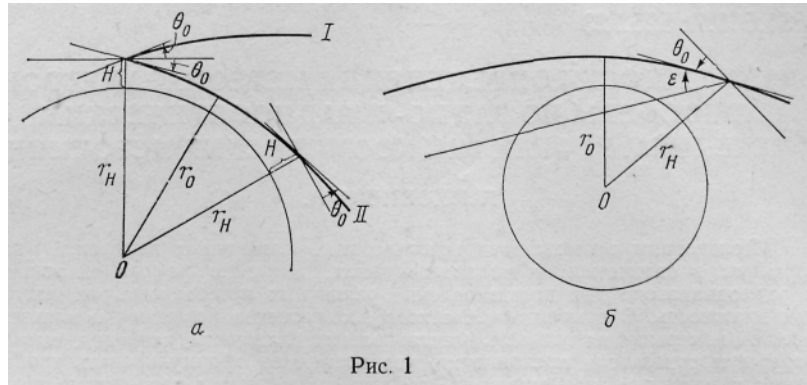


Рис. 1

зависимости от угла места  $\theta_0$ . Как показано в [3], взаимосвязь рефракции и показателя преломления с точностью до замены переменных выражается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \epsilon_+(\theta_0) &= - \int_{r_H}^{\infty} \frac{d \ln(n)}{dr} \frac{n_H r_H \cos \theta_0}{\sqrt{(nr)^2 - (n_H r_H \cos \theta_0)^2}} \quad (\text{луч } I), \\ \epsilon_-(\theta_0) &= - \int_{r_H}^{\infty} \frac{d(\ln n)}{dr} \frac{n_H r_H \cos \theta_0}{\sqrt{(nr)^2 - (n_H r_H \cos \theta_0)^2}} - \\ &\quad - 2 \int_{r_0}^{r_H} \frac{d \ln(n)}{dr} \frac{n_0 r_0 dr}{\sqrt{(nr)^2 - (n_0 r_0)^2}} \quad (\text{луч } II), \\ n_0 r_0 &= n_H r_H \cos \theta_0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $n(r)$  — показатель преломления,  $n_a = n(r_0)$ ,  $n_n = n(r_n)$ . Формула обращения

$$n(\theta(r)) = n_H \exp \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\theta} \frac{\epsilon_-(\theta_0) - \epsilon_+(\theta)}{\sqrt{\cos^2 \theta_0 - \cos^2 \theta}} \sin \theta_0 d \theta_0 \right], \quad (2)$$

а переход от  $n(\theta)$  к  $n(r)$  определяется соотношением  $\cos \theta = nr/n_H r_H$ . Решение обратной задачи (2) позволяет получить высотный профиль показателей преломления как в оптическом, так и в радиодиапазоне в интервале высот от 0 до  $H$  по измерениям рефракции космического источника (например, Солнца). Как известно, приведенные показатели преломления  $N=10^6(n-1)$  для оптического и радиодиапазонов с достаточно высокой точностью имеют

$$N_{\text{opt}} = k_1 \frac{P}{T} + k_2 \frac{E}{T}, \quad (3a)$$

$$N_R = k_1 \frac{P}{T} + k_2 \frac{E}{T} + k_3 \frac{E}{T^2}, \quad (3б)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  — постоянные,  $P$  — давление,  $E$  — парциальное давление паров  $H_2O$ ;  $T$  — абсолютная температура. С учетом влияния влажности изменение давления с высотой описывается формулой

$$\frac{dP}{dh} = - \frac{g}{R_B \left( 1 + 0,378 \frac{E}{P} \right)} \frac{P}{T}, \quad (4)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения, а  $R_B$  — газовая постоянная сухого воздуха. Учитывая, что вклад влажности в (4) весьма мал, а также малость второго слагаемого в (3а), можно определить давление из выражения

$$\frac{dP}{dh} = - \text{const } N_{\text{opt}}(h). \quad (5)$$

Тогда высотное распределение температуры получается из очевидной формулы:

$$T(h) = k_1 \frac{P(h)}{N_{\text{opt}}(h)}. \quad (6)$$

Используя эти данные, находим распределение влажности

$$E(h) = \frac{N_R(h) - N_{\text{opt}}(h)}{k_3} T^2(h). \quad (7)$$

Полученное таким образом  $E(h)$  можно использовать в итерационной процедуре для уточнения решения путем подстановки этой величины в выражения для  $N_{\text{opt}}$  и  $dP/dh$ .

