

# Исследование радиояркостной температуры атмосферы тропиков в линии 183 ГГц

*Семин А.Г.<sup>1</sup>, Кузьмин А.В.<sup>2</sup>, Хапин Ю.Б.<sup>2</sup>, Шарков Е.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Пензенский государственный педагогический университет*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН*

# Введение

---

- ▶ Значительные усилия, предпринятые в течении последних 40 лет по изучению изменчивости температурно-влажностных полей турбулентной атмосферы Земли на мезо и синоптических масштабах в зонах активного тропического циклогенеза не выявили физически адекватной картины взаимодействия этих процессов.
- ▶ Радиометрические спутниковые данные могут быть с успехом использованы не только опосредованно для восстановления значений метеорологических параметров, но и непосредственно, в качестве прямых характеристик теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы.
- ▶ В настоящей работе рассматривается возможность восстановления профиля водяного пара по спутниковым данным в зонах крупномасштабных тропосферных возмущений для атмосферы тропических широт.
- ▶ Возможность восстановления профиля водяного пара проверяется модельными расчетами для системы атмосфера–поверхность. Анализируются новые подходы к формированию методики детального (8-10 градаций на высотах от 0 до 10 км) восстановления профиля водяного пара



**Радиояркостьная температура системы атмосфера–поверхность на частоте  $\nu$  под углом  $\theta$ , регистрируемая антенной радиометра на искусственном спутнике Земли определяется следующим выражением:**

$$T_{b\nu}(\theta) = [1 - R_\nu(\theta_s)] T_s \exp(-\tau_{0\nu} \sec \theta) + \int_0^\infty T(h) \gamma_\nu(h) \exp\left[-\int_h^\infty \gamma_\nu(h') \sec \theta dh'\right] \sec \theta dh + \\ + R_\nu(\theta_s) \exp(-\tau_{0\nu} \sec \theta) \int_0^\infty T(h) \gamma_\nu(h) \exp\left[-\int_0^h \gamma_\nu(h') \sec \theta dh'\right] \sec \theta dh$$

где  $R_\nu(\theta_s)$  – энергетический коэффициент отражения поверхности,  $\theta_s$  – угол падения излучения на подстилающую поверхность,  $T_s$  – температура поверхности,  $\tau_{0\nu}$  – интегральное зенитное поглощение радиоволн в зените,  $T(h)$  – вертикальный профиль температуры,  $\gamma_\nu(h)$  – погонный коэффициент поглощения.

### **Три составляющие излучения:**

- ▶ излучение самой подстилающей поверхности, ослабленное атмосферой;
- ▶ яркостная температура восходящего излучения атмосферы;
- ▶ нисходящее излучение атмосферы, отраженное поверхностью и ослабленное атмосферой.



# Интегральное поглощение в атмосфере

---

$$\tau_v(\theta) = \int_0^{\infty} \gamma_v(h) \sec \theta dh = \tau_{0v} \sec \theta.$$

- ▶ Атмосфера предполагается плоско–слоистой
- ▶ Явлением рефракции для надирных углов  $\theta < 80^\circ$  допустимо пренебречь
- ▶ Модельные расчеты интегрального поглощения электромагнитного излучения в диапазоне 80–360 ГГц в молекулярном кислороде проводилась по методике Жевакина
- ▶ Расчеты поглощения в атмосферном водяном паре проводились по методике Зражевского
- ▶ Расчет интегрального поглощения в атмосфере и радиояркостной температуры атмосферы в диапазоне 80–360 ГГц проводился численным интегрированием с шагом 100 метров до высоты 25 км для наблюдения под углом  $45^\circ$  от надира



# Параметры расчета

---

## ▶ Летняя атмосфера средних широт:

- температура воздуха у поверхности – 294 К,
- влажность – 14,0 г/м<sup>3</sup>,
- давление – 1013 мб,
- интегральная влажность – 2,94 г/см<sup>2</sup>;

