

О влиянии температурного профиля облака на микроволновое нисходящее излучение атмосферы

Р.К. Казарян, Б.Г. Кутуза

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 125009, Москва, ул Моховая, д. 11, корп. 7. E-mail: kutuza@cplire.ru

Проведены модельные расчеты влияния температуры и распределения воднозапаса облака на яркостную температуру. Вычисления проводились на частотах 19 ÷ 45 и 70 ÷ 100 ГГц. Было исследовано влияние мощности облака на поглощение в облаке.

При рассмотрении радиоизлучения облачной атмосферы обычно не учитывают высотное распределение температуры. В тоже время мощность развитых кучевых облаков может составлять 3-5 км и соответственно температура может значительно меняться с высотой. Влияние температуры на микроволновый спектр поглощения в облаке рассмотрено в [1]. Поглощение электромагнитных волн в облаке для данной длины волны определяется диэлектрической проницаемостью воды, которая зависит от температуры и фазового состава облака. Температура облаков меняется в широком диапазоне от 25 ÷ - 60°C [2]. Диэлектрическая проницаемость жидкой воды и льда сильно отличаются. Мнимая часть коэффициента преломления льда примерно на два порядка меньше, чем у воды, и следовательно, вклад в поглощение кристаллических частиц в поглощение облака весьма незначителен. Если учесть, что водность кристаллических облаков значительно меньше жидкокапельных, то их влияние можно не учитывать. Известно, что в облаке могут существовать переохлажденные жидкие капли вплоть до -40°C. Целью данной работы является изучение влияния высотных распределений температуры и водности на микроволновый спектр нисходящего излучения атмосферы. Зависимость яркостной температуры от температуры облака нелинейная.

Связь яркостной температуры с температурой облака носит достаточно сложный характер и определяется из уравнений.

$$T_{ярк}^{\downarrow}(h) = \int_0^{\infty} T(h) \gamma(h) e^{-\int_0^h \gamma(x) dx} dh, \quad (1)$$

где $T_{ярк}^{\downarrow}$ – нисходящее излучение атмосферы, T – высотный температурный профиль атмосферы, γ – коэффициент поглощения.

Коэффициент поглощения в атмосфере можно разделить на три части: поглощение в кислороде, водяном паре и облаке.

$\gamma_{обл}$ в свою очередь зависит от мнимой части следующего соотношения:

$$\gamma_{обл}(h) = \frac{0,6\pi}{\lambda} w \operatorname{Im} \left(\frac{\varepsilon_c - 1}{\varepsilon_c + 2} \right), \quad (\text{неп/км}), \quad (2)$$

где ε_c – комплексная диэлектрическая проницаемость воды, которая является функцией от температуры.

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_0}{1 + i \frac{\Delta\lambda}{\lambda}} + \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_0}{1 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)^2} + \varepsilon_0 - i \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \times \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_0}{1 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)^2}, \quad (3)$$

где $\Delta\lambda = 2\pi c\tau_p \frac{\varepsilon_s + 2}{\varepsilon_0 + 2}$, τ_p – время релаксации молекул воды в секундах, c – скорость света в см/сек, ε_s – статическая диэлектрическая проницаемость воды (на частотах $\nu \ll \frac{1}{\tau_p}$), ε_0 – оптическая диэлектрическая проницаемость воды (на частотах $\nu \gg \frac{1}{\tau_p}$).

Форму $\gamma_{Обл}$ в значительной степени характеризует τ_p время релаксации:

$$\tau_p = \left[\exp \left\{ 9,8 \left(\frac{273}{T_o + 273} - 0,955 \right) \right\} \right] \cdot 10^{-12}, \text{ с} \quad (4)$$

T_o – температура облака в Цельсиях, τ_p – время релаксации было уточнено и проверено экспериментально Башариновым А. Е. и Кутузой Б.Г. [4] для значений температуры ниже нуля. Статическая диэлектрическая проницаемость ε_s зависит от температуры. Однако параметры, которые можно вычислить из радиометрических измерений (водозапас, полная масса водяного пара) связаны с полным поглощением в атмосфере[1].

Для расчетов использовалась следующая модель облачной атмосферы. Высотное распределение температуры, давления и влажности соответствуют стандартной модели. Температурный градиент в тропосфере был принят равным $6,5^\circ\text{C}/\text{км}$.

Вычисления были проведены при значениях температуры облака от -30 до 20°C . Показано, что температура облака меняет не только величину яркостной температуры, но и форму её спектра, особенности в области переохлажденных капель. Вычисления были проведены в диапазоне $10 \div 45$ и $70 \div 100$ ГГц (вблизи частоты 60 ГГц резко увеличивается резонансное поглощение кислорода).

На рис.1 представлен микроволновый спектр яркостной температуры атмосферы для 3-х температур облака при значении водозапаса облака $0.5 \text{ кг}/\text{м}^2$. Можно видеть, что в диапазоне частот от 10 до 45 ГГц нисходящее излучение больше при низкой температуре