По описанному выше методу были выполнены численные эксперименты для заданных модельных профилей  $T(h)$  и  $E(h)$  (из (4) сразу получается  $P(h)$ ). Расчеты выполнялись по замкнутой схеме, в которой рефракция, вычисленная для модельных профилей, использовалась для их восстановления по формулам (2) — (7). При этом восстановленные профили  $E$ ,  $T$  и  $P$  с высокой точностью совпадали с исходными. Чтобы исследовать влияние погрешностей измерения на точность решения, на вычисленные значения «набрасывалась» случайная погрешность с помощью датчика случайных чисел и вычислялись соответствующие ошибки восстановленных метеопараметров. Оказалось, что погрешности восстановления показателя преломления пропорциональны относительной погрешности измерений рефракции, которая моделировалась путем набрасывания некоррелированной, нормально распределенной случайной ошибки с нулевым средним и стандартным отклонением, пропорциональным величине  $\varepsilon$

$$\delta N_{\text{opt}} = 1,2 \delta \varepsilon_{\text{opt}} / \varepsilon_{\text{opt}}, \quad \delta N_R = 2,6 \delta \varepsilon_R / \varepsilon_R.$$

На рис.2 приведены модельные профили  $E$  и  $T$ , соответствующие значения величины  $\varepsilon_-(9)$ — $\varepsilon_+(9)$  для оптической и радиорефракции, а также восстановленные профили температуры и влажности при моделируемых ошибках измерений  $\delta \varepsilon_{\text{opt}} = 1\%$  от самой величины  $\varepsilon_{\text{opt}}$ , а  $\delta \varepsilon_R = 10\%$ . При высоте наблюдателя 500 м масштаб изменения положения источника по углу места  $\Delta \theta_0 = 1,2 \cdot 10^{-2}$  рад. Дискретизация по углу места составляла  $\Delta \theta_0 \sim 2 \cdot 10^{-4}$  рад, что соответствует восстановлению профилей  $E$  и  $T$  в 50 точках по высоте (примерно через 10 м). Из рис. 2 видно, что величина  $\varepsilon_-(\theta_0)$ — $\varepsilon_+(\theta_0) \sim 2 \div 6 \cdot 10^{-3}$  рад; таким образом, абсолютная величина «набрасываемой» погрешности в данном примере составляет  $\delta \varepsilon_{\text{opt}} \sim 3 \cdot 10^{-5}$  рад,  $\delta \varepsilon_R \sim 3 \cdot 10^{-4}$  рад. Исследовалось также влияние систематической погрешности измерений на определение метеопараметров, величина которой принималась равной  $\delta \varepsilon_{\text{opt}} = 3 \cdot 10^{-5}$  рад,  $\delta \varepsilon_R = 3 \cdot 10^{-4}$  рад. Результаты восстановления приведены на рис.2 и в табл.1 (средние по высоте погрешности). Из приведенных данных вид-