## ▶ Стандартная тропическая атмосфера:

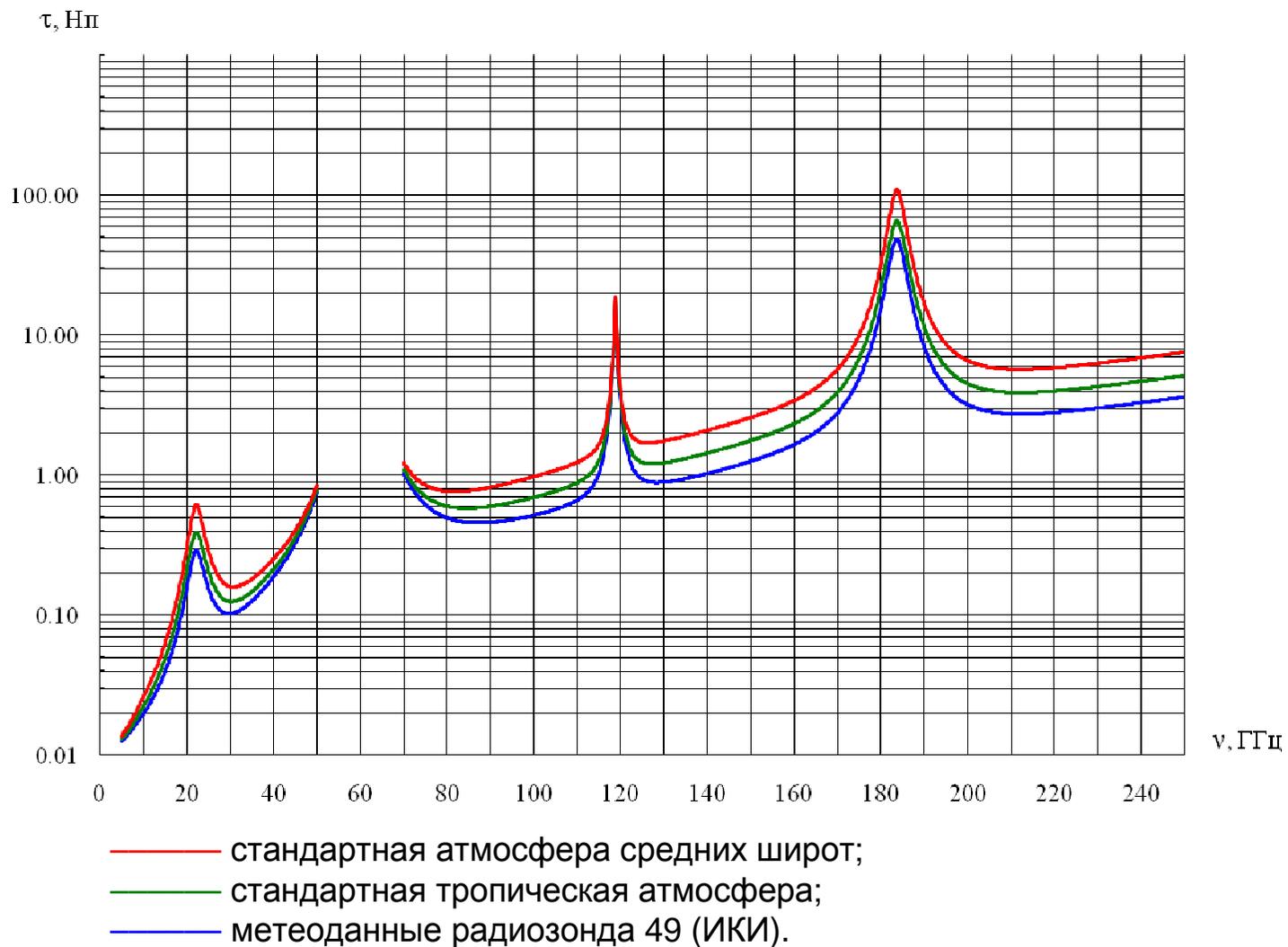
- температура воздуха у поверхности – 300 К,
- влажность – 19,0 г/м<sup>3</sup>,
- давление – 1013 мб,
- интегральная влажность – 4,14 г/см<sup>2</sup>;

