

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

Препринт № 121

**К ИНТЕРПРЕТАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВЕНЕРЫ**

**А.Г. Кисляков
А.П. Наумов
М.Б. Зиничева
Н.Н. Маркина**

г. Горький

А н н о т а ц и я

Выполнены исследования особенностей формирования радиоизлучения Венеры и возможностей использования приближения полубесконечной атмосферы для количественного описания радиоизлучения этой планеты, а также анализ влияния химического состава атмосферы на характеристики распространения радиоволн. Показано, что расчеты спектрального радиоизлучения Венеры в приближении полубесконечной атмосферы могут быть использованы для калибровки радиотелескопов в интервале длин волн $0,3 \text{ см} < \lambda < 1,5 \text{ см}$.

Рассмотрены возможности определения высотного распределения давления P из радиоастрономических данных и полученные результаты сравниваются с результатами прямых измерений $P(T)$

В настоящее время достигнут значительный прогресс в исследованиях физических условий на планете Венера [1, 2]. Как известно, эти исследования ведутся комплексными методами — дистанционно (в частности, радиометрическими методами) и с помощью космических аппаратов. При этом космические и дистанционные методы взаимно дополняют друг друга. Естественно, что полезная информация о физических условиях получается дистанционными методами при рассмотрении достаточно адекватных моделей планеты.

Цель данной работы ⁺⁾ заключается в исследовании:

- особенностей формирования радиоизлучения Венеры,
- возможностей использования некоторых простых приближений (например, приближения полубесконечной атмосферы) для количественного описания радиоизлучения,
- более детального влияния химического состава атмосферы Венеры на характеристики распространения радиоволн и на интегральное радиоизлучение,
- возможностей практического использования спектра радиоизлучения Венеры для калибровки радиотелескопов в определенном диапазоне волн,
- возможностей определения высотного распределения давления из радиоастрономических данных.

В работе:

1. Вычислены значения яркостной температуры Вене-

⁺⁾ Материалы работы частично докладывались на X Всесоюзной конференции по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы, г. Иркутск, 10–13 октября 1977 г. [3].

ры в диапазоне $\lambda \approx 0,2 + 10$ см для ряда моделей атмосферы, отличающихся химическим составом. Расчеты выполнялись по формуле, следующей непосредственно из решения уравнения переноса излучения [2]⁺:

$$\bar{T}_{\text{яф}} = T_0 \gamma(\epsilon, \tau_m) + 2 \int_0^1 \int_0^{\tau_m} T(\tau) e^{-\tau/\mu} d\tau d\mu, \quad (1)$$

и по формуле, полученной в приближении полубесконечной атмосферы [4]:

$$\bar{T}'_{\text{яф}} = \frac{3}{2} \int_0^{\tau_m} T(\tau) e^{-\frac{3}{2}\tau} d\tau. \quad (2)$$

В (1), (2) γ - усредненная по видимому диску излучательная способность поверхности планеты с учетом ослабления атмосферой, T_0 и ϵ - соответственно температура и диэлектрическая проницаемость поверхности, $\mu = \cos\theta$, θ - сферическая координата на поверхности планеты, τ_m - оптическая толщина атмосферы

$$\tau(h) = \int_h^{\infty} \gamma_{\lambda}(h) dh, \quad \tau_m = \tau(h=0) -$$

- полная оптическая толщина атмосферы, γ_{λ} - коэффициент поглощения на длине волны λ , h - высота.

В качестве высотных распределений давления и температуры в атмосфере Венеры использовались результаты измерений АМС "Венера" на высотах $h = 55$ км и модельная зависимость $P(h)$, $T(h)$ при $h > 55$ км, согласно [2].

⁺ Отраженное поверхностью излучение атмосферы (см., например, формулу Ш.11 в [2]) является малым для твердых поверхностей (составляет доли градуса) и поэтому эта часть излучения не учитывается в формуле (1).

ответствующих высотам 10 км, 20 км, ..., отсчитываемым от поверхности планеты ($h = 0$ км), и получены характеристические высоты H суммарного коэффициента поглощения γ_λ для различного химического состава с помощью алгоритма:

$$\text{Min} \sum_h [\gamma_\lambda(h) - \gamma_\lambda(0) e^{-h/H}]^2. \quad (3)$$

Через $\bar{T}_{\text{яф}}^A(\tau_m)$ обозначено второе слагаемое формулы (1).