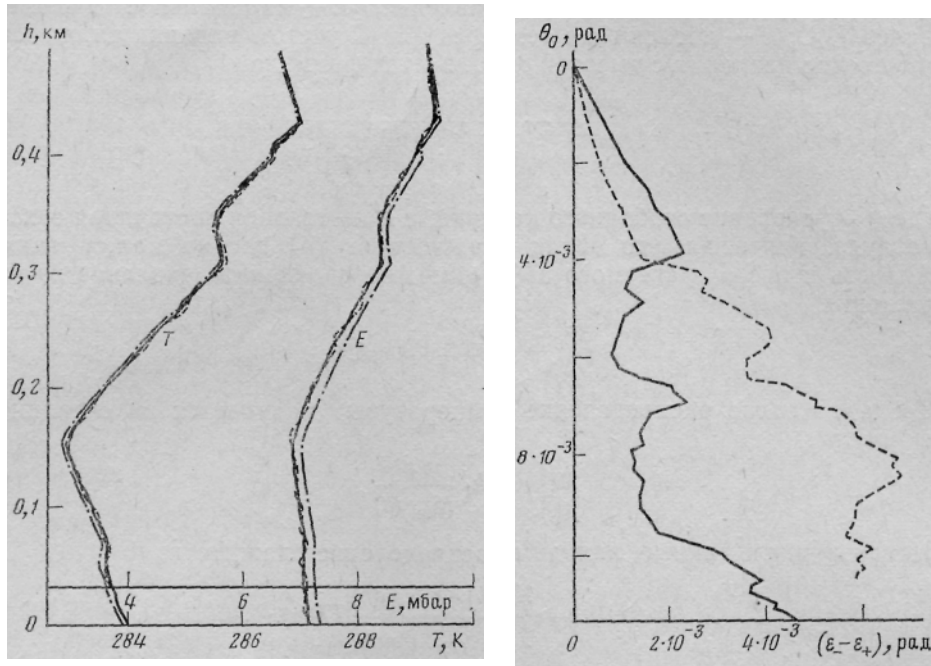


Рис. 2. Внутритатмосферный эксперимент. Слева: исходные профили температуры и влажности — сплошные линии; восстановленные профили при случайной погрешности измерения  $\delta\epsilon_{opt} = 1\%$ ,  $\delta\epsilon_R = 10\%$  — пунктир; восстановленные при систематической погрешности  $\delta\epsilon_{opt} = 3 \cdot 10^{-5}$  рад,  $\delta\epsilon_R = 3 \cdot 10^{-4}$  рад — штрих-пунктир. Справа: измеряемые величины  $(\epsilon_- - \epsilon_+)$ , соответствующие исходным профилям метеопараметров (в радиодиапазоне — сплошная, в оптическом — пунктир)

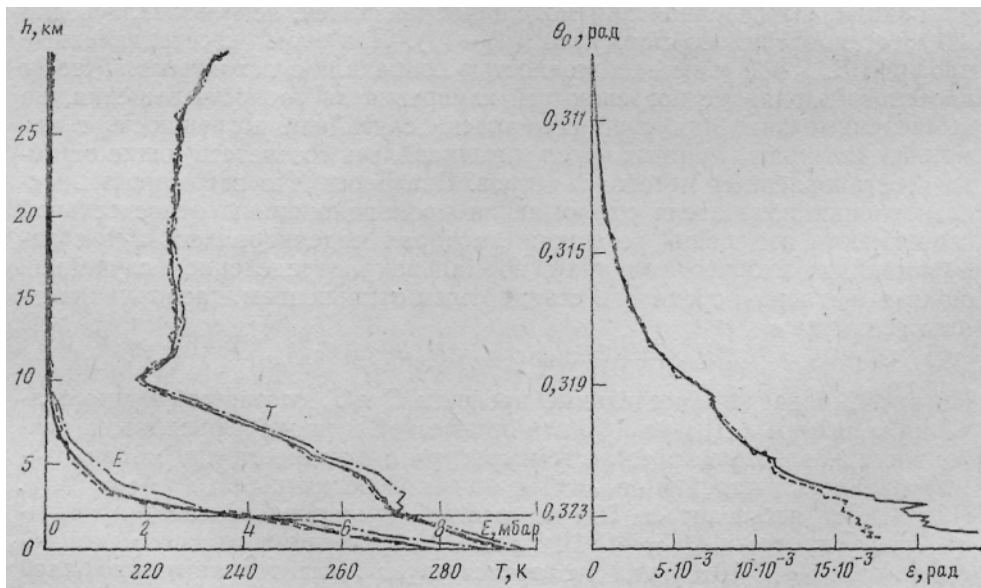


Рис. 3. Космический эксперимент. Слева: исходные профили метеопараметров — сплошные линии; профили, восстановленные из измерений оптической и радиорефракции — пунктир; профили, восстановленные по измерениям одной радиорефракции — штрих-пунктир. Справа: измеряемая рефракция (в радиодиапазоне — сплошная, в оптическом — пунктир). Моделируемая погрешность  $\delta\epsilon_{opt} = 1\%$ ,  $\delta\epsilon_R = 1\%$