## ▶ Данные радиозонда 49 (ИКИ):

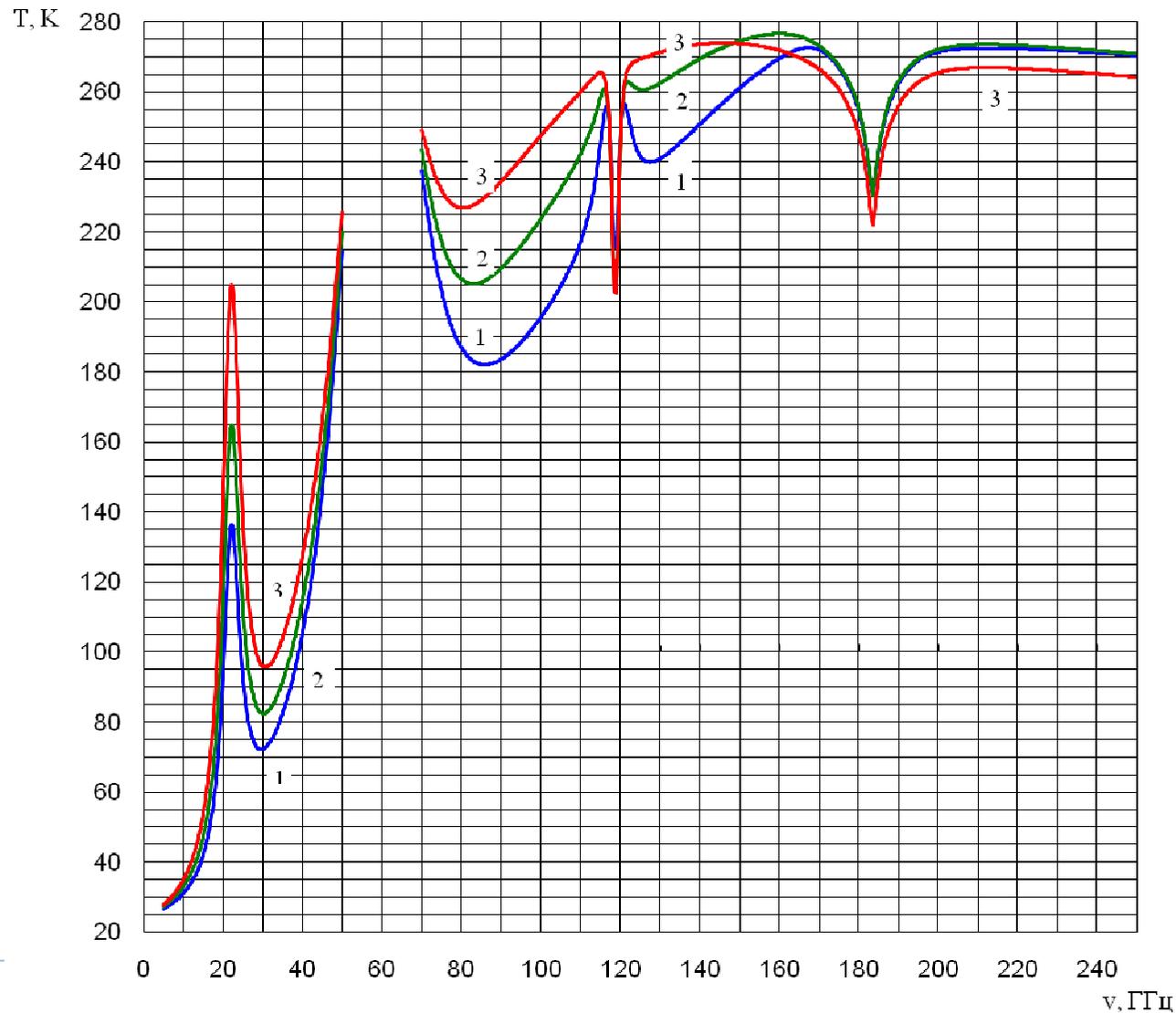
- температура воздуха у поверхности – 299,8 К,
  - влажность – 22,7 г/м<sup>3</sup>,
  - давление – 1007,5 мб,
  - интегральная влажность – 6,22 г/см<sup>2</sup>
- 