3. Определены эффективные уровни выхода τ_λ^* радиоизлучения Венеры из условия $T(\tau_\lambda^*) = \bar{T}_{\text{яф}}^{\text{эксп}}(\lambda)$, при этом использовались значения яркостных температур планеты, приведенные в табл. 2. Оценки для этого раздела работы выполнялись в диапазоне $\lambda \approx 1,5$ см, т. е. в спектральной области, в которой уходящее радиоизлучение определяется излучением атмосферы планеты. Часть использованных значений $\bar{T}_{\text{яф}}^{\text{эксп}}$ получена одним из авторов (А.Г.Кисляковым) и опубликована в ряде работ, другая часть принятых значений $\bar{T}_{\text{яф}}^{\text{эксп}}$ соответствует значениям, усредненным по ряду измерений других авторов (см. перечень экспериментальных сведений в табл. 1).

4. Полученные значения τ_λ^* использовались для оценки зависимости давления P в атмосфере Венеры от температуры T (высоты h) из соотношения

$$\gamma_\lambda(P, T = \bar{T}_{\text{яф}}^{\text{эксп}}) = \tau_\lambda^* / H. \quad (4)$$

Радиоастрономические оценки P сравнивались с первоначально использованными в расчетах значениями P (по измерениям АМС "Венера") и, таким образом, определялась точность радиоастрономических оценок. Ошибки соответствующих оценок обусловлены как погрешностями измерений $\bar{T}_{\text{яф}}$, так и методическими погрешностями выполненной обработки данных.

Аналогичные оценки давления P из радиоастрономических данных выполнились также в [4]. Наши расчеты отличаются от расчетов [4] следующими положениями:

а) в [4] коэффициент поглощения $\gamma_{в.п}$ водяного пара описывался полуэмпирической формулой, полученной в [5], которая не содержит резонансов поглощения H_2O и дает заниженные значения $\gamma_{в.п}$ вне резонансов; в данной работе поглощение водяного пара описывалось с помощью квантово-механического выражения, которое уже использовалось в литературе для интерпретации радиоспектра планеты (см. [8])⁺;

б) в [4] в качестве H использовалась высота однородной атмосферы вместо (необходимой по смыслу) характеристической высоты коэффициента поглощения;

в) в [4] эффективное значение оптической толщины $\tau_{эфф}$ не определялось предварительно из модельных расчетов, а использовалось постоянное значение, равное $2/3$; в данной работе в качестве $\tau_{эфф}$ использовались значения τ_{λ}^* (см. разд. 3).

Получены следующие результаты:

1. В области $0,3 \text{ см} \approx \lambda \approx 1,5 \text{ см}$ разница в значениях $\bar{T}_{яф}$ и $\bar{T}'_{яф}$, вычисляемых по формулам (1), (2), не превышает $5 \rightarrow 7 \text{ К}$, т.е. точность приближения полубесконечной атмосферы в указанном диапазоне волн не хуже $\sim 1 \rightarrow 1,5\%$ (см. табл. 3).

2. Относительный вклад различных слоев атмосферы в атмосферное радиоизлучение планеты для одной из моделей иллюстрируется результатами табл. 4. Из таблицы видно возрастание толщины слоев Δh , дающих основной вклад в атмосферное радиоизлучение с увеличением длины волны. Монотонный характер этого возрастания в рассматриваемом диапазоне нарушается только в области резонанса водяного пара, центрированного к $\lambda = 1,35 \text{ см}$.

⁺) Описание поглощательных свойств сухих газов атмосферы Венеры в данной работе и в [4] выполнялось, согласно [5].

3. Высотная зависимость коэффициента поглощения радиоволн в атмосфере Венеры для сухой и влажной моделей атмосферы на двух длинах волн представлена на рис. 1. Из рисунка видно, что высотная зависимость $\gamma_{\lambda}(h)$ в общем носит неэкспоненциальный характер. Однако в нижней и средней частях атмосферы зависимость $\gamma_{\lambda}(h)$ достаточно точно можно аппроксимировать экспоненциальной функцией $\gamma_{\lambda}(h) = \gamma_{\lambda}(h_0) e^{-(h-h_0)/H}$. При этом характеристическая высота H коэффициента поглощения для сухих моделей атмосферы Венеры составляет $\sim 13,5$ км; при содержании водяного пара $f_{H_2O} \sim 0,01$ для $\lambda \approx 2$ см $H = \text{const} = 11,6$ км, а для $\lambda > 2$ см величина H зависит от длины волны и, например, при $\lambda = 5$ см $H = 12,8$ км.