но, что точность восстановления для случайной погрешности выше, чем для сравнимой с ней систематической погрешности, что объясняется сглаживанием ошибки в (2) и подчеркивает хорошую обусловленность решения. Это подтверждает теоретический результат [2], который предсказывает уменьшение ошибки определения показателя преломления при уменьшении радиуса корреляции погрешности измерений. Отметим, что погрешность восстановления для систематической ошибки возрастает вниз от наблюдателя. Полученные оценки показывают, что высокая точность метода и сравнительно мягкие требования к точности измерения рефракции (табл. 1) в принципе позволяют использовать его для изучения тонкой структуры метеопараметров. Необходимо отметить, что мелкие вертикальные неоднородности могут вызывать дифракционное размывание источника в радиодиапазоне. Так, в нашем случае при  $\lambda = 3$  мм вертикальное разрешение ограничено масштабом  $\sim 15$  м (размер 1 зоны Френеля  $\sim \sqrt{\lambda L}$  где  $L$  — длина пути луча). Проведение экспериментов осложняет то обстоятельство, что чаще всего для влажности условия сферической симметрии выполняются на меньших масштабах, чем для давлений и температуры. Описанный метод дает также возможность изучать поперечные неоднородности влажности и показателя преломления в радиодиапазоне.

#### Радиооптические измерения рефракции из космоса

Геометрия этой задачи несколько отличается от рассмотренного выше случая и представлена на рис.1,б. Взаимосвязь рефракции и высотного профиля показателя преломления в этом случае несколько проще, и выражения (1), (2) сводятся к соотношениям (аналогичным, с точностью до замены переменных, использованным в [1, 2]):

$$\varepsilon(\theta_0) = -2n_0 r_0 \int_{r_0}^{\infty} \frac{d(\ln n)}{dr} \frac{dr}{\sqrt{(nr)^2 - (n_0 r_0)^2}}, \quad r_H \cos \theta_0 = n_0 r_0, \quad (8)$$

$$n(\theta(r)) = \exp \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\theta} \frac{\varepsilon(\theta_0) \sin \theta_0 d\theta_0}{\sqrt{\cos^2 \theta_0 - \cos^2 \theta}} \right], \quad r_H \cos \theta = r n(r).$$

Для моделирования эксперимента были использованы метеозондовые данные. Аналогично работам [1, 2, 4], где был рассмотрен оптический эксперимент из космоса, высота  $H$  принималась равной 350 км. Начиная с углов, для которых погрешность измерения  $\delta\varepsilon$  сопоставима с естественными вариациями  $\varepsilon$ , в (9) вместо  $\varepsilon(\theta)$ , должно подставляться  $\langle \varepsilon(\theta_0) \rangle$ , рассчитанное для среднего профиля  $\langle n(h) \rangle$ . Масштаб изменения видимого угла источника  $\theta_0$  в атмосфере составляет  $\Delta\theta_0 \sim 10^{-2}$  рад. Дискретизация по видимому углу в рассмотренном численном эксперименте  $\delta\theta$  рад соответствует дискретизации по высоте для восстанавливаемых профилей  $\delta \sim 350$  м. На рис. 3 представлены профили метеопараметров, выбранные из метеозондовых данных для летнего дня центральной части ЕТ СССР, и соответствующие значения рефракции в оптическом и радиодиапазонах с результатами восстановления при моделируемой случайной ошибке измерений  $\delta\varepsilon_{\text{opt}} = \delta\varepsilon_{\text{я}} = 1\%$ . Это соответствует (рис.3) погрешности измерения  $\delta\varepsilon \sim 10^{-4}$  рад в слое  $h < 10$  км. Погрешности восстановления метеоэлементов составили:  $\delta T = 0,47$  К,  $\delta P = 0,5$  мбар (средние по высоте),  $\delta E = 0,1$  мбар (средняя по высоте до 7 км). Относительные погрешности определения показателя преломления пропорциональны относительным ошибкам измерения