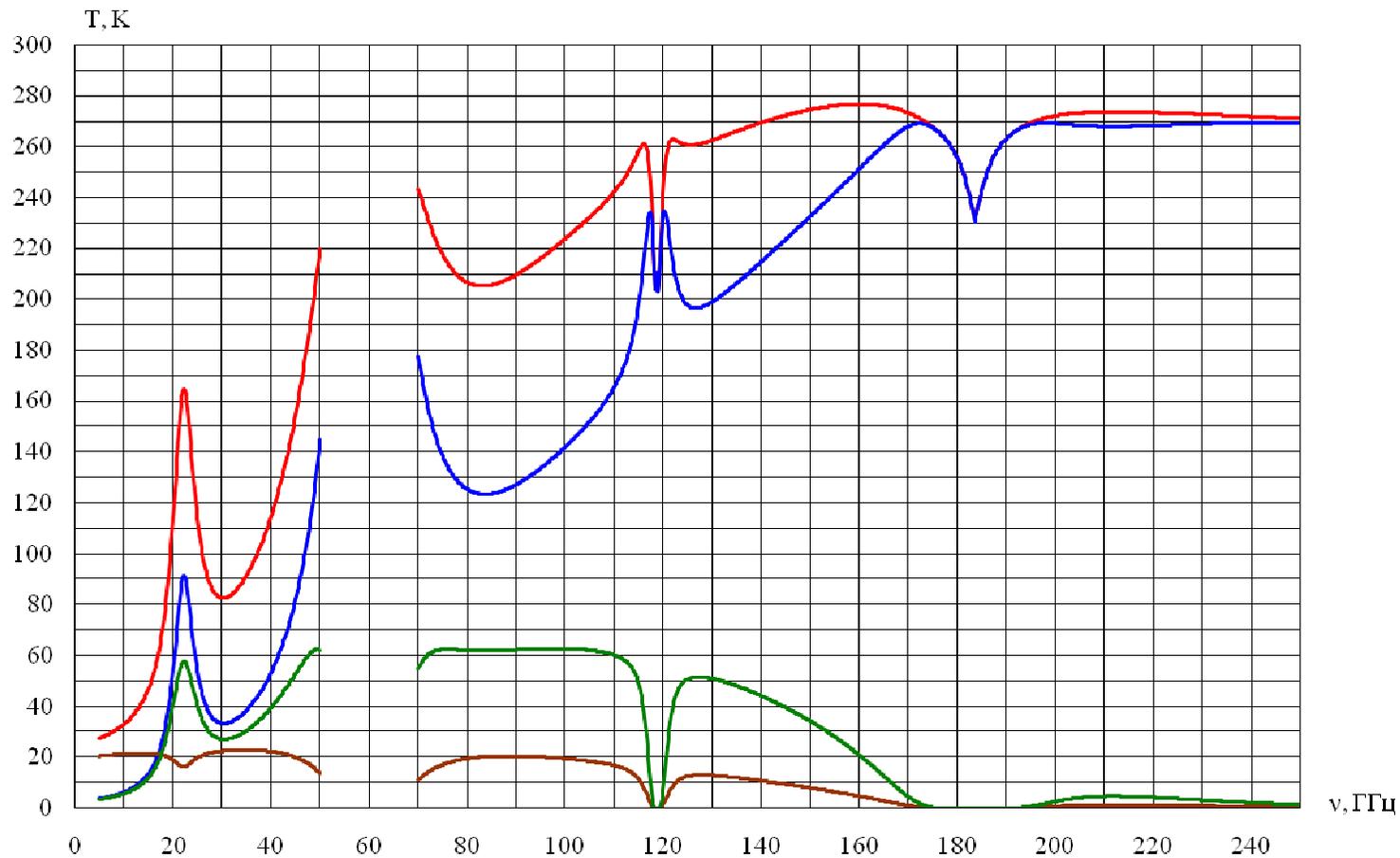
# Интегральное поглощение электромагнитного излучения в атмосфере в диапазоне 5 – 250 ГГц



# Радиояркая температура электромагнитного излучения системы атмосфера-океан в диапазоне 5 – 250 ГГц



# Радиояркостная температура электромагнитного излучения системы атмосфера–океан в диапазоне 10 – 210 ГГц, угол визирования 45° от надира



- радиояркостная температура системы атмосфера–океан;
- радиояркостная температура восходящего излучения атмосферы;
- радиояркостная температура нисходящего излучения атмосферы, отраженного поверхностью и ослабленного атмосферой;
- радиояркостная температура излучения поверхности, ослабленного атмосферой.