4. Значения τ_{λ}^* зависят от химического состава атмосферы и изменяются также по диапазону. Изменения τ_{λ}^* по диапазону для сухих моделей атмосферы составляют $\sim 30 + 40\%$, а для влажных моделей соответствующие изменения увеличиваются. На рис. 2 измеренные значения яркостных температур Венеры в области $\lambda = 0,3 + 20$ см сравниваются с теоретическими значениями $\bar{T}_{я\phi}$, вычисленными для модели атмосферы с содержанием $f_{CO_2} = 0,97$; $f_{N_2} = 0,02$, $f_{H_2O} = 0,001$.

5. Радиоастрономические оценки зависимости $p(T)$ согласуются с результатами прямых космических измерений с погрешностью $\sim 0,1 + 0,3$ атм. на интервале высот $h = 30 + 50$ км (табл. 5).

Следует также отметить, что существующий экспериментальный радиоастрономический материал обладает все-таки весьма большим разбросом (порядка десятков градусов), и это обстоятельство вместе с некоторой неопределенностью в описании поглощательных свойств атмосферы Венеры, естественно, затрудняет проведение более точных оценок атмосферных параметров путем дистанционного зондирования. Однако при достижении более высоких точностей в радиоастрономических измерениях и в описании поглощательных свойств можно надеяться и на исследование временных вариаций метеопараметров атмосферы Венеры по использованной методике физического обращения задачи или с помо-

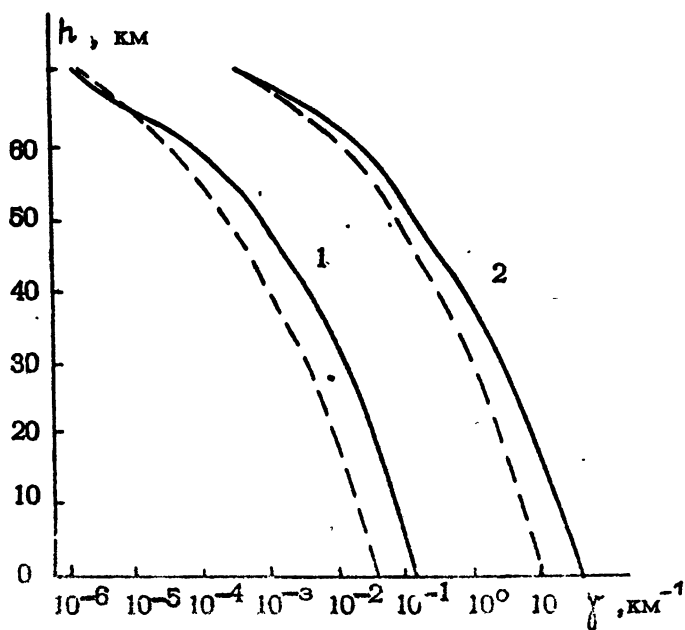


Рис. 1

Высотная зависимость коэффициента поглощения в атмосфере Венеры на длинах волн $\lambda = 5$ см (кривые 1), $\lambda = 0,3$ см (кривые 2): влажная модель атмосферы $f_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01$ ниже уровня насыщения — сплошные кривые; сухая модель атмосферы — пунктир.

шью более математизированных подходов к решению обратных задач, если соответствующие задачи возникнут. Проведенное оценочное рассмотрение свидетельствует об определенных перспективах получения такой оперативной информации.