$$\delta N_{\text{opt}}/N_{\text{opt}} = 0,23 \delta\varepsilon_{\text{opt}}/\varepsilon_{\text{opt}}, \quad \varepsilon N_{\text{R}}/N_{\text{R}} = 0,26 \delta\varepsilon_{\text{R}}/\varepsilon_{\text{R}}.$$

Таблица 1

$\delta\varepsilon_{\text{opt}}$	$\delta\varepsilon_R$	$\delta N_{\text{opt}}$	$\delta N_R$	$\delta E, \text{мбар}$	$\delta T, \text{К}$	$\delta P, \text{мбар}$
1% $3 \cdot 10^{-5}$	10% $3 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$ $6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$ $7,5 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$ $1,4 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$ $7 \cdot 10^{-2}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$ $5 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2

$H, \text{км}$	Океан				Континент (лето)			
	$\langle E \rangle, \text{мбар}$	$\delta E, \text{мбар}$	$\delta N_{\text{opt}}$	$\sigma_T$	$\langle E \rangle$	$\delta E$	$\delta N_{\text{opt}}$	$\delta T$
0	27,2	0,8	2,9	2,5	14,1	1,3	4,7	6,0
2	12,0	0,4	1,5	2,0	7,3	0,7	3,2	5,4
4	5,1	0,2	0,8	1,4	2,6	0,4	1,7	4,0
6	2,1	0,2	0,7	1,7	0,8	0,2	1,3	4,0
8	0,6	0,2	1,0	2,4	0,2	0,2	1,2	4,1

Таблица 3

Показатели	Пренебрегая влажностью в (10), (11)			Учитывая $\langle E(h) \rangle$		
	океан	лето	зима	океан	лето	зима
$\delta P < 1 \text{ мбар}$	выше 10 км	8,5	6	9	8	5,5
$\delta T < 1 \text{ К}$	1,1	9,5	7	10	9	6,5

При  $\delta\varepsilon_R=5\%$  имеем  $\delta E=0,25$  мбар (средняя по высоте до 3 км, где  $E = 1,5$  мбар). В настоящее время существуют необходимые технические средства и методы измерения радиорефракции, например, по доплеровскому сдвигу частоты из-за влияния атмосферы [6]. Это позволяет заменить угловые измерения измерениями частоты и использовать небольшие антенны. Вертикальное разрешение ограничено масштабом 1 зоны Френеля ( $\sim 70$  м при  $\lambda = 3$  мм).

Проведенное выше рассмотрение показывает, что совместные радиооптические измерения рефракции из космоса позволяют получать восстановленные профили метеопараметров с высокой точностью и разрешением по высоте. Горизонтальное осреднение вдоль луча на масштабах порядка сотен километров, являясь ограничением метода, тем не менее удовлетворяет требованиям численного прогноза погоды. Отметим, что из-за облачности или замутненности атмосферы далеко не всегда возможны оптические измерения для углов, близких к горизонту и, следовательно, определение метеопараметров на соответствующих высотах. В связи с этим исследованы возможности восстановления метеопараметров атмосферы только по измерениям радиорефракции, на которую отмеченные факторы не влияют.