## Расчет весовых функций электромагнитного излучения атмосферы в линиях резонанса 183 и 325 ГГц

---

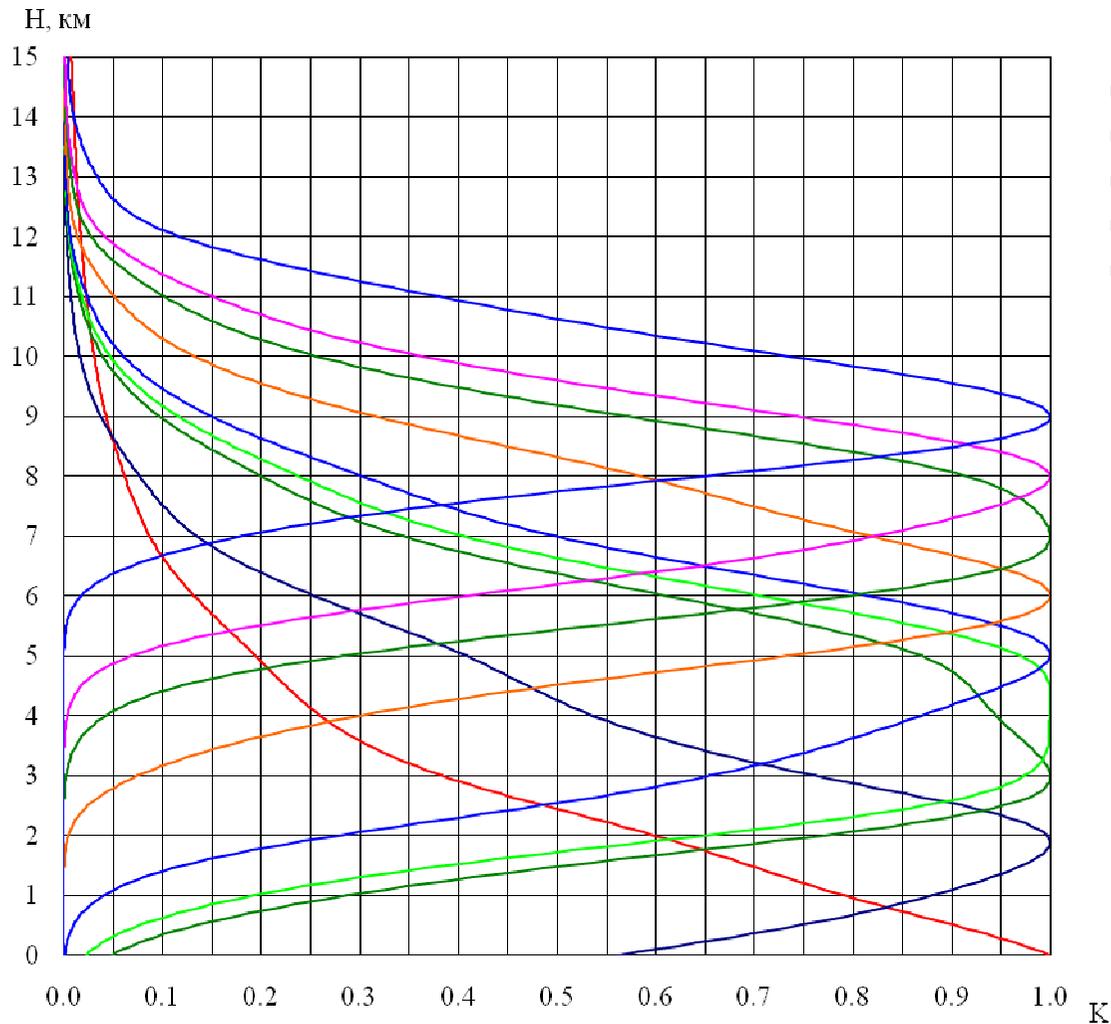
- ▶ Атмосфера до высоты 25 км разбивалась на слои высотой  $\Delta h = 50$  м, где рассчитывалось погонное поглощение в середине каждого слоя.
- ▶ Радиояркая температура от  $i$ -го атмосферного слоя за границей атмосферы с учетом ослабления излучения вышележащими слоями может быть представлена в виде:

$$T_{bi} = T(h_i) [1 - \exp(-\gamma_w(h_i) \Delta h \sec \theta)] \sum_{k=i+1}^n \gamma(h_k) \Delta h \sec \theta$$

- ▶ где  $T(h_i)$  – температура  $i$ -го слоя;  $\gamma_w(h_i)$  – погонное поглощение в водяном паре в середине слоя;  $\gamma(h_i)$  – погонное атмосферное поглощение в середине слоя;  $n = 500$  – число слоев.
- ▶ Яркая температура каждого слоя нормируется к температуре слоя с максимальной температурой