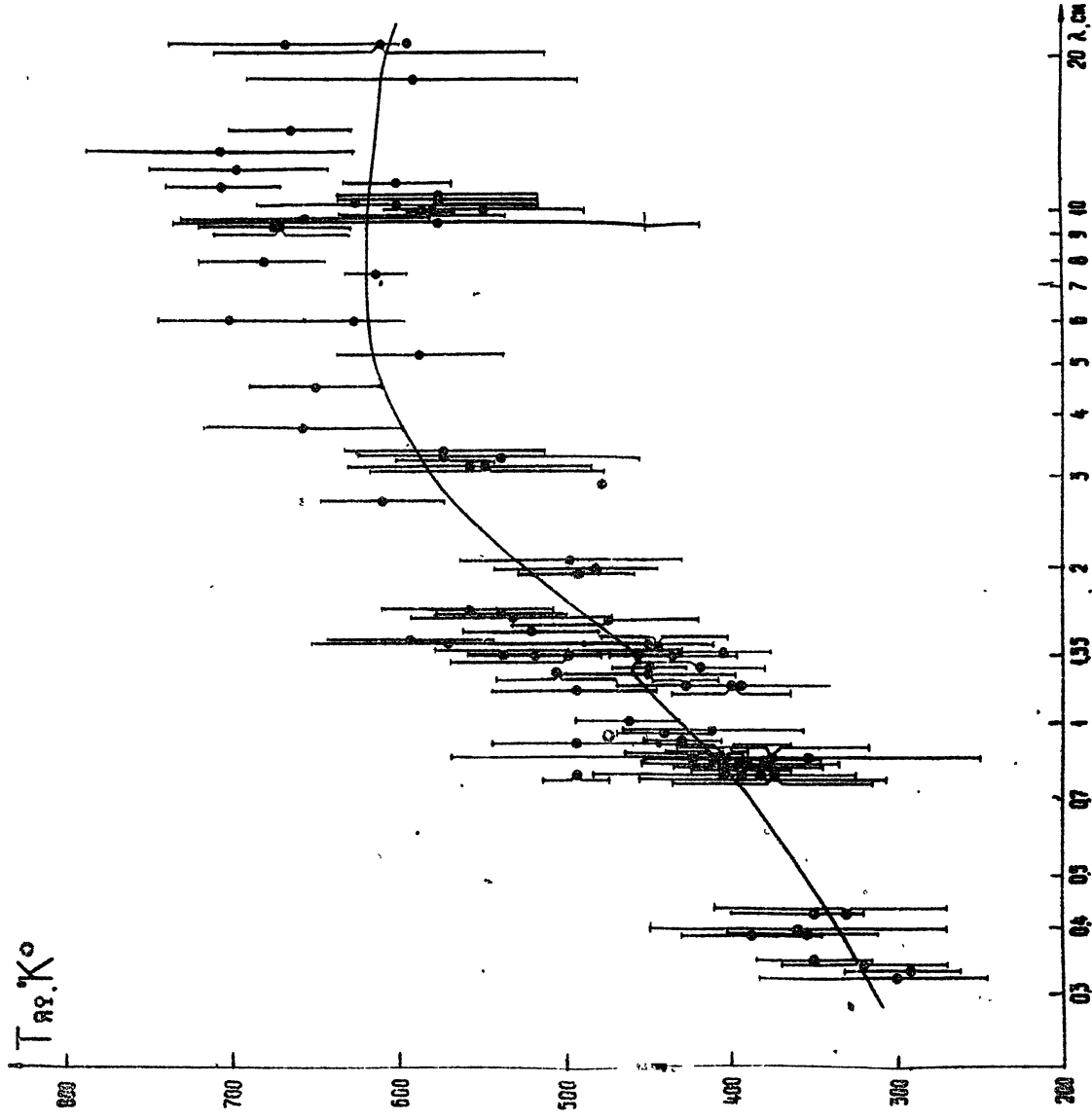
Полученные результаты свидетельствуют и о том, что расчеты спектрального радиоизлучения Венеры в приближении полубесконечной атмосферы могут быть использованы для калибровки радиотелескопов в интервале длин волн $0,3 < \lambda < 1,5$ см. В указанном диапазоне волн Венера, по-видимому, может служить эталоном радиоизлучения с точностью до нескольких процентов. Однако некоторые вопросы, связанные с радиоизлучением Венеры, остаются пока открытыми для исследования; например не до конца ясным представляется влияние фазовых эффектов на радиоизлучение планеты.