### Использование измерений радиорефракции для восстановления метеопараметров тропосферы

В предыдущем разделе показано, что, измеряя из космоса радиорефракцию излучения в атмосфере, мы можем определить из (8) показатель преломления в радиодиапазоне  $N_R(h)$  с погрешностью  $\delta N_R/N_R \sim 0,36\delta\varepsilon_R/\varepsilon_R$ , которая пропорциональна погрешности измерений. Как видно из (3), высотное распределение  $N_R(h)$  зависит от всех метеопараметров: температуры, давления, влажности. Очевидно, зная только  $N_R(h)$ , нельзя получить формальное решение для определения этих характеристик. Тем не менее, их вклад в показатель преломления не одинаков как

по высоте, так и в разных метеорологических условиях, что открывает ряд возможностей в решении проблемы. В частности, в нижних слоях атмосферы велик вклад влажности в  $N_R$ . Считая, что  $N_R$  может быть определено с достаточной точностью, определим влажность из (3), используя среднеклиматические значения  $\langle N_{opt} \rangle$  и  $\langle T \rangle$

$$E(h) = \frac{N_R - \langle N_{opt} \rangle}{k_3} \langle T \rangle^2. \quad (9)$$

Тогда среднеквадратичная погрешность определения влажности  $\delta E$  будет определяться естественными климатическими вариациями оптического показателя преломления  $\delta N_{opt}$  и температуры  $\sigma_T$ .

Точность определения  $E$  исследовалась для метеорологических ансамблей (~100 реализаций в каждом), соответствующих различным климатическим условиям: а) тропическая зона океана, б) центральная часть ЕТ СССР, лето, в) центральная часть ЕТ СССР, зима.

В табл. 2 приведены средние значения влажности ( $E$ ), среднеквадратичные погрешности определения  $E$  по формуле (9) и вариации  $N_{opt}$  и  $T$ . Из результатов, представленных в табл. 2, видно, что относительная точность определения влажности зависит от климатических условий и высоты. В океанических условиях влажность определяется довольно точно до высот ~8 км, в летних континентальных условиях — до высот ~6 км. В зимних континентальных условиях среднее значение влажности очень невелико даже в приземном слое ( $\langle E \rangle \sim 2,5$  мбар), поэтому погрешность определения влажности по формуле (9) становится сравнимой с естественными вариациями. В этом случае использование радиорефракции для определения влажности будет неинформативным. Следует также отметить, что в некоторых случаях (например, в тропических циклонах) отклонения метеопараметров значительно превышают среднеклиматические вариации. Тогда погрешность определения влажности может возрасти, но, как видно из табл. 2, и в этом случае точность определения  $E$  будет все еще достаточно высока, тем более что и вариации влажности в таких ситуациях намного превышают свои средние значения.

Выше некоторых высот вклад влажности в показатель преломления в радиодиапазоне становится достаточно малым, чтобы с хорошей точностью определять профили давления и температуры по радиорефракции. Этот уровень можно несколько понизить, если учитывать среднеклиматическое распределение влажности  $\langle E(h) \rangle$ . При этом давление определяется из формулы

$$P(h) = \frac{g}{R_B k_1} \int_h^\infty \left( N_R - k_3 \frac{\langle E \rangle}{\langle T^2 \rangle} \right) dh'. \quad (10)$$

Полагая для оценки  $\langle E(h') \rangle = \langle E(h) \rangle \exp[-\alpha(h'-h)]$ , можно легко оценить вклад второго члена под интегралом в (10), учитывая, что  $P$  слабо зависит от высоты. Это дает погрешность определения давления в случае, когда влажность не учитывается. В частности,  $\delta P \sim 1$  мбар выше уровня, на котором  $\langle E \rangle \sim 0,1$  мбар. Профиль температуры можно определить из (3), пренебрегая вторым слагаемым

$$T(h) = \frac{k_1 P}{N_R} + k_3 \frac{\langle E \rangle}{\langle T \rangle N_R}, \quad (11)$$

предварительно определив  $P(h)$  из (10).