# Весовые функции для восходящего излучения атмосферного водяного пара

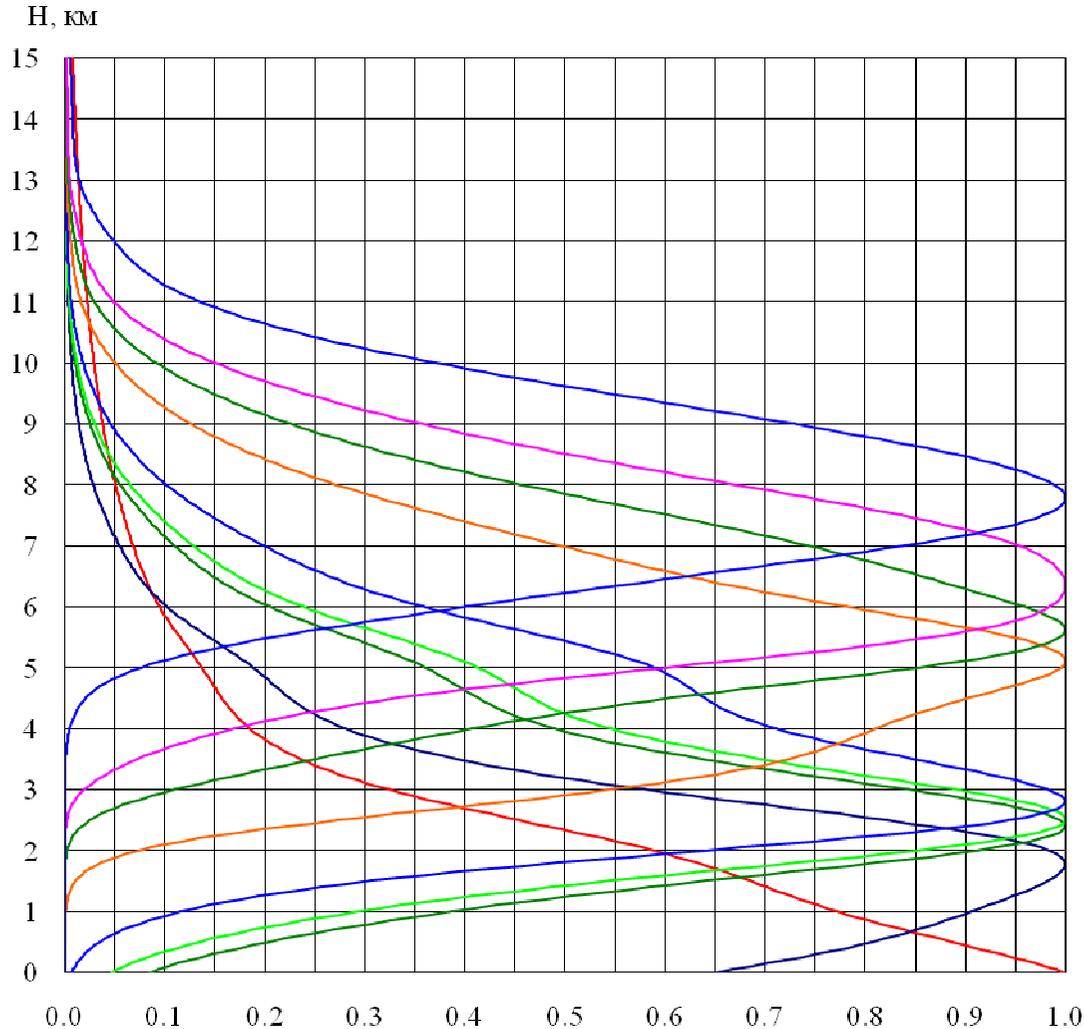


- Тропики, средняя атмосфера;
- Температура воздуха – 300 К;
- Влажность – 21,00 г/м<sup>3</sup> ;
- Давление – 1013 мб;
- Интегральная влажность – 5,19 г/см<sup>2</sup>.

- 1 – f = 85,00 ГГц, максимум – 0,00 км.
- 2 – f = 154,00 ГГц, максимум – 1,90 км.
- 3 – f = 172,00 ГГц, максимум – 3,00 км.
- 4 – f = 173,28 ГГц, максимум – 4,30 км.
- 5 – f = 175,70 ГГц, максимум – 5,00 км.
- 6 – f = 179,10 ГГц, максимум – 6,00 км.
- 7 – f = 180,55 ГГц, максимум – 7,00 км.
- 8 – f = 181,30 ГГц, максимум – 8,00 км.
- 9 – f = 182,50 ГГц, максимум – 9,00 км.



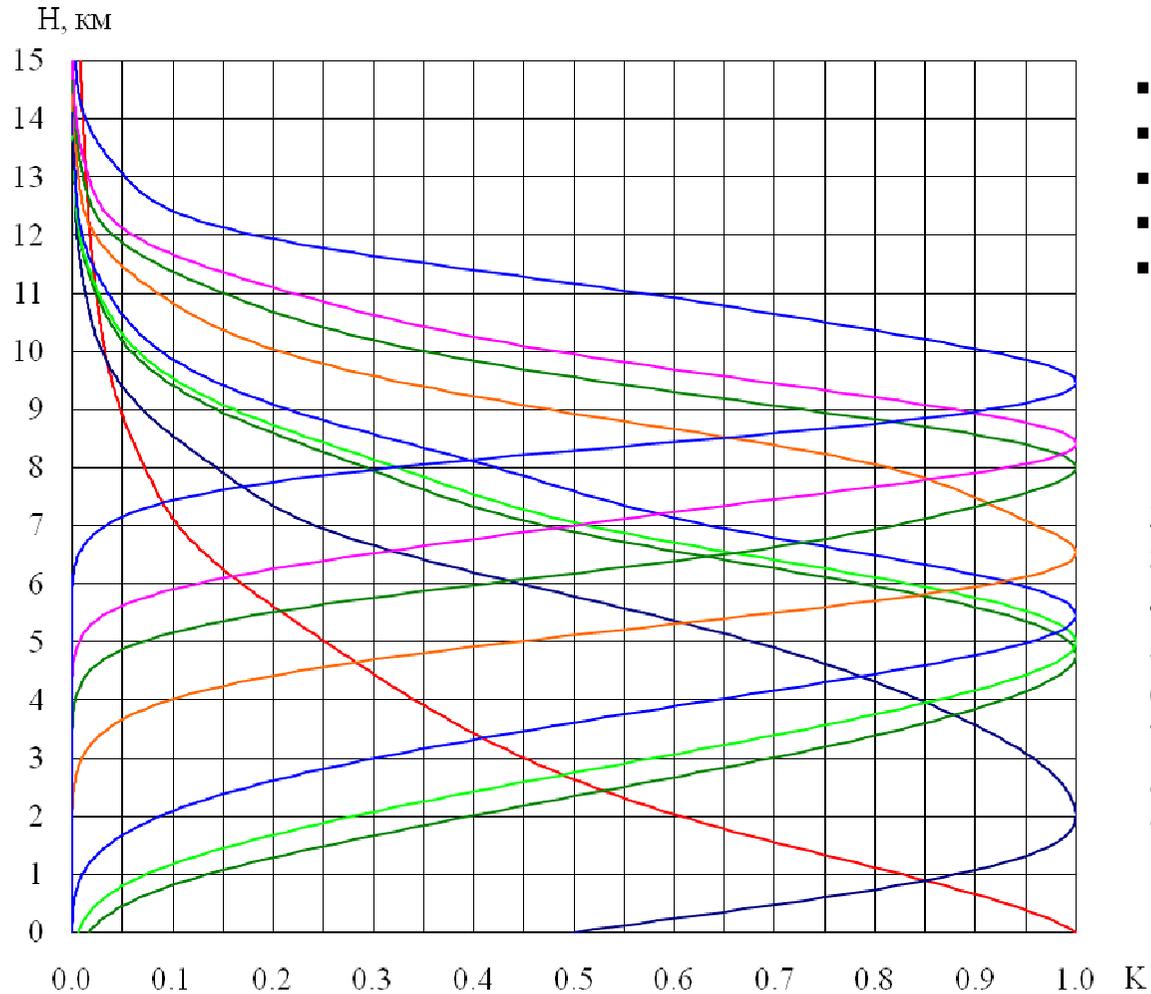
# Весовые функции для восходящего излучения атмосферного водяного пара