Результаты радиоастрономических измерений спектра
радиоизлучения Венеры^{*)}

№	λ , см	$\bar{T}_{я\varphi}$ °К	Лите- ратура	№	λ , см	$\bar{T}_{я\varphi}$ °К	Лите- ратура
1.	0,14	291 \pm 34	[7]	21.	0,835	390 \pm 45	[23]
2.	0,21	300 \pm 21	[8]	22.	0,85	380 \pm 72 -34	[24]
3.	0,225	285 \pm 40	[9]	23.	0,86	410 \pm 160	[25]
4.	0,31	386 \pm 33	[10]	24.	0,86	410 \pm 30 -20	[26]
5.	0,32	300 \pm 57 -27	[11]	25.	0,86	353	[27]
6.	0,33	292 \pm 40 -30	[12]	26.	0,86	375 \pm 58	[11]
7.	0,34	320 \pm 50	[13]	27.	0,86	423 \pm 42 -30	[28]
8.	0,35	350 \pm 35	[8]	28.	0,86	404 \pm 40	[29]
9.	0,387	387 \pm 50	[14]	29.	0,926	430 \pm 24	[30, 31]
10.	0,39	354 \pm 40	[15]	30.	0,955	441 \pm 30	[32]
11.	0,4	360 \pm 90	[16]	31.	0,97	412 \pm 55	[23]
12.	0,43	350 \pm 50 -30	[17]	32.	1,01	463 \pm 32	[30, 31]
13.	0,43	330 \pm 56 -36	[11]	33.	1,16	495 \pm 50	[23]
14.	0,8	405 \pm 80	[18]	34.	1,18	395 \pm 75 -55	[33]
15.	0,8	382 \pm 75	[18]	35.	1,18	428 \pm 20	[30, 31]
16.	0,8	394 \pm 30	[19]	36.	1,18	400 \pm 36	[34]
17.	0,8	495 \pm 20	[20]	37.	1,24	451 \pm 53	[23]
18.	0,8	378 \pm 60	[21]	38.	1,25	507 \pm 36	[35]
19.	0,82	428 \pm 70	[22]	39.	1,28	450 \pm 23	[30, 31]
20.	0,835	395 \pm 60	[23]	40.	1,28	418 \pm 38	[34]
				41.	1,31	470 \pm 40	[36]

^{*)} В [2] приведены результаты 47, а в [66]–87 измерений яркостных температур Венеры. В данной таблице представлены результаты 101 радиоастрономического измерения $\bar{T}_{я\varphi}$. Результаты [18, 19, 21–24, 36, 41, 43, 50, 54, 56, 57] были впоследствии скорректированы на параметры опорных (калибровочных) источников. Соответствующие скорректированные значения $\bar{T}_{я\varphi}$ приведены в таблице 5 монографии [2].

№	λ , см	$\bar{T}_{я\varphi}$, °К	Лите- ратура	№	λ , см	$\bar{T}_{я\varphi}$, °К	Лите- ратура
42.	1,35	520 \pm 40	[37]	75.	7,5	617 \pm 18	[41]
43.	1,35	435	[37]	76.	7,89	686 \pm 38	[41]
44.	1,35	540 \pm 40	[23]	77.	9,26	672 \pm 46	[41]
45.	1,35	500 \pm 70	[38]	78.	9,26	675 \pm 41	[41]
46.	1,35	436 \pm 39	[34]	79.	9,4	580 \pm 160	[46]
47.	1,35	457 \pm 26	[39]	80.	9,6	660 \pm 75	[53]
48.	1,37	404 \pm 28	[30, 31]	81.	10,0	553 \pm 60	[51]
49.	1,40	444 \pm 36	[35]	82.	10,0	590 \pm 50	[54]
50.	1,42	572 \pm 82	[31]	83.	10,0	584 \pm 50	[54]
51.	1,43	451 \pm 40	[34]	84.	10,2	605 \pm 85	[55]
52.	1,45	595 \pm 50	[23]	85.	10,3	620 \pm 30	[36]
53.	1,46	595 \pm 50	[38]	86.	10,6	580 \pm 60	[56]
54.	1,5	522 \pm 40	[35]	87.	10,7	580 \pm 60	[57]
55.	1,58	477 \pm 57	[34]	88.	11,1	710 \pm 35	[58]
56.	1,6	534 \pm 60	[19]	89.	11,3	605 \pm 33	[59]
57.	1,62	540 \pm 39	[35]	90.	12,0	701 \pm 54	[41]
58.	1,65	560 \pm 51	[23]	91.	13,0	712 \pm 80	[60]
59.	1,9	500 \pm 75	[40]	92.	14,3	670 \pm 37	[41]
60.	1,94	435 \pm 35	[41]	93.	18,0	596 \pm 100	[57]
61.	2,0	485 \pm 40	[42]	94.	21,0	600	[61]
62.	2,07	500 \pm 70	[43]	95.	21,0	674 \pm 70	[60]
63.	2,7	612 \pm 37	[44]	96.	21,0	616 \pm 100	[57]
64.	3,0	475	[45]	97.	21,3	590 \pm 30	[59, 62]
65.	3,15	560 \pm 73	[46]	98.	21,4	528 \pm 33	[63]
66.	3,15	550 \pm 70	[46]	99.	31,2	510 \pm 50	[59, 62]
67.	3,3	542 \pm 85	[47]	100.	49,3	498 \pm 33	[64]
68.	3,3	575 \pm 30	[19]	101.	70	523 \pm 28	[65]
69.	3,37	575 \pm 60	[48]				
70.	3,75	660 \pm 60	[49]				
71.	4,5	653 \pm 40	[50]				
72.	5,2	590 \pm 50	[51]				
73.	6,0	706 \pm 45	[41]				
74.	6,0	630 \pm 30	[52]				