В табл. 3 приведены высоты, начиная с которых погрешность определения давления меньше 1 мбар, а температуры — меньше 1 К для описанных выше ансамблей метеоданных. Для высот, выше приведенных в табл. 3, возможно восстановление профилей давления и темпера-

туры по радиорефракции так же, как и по оптической. Из табл. 3 видно, что учет 'Среднего профиля  $E$  не намного позволяет снизить границу точного восстановления  $P$  и  $T$  из-за очень быстрого роста влажности с уменьшением высоты ( $\alpha$  в экспоненте  $\sim 0,3$ ). Как видно из табл. 1 и 2, существует некоторый интервал высот, где вклады метеопараметров в  $N_R$  не разделяются с необходимой точностью.

Отметим, что для уточнения результатов можно в принципе использовать наличие высотных автокорреляционных связей метеопараметров, используя в (9) — (11) вместо средних профилей экстраполированные от областей, где метеопараметры определяются по радиорефракции достаточно точно ( $E$  — снизу,  $T$  и  $N_{\text{от}}$  — сверху). Однако погрешности восстановления при этом уменьшаются незначительно (на 10—30%).

Приведенные выше оценки подтверждаются результатами численных экспериментов при использовании метеозондовых данных в различных указанных выше климатических условиях. Пример восстановления с использованием информации о средних распределениях приведен на рис. 3. При этом точность измерения  $\epsilon$  задавалась, как и выше,  $\delta\epsilon_R = 1\%$ , что приводит в нижних слоях к  $\delta N_R \sim 0,5$ . Погрешность определения влажности в приземном слое  $\delta E = 1,1$  мбар, средние по высоте  $\delta T = 1,7$  К,  $\delta P = 4,8$  мбар, выше высоты 8 км  $\delta P < 1$  мбар,  $\delta T < 1$  К.

Задачами дальнейшего исследования являются вопросы влияния возможных отклонений от сферической симметрии в распределении метеопараметров на точность решения обратной задачи, исследование ситуаций волноводного распространения, а также возможности совместного использования рефракционных и других дистанционных методов.

Автор признателен А. С. Гурвичу за обсуждение полученных результатов и А. П. Наумову за полезные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гурвич А. С., Кан В., Попов Л. И., Рюмин В. В., Савченко С. А., Соколовский С. В. Восстановление профиля температуры в атмосфере по кино съемке Солнца и Луны с орбитальной станции «Салют-6». — Изв. АН СССР. ФАО, 1982, т. 18, № 1, с. 3—7.
2. Гречко Г. М., Гурвич А. С., Обухов А. М., Попов Л. И., Рюмин В. В., Савченко С. А. Использование рефрактометрической информации при зондировании атмосферы из космоса. Препринт № 13 (материалы семинара «Атмосфера — океан — космос» под руководством акад. Г. И. Марчука). М.: ВИНТИ, 1981.
3. Гайкович К. П., Гурвич А. С., Наумов А. П. К определению метеопараметров из внутриатмосферных измерений оптической рефракции космических источников. — Изв. АН СССР. ФАО, 1983, т. 19, № 7, с. 675—687.
4. Гайкович К. П., Наумов А. П. Моделирование и статистическое исследование рефрактометрического метода определения метеопараметров из космоса. — Исследование Земли из Космоса, 1983, № 4, с. 25—32.
5. Колосов М. А., Шабельников А. В. Рефракция электромагнитных волн в атмосферах Земли, Венеры и Марса. М.: Сов. радио, 1976. 219 с.
6. Яковлев О. И. Распространение радиоволн в Солнечной системе. М.: Сов. радио, 1974.

Горьковский научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
20.1.1983,  
после  
доработки  
5.V.1983

#### THE POSSIBILITY OF ATMOSPHERE PARAMETERS DETERMINATION FROM RADIO AND RADIO-OPTICAL REFRACTION MEASUREMENTS OF SPACE SOURCES

GAIKOVICH K. P.

The possibilities of atmosphere parameters retrieval including humidity are investigated from simultaneous radio-optical refraction measurements and from radio refraction measurement only. By numerical modeling of the experiment, the influence is studied of the measurement errors upon retrieval errors of the humidity, temperature, pressure and refraction index. Taking this influence into account the possible conditions of the observational experiments are formulated. Both space and infra-atmosphere experiments are considered.