- Тропики, стандартная атмосфера;
- Температура воздуха – 300 К;
- Влажность – 19,00 г/м<sup>3</sup> ;
- Давление – 1013 мб;
- Интегральная влажность – 4,14 г/см<sup>2</sup>.

- 1 – f = 85,00 ГГц, максимум – 0,00 км.
- 2 – f = 154,00 ГГц, максимум – 1,80 км.
- 3 – f = 172,00 ГГц, максимум – 2,40 км.
- 4 – f = 173,28 ГГц, максимум – 2,50 км.
- 5 – f = 175,70 ГГц, максимум – 2,80 км.
- 6 – f = 179,10 ГГц, максимум – 5,10 км.
- 7 – f = 180,55 ГГц, максимум – 5,60 км.
- 8 – f = 181,30 ГГц, максимум – 6,35 км.
- 9 – f = 182,50 ГГц, максимум – 7,80 км.

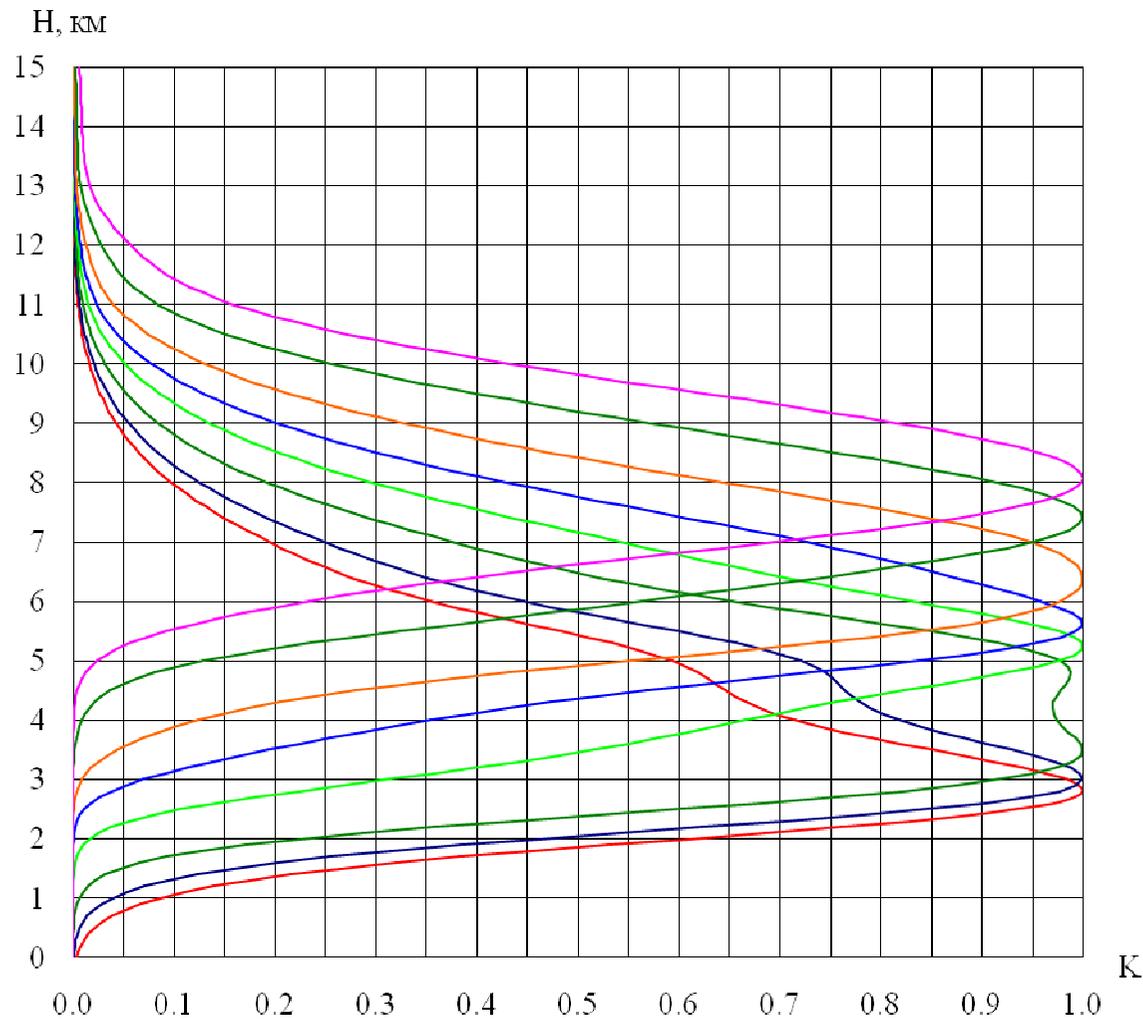
# Весовые функции для восходящего излучения атмосферного водяного пара