○ Рис. 2

Сравнение экспериментальных значений яркостных температур Венеры в области $\lambda \approx 0,3 + 20$ см с теоретическими значениями $T_{яэ}$, вычисленными для модели атмосферы с содержанием $f_{CO_2} = 0,97$, $f_{N_2} = 0,02$, $f_{H_2O} = 0,001$.

Т а б л и ц а 2
 Значения яркостных температур $T_{\text{эксп}}(\lambda)$ Венеры, которые использовались
 для определения эффективных уровней выхода τ_{λ}^*

λ , см	0,21	0,3	0,39	0,8	1	1,25	1,35	1,4	1,5
$T_{\text{эксп}}^{\text{к}} \text{ , } T_{\text{я}}$	300	315	334	402	428	450	457	463	475

Таблица 3

Разность яркостных температур $\Delta T_{\text{я} \ominus} = |T_{\text{я} \ominus} - T_{\text{я} \oplus}|$ Венеры, вычисленная для ряда атмосферных моделей.

λ, см	$f_{\text{CO}_2} = 1$		$f_{\text{CO}_2} = 0,9$	$f_{\text{N}_2} = 0,1$	$f_{\text{CO}_2} = 0,97, f_{\text{N}_2} = 0,02, f_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01$	
	$T_{\text{я} \ominus}^{\circ\text{K}}$	$\Delta T_{\text{я} \ominus}^{\circ\text{K}}$	$T_{\text{я} \ominus}^{\circ\text{K}}$	$\Delta T_{\text{я} \ominus}^{\circ\text{K}}$	$T_{\text{я} \ominus}^{\circ\text{K}}$	$\Delta T_{\text{я} \ominus}^{\circ\text{K}}$
0,3	313,2	0,4	320,1	1,0	287,0	> 5
0,39	333,7	1,9	341,5	2,3	313,7	3,5
0,8	405,1	4,2	416,1	4,5	365,9	2,2
1	432,8	4,9	445,1	5,2	379,1	3,0
1,25	463,5	5,7	476,8	6,2	371,5	3,9
1,35	474,8	6,1	488,6	6,3	434,8	4,3
1,4	480,1	6,2	493,9	6,5	364,4	4,2
1,5	490,5	6,4	505,2	5,7	389,6	4,5

f_i — относительное объемное содержание i -ой газовой компоненты в атмосфере Венеры.

Относительный вклад (в процентах) различных слоев в атмосферное радиоизлучение планеты.

λ , см	Δh , км	30	40	50	60	70	80
0,21		7,7	79,4	100	-	-	-
0,3		9,6	58,1	97,8	100	-	-
0,39		2,0	96,1	90,2	99,9	100	-
0,8		0,4	10,3	47,2	93,4	99,9	100
1,0		0,3	8,1	39,3	85,4	99,7	100
1,25		0,4	16,6	44,1	78,5	98,4	100
1,35		7,2	31,8	59,0	79,2	97,7	100
1,4		1,1	23,0	46,7	75,6	97,0	99,9
1,5		0,2	12,1	36,8	68,9	95,1	99,9
3,0		0,03	0,8	6,0	25,6	57,8	88,7

Толщина слоя Δh отсчитывается от условной верхней границы атмосферы, расположенной на высоте $h \approx 80$ км от поверхности Венеры.

Т а б л и ц а 5

Сравнение значений давления в атмосфере Венеры на различных уровнях, полученных из радиоастрономических данных, с результатами прямых космических измерений

Р _{изм} (атм) +)	λ, см	Р (атм) из радиоастрономических данных					
		f _{CO₂} = 1	f _{CO₂} = 0,9 f _{N₂} = 0,1	f _{CO₂} = 0,97 f _{N₂} = 0,02 f _{H₂O} = 0,001	f _{CO₂} = 0,97 f _{N₂} = 0,02 f _{H₂O} = 0,005	f _{CO₂} = 0,97 f _{N₂} = 0,02 f _{H₂O} = 0,01	
0,89	0,3	0,62	0,62	0,66	0,66	0,66	0,64
1,2	0,39	0,87	0,87	0,93	0,92	0,92	0,90
4,0	0,8	2,9	2,9	3,1	3,1	3,1	3,1
5,5	1,0	4,1	4,1	4,4	4,6	4,6	4,6
7,3	1,25	5,6	5,6	6,3	6,8	6,8	7,1
7,8	1,35	6,0	6,0	7,4	8,3	8,3	8,5
8,4	1,4	6,5	6,5	7,5	8,4	8,4	8,7
9,5	1,5	7,5	7,5	8,4	9,2	9,2	9,5

+) Результаты прямых измерений давления Р_{изм}(атм) в атмосфере Венеры на уровнях Т = Т_{ЭКСП} (см. рис. 45 в § 1У.3 указанной монографии).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М.В.Кельдыш. *Icarus*, 30, n.4, 605(1977).
2. А.Д. Кузьмин, М.Я.Маров. *Физика планеты Венеры*. Изд. Наука, М., 1974.
3. А.Г.Кисляков, А.П.Наумов, М.Б.Зиничева, Н.Н.Маркина. Тезисы докладов на X Всесоюзной конференции по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы, Изд. СИБИЗМИРАН, Иркутск, 1977, стр. 66.
4. В.И.Мороз. *Успехи физических наук*, 104, № 2, 255 (1971).
5. W.No, I.A.Kaufman, P.Thaddeus. *J.Geoph. Res.*, 71, n.21, 5091(1966).
6. Ю.Н.Ветухновская, А.Д.Кузьмин, А.П.Наумов, Т.В.Смирнова. *Астрон. ж.*, 48, № 1, 146 (1971).
7. I.D.G.Rather, B.L.Ulich, P.A.R.Ade. . *Icarus*, 22, n.4, 448(1974).
8. B.L.Ulich. *Icarus*, 21, n.3, 254(1974).
9. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г. Моисеев, А.И.Наумов. *Астрон. ж.*, 46, № 1, 147 (1969).
10. B.L.Ulich, J.R.Cogdell, J.H.Davis. *NASA Techn.Rept.*, No NGL-006-72-I, 31 Jan., 1972.
11. C.W.Tolbert, A.W.Straiton. *Nature*, 204, n.4965, 1242(1964).
12. E.E.Epstein. *Astron.J.*, 70, n.9, 721(1965)

13. Е.Е.Ерstein. *Astron.J.*, 71, n.3, 161 (1966).
14. В.Н.Воронов, А.Г.Кисляков, А.В.Троицкий. *Астрон. вестник*, 8, № 1, 17 (1974).
15. И.И.Зинченко, А.Г.Кисляков, В.Н.Воронов. *Изв. вузов. Радиофизика*, 18, № 4, 501 (1975).
16. А.Г.Кисляков, А.Д.Кузьмин, А.Е.Саломонович. *Астрон. ж.*, 39, № 3, 410 (1982).
17. С.Р.Grant, Н.Н.Сorbett, J.Е.Gibson. *Astroph.J.*, 137, n.2, 620 (1963).
18. А.Д.Кузьмин, А.Е.Саломонович. *Астрон. ж.*, 37, № 2, 287 (1960), 39, № 4, 660 (1982).
19. Ю.Н.Ветухновская, А.Д.Кузьмин, Б.Г.Кутуза, Б.Я.Лосовский, А.Е.Саломонович. *Изв. вузов- Радиофизика*, 6, № 5, 1054 (1963).
20. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, А.И.Наумов. *Изв. вузов - Радиофизика*, 13, № 2, 219 (1970).
21. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, А.И.Наумов. *Астрон. ж.*, 46, № 1, 147, (1969).
22. Ю.Н.Ветухновская, А.Д.Кузьмин, Б.Я.Лосовский, *Астрон. ж.*, 48, № 5, 1033 (1971).
23. D.D.Thornton, W.J.Welch. *Astron.J.*, 69, n.1, 71 (1964); 70, n.2, 149 (1965).
24. V.L.Lynn, M.L.Meeks, M.D.Sohigian. *Astron.J.*, 69, n.1, 65 (1964).
25. J.Е.Gibson, R.J.МсEwan. *Paris Symposium on Radio Astronomy*, 1959.