- Тропики, Радиозонд – 49;
- Температура воздуха – 300 К;
- Влажность – 22,74 г/м<sup>3</sup> ;
- Давление – 1007 мб;
- Интегральная влажность – 6,22 г/см<sup>2</sup>.

- 1 –  $f = 85,00$  ГГц, максимум – 0,00 км.
- 2 –  $f = 154,00$  ГГц, максимум – 2,00 км.
- 3 –  $f = 172,00$  ГГц, максимум – 4,80 км.
- 4 –  $f = 173,28$  ГГц, максимум – 5,00 км.
- 5 –  $f = 175,70$  ГГц, максимум – 5,45 км.
- 6 –  $f = 179,10$  ГГц, максимум – 6,55 км.
- 7 –  $f = 180,55$  ГГц, максимум – 7,95 км.
- 8 –  $f = 181,30$  ГГц, максимум – 8,40 км.
- 9 –  $f = 182,50$  ГГц, максимум – 9,45 км.

# Весовые функции для восходящего излучения атмосферного водяного пара



- Тропики, стандартная атмосфера;
- Температура воздуха – 300 К;
- Влажность –  $19,00 \text{ г/м}^3$  ;
- Давление – 1013 мб;
- Интегральная влажность –  $4,14 \text{ г/см}^2$ .

- 1 –  $f = 300,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 2,80 км.
- 2 –  $f = 310,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 3,00 км.
- 3 –  $f = 317,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 3,50 км.
- 4 –  $f = 321,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 5,20 км.
- 5 –  $f = 323,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 5,60 км.
- 6 –  $f = 324,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 6,40 км.
- 7 –  $f = 325,0 \text{ ГГц}$ , максимум – 7,40 км.
- 8 –  $f = 325,6 \text{ ГГц}$ , максимум – 8,10 км.

## Заключение

- ▶ Проведенные модельные расчеты показывают принципиальную возможность восстановления профиля водяного пара по 8 - 10 уровням на высотах от 0 до 10 км по радиометрическим измерениям со спутника. .
- ▶ Для решения такой сложной задачи потребуются разработка новых методов решения обратной задачи и создания сканирующего многоканального радиометра с оригинальным набором частот.
- ▶ Для надежного восстановления детальных профилей атмосферного водяного пара по линиям 183 ГГц в условиях облачной атмосферы и взволнованной морской поверхности, необходимо использование низкочастотной линии резонанса водяного пара 22,23 ГГц и измерений в окнах прозрачности на 19, 37, 85–90 ГГц. Это позволит получить информацию о характеристиках морской поверхности и облачности.
- ▶ Разработка сканирующего многоканального радиометра потребует привлечения 8 – 10 каналов в линии 183 ГГц и её окрестностях, один канал 22,23 ГГц, 2–х поляризационных радиометров на частотах 19, 37, 85–90 ГГц для учёта влияния взволнованной морской поверхности и вычисления водозапаса облаков и интенсивности осадков.
- ▶ Чувствительность на элемент разрешения может быть ориентировочно 0.1–0,5К по мере увеличения частоты

---

**Спасибо за внимание!**

---