26. J.E.Gibson. Astrophys.J., I37, n.2, 611 (1963).
27. J.Copeland, W.C.Tyter. Astrophys.J., I39, n.1, 409 (1964).
28. P.M.Kalaghan, K.N.Wulfsberg. Astrophys. J., I54, n.2, 771 (1968).
29. L.D.Braun, J.L.Yen. Astron.J., 73, n.10, 168 (1968).
30. A.H.Barrett. Radio Sci., 69D, n.12, 1565 (1965).
31. D.H.Staelin, A.H.Barrett. Astron.J., 70, n.5, 330 (1965).
32. R.W.Hobbs, S.L.Knapp. Icarus, I4, n.2, 204 (1971).
33. D.H.Staelin, A.H.Barrett, B.R.Kusse. Astron.J., 69, n.1, 69 (1964).
34. S.E.Law, D.H.Staelin. Astrophys.J., I54, n.3, 1077 (1968).
35. D.E.Gones, D.M.Wrathall. Publs.Astron. Soc.Pacific, 84, n.499, 435 (1972).
36. Ю.Н.Ветухновская. Диссертация, ФИАН СССР, Москва, 1969.
37. J.E.Gibson, H.H.Corbett. Astron.J., 68, n.2, 74 (1963); Radio Sci., 69D, n.12, 1577 (1965).
38. P.H.Griffith, D.D.Thornton, W.J.Welch. Icarus, 6, n.2, 175 (1967).

39. В.А.Ефанов, Е.И.Зарвагин, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, И.С.Нестеров, В.Б.Штейншлегер. Астрон. вестник, 11, № 1, 25 (1977).
40. K.I.Kellerman, I.I.K.Pauliny-Toth, P.J.S.Williams. Astrophys.J., 157, n.I, pt.I, 1 (1969).
41. W.W.Warnock, J.R.Dickel. Icarus, 17, n.3, 682 (1973).
42. D.Morrison. Science, 163, n.3869, 815 (1969).
43. T.P.McCullough, J.W.Boland. Astron.J., 69, n.I, 68 (1964).
44. T.P.McCullough. Icarus, 16, n.2, 310, (1972).
45. V.Letfus.. Nature, 211, n.5045, 176 (1966).
46. C.H.Mayer, T.P.McCullough, R.M.Sloanaker Astrophys.J., 127, n.I, 1 (1958); La physique des planetes, Univ.Liege, 1963.
47. П.В.Бибинова, А.Д.Кузьмин, А.Е.Саломонович, И.В.Шавловский. Астрон. ж., 39, № 8, 1083 (1982).
48. L.E.Alsop, J.A.Giordmaine, C.H.Mayer, C.H.Townes. Astron.J., 63, n.8, 301 (1958).
49. А.Д.Кузьмин, У.Дент. Астрон. ж., 43, № 3, 692 (1988).
50. J.R.Dickel, W.J.Medd. Astron.J., 73, n.5, 91 (1968).
51. А.Д.Кузьмин. Радиофизические исследования Венеры, Изд. ВИНТИ АН СССР, М., 1987.
52. M.P.Hughes. Planet.Space Sci., 14, n.10, 1017 (1966).

53. А.Д.Кузьмин, А.Е.Саломонович. Астрон. ж., 38, № 6, 1115 (1961).
54. F.D.Drake. Publ.National Radio Astron. Obs., I, n.II, I65 (1962); Astron.J., 69, n.I, 62 (1964).
55. C.H.Mayer, T.P.McCullough, R.M.Sloanaker Astron.J., 65, n.6, 349 (1960).
56. А.Д.Кузьмин, Б.Дж.Кларк. Астрон.ж., 42, № 3, 595 (1965).
57. B.Clark, C.L.Spencer. Astron.J., 69, n.I, 59 (1964).
58. K.S.Stankevich. Austral.J.Phys., 23, n.I, III (1970).
59. K.I.Kellerman. Radio Sci., 69D, n.I2, 1574 (1965).
60. A.Boischot, M.Ginat, I.Kazes. Ann.Astrophys., 26, n.4, 385 (1963).
61. A.E.Lilley. Astron.J., 66, n.7, 290 (1961).
62. K.I.Kellerman. Icarus, 5, 478 (1966).
63. F.D.Drake. Astron.J., 69, n.I, 62 (1964).
64. D.O.Muhleman, G.Berge, G.S.Orton. Astrophys.J., 183, n.3, pt.I, I081 (1973).

65. I.I. Condon, D.L. Jauncey, M.I. Yerbury.
Astrophys. J., 183, n. 3, pt. I, 1075 (1973).
66. А.П. Наумов, М.Б. Зиничева, Н.Н. Муратов. Изв.
вузов - Радиофизика, 19, № 1, 5 (1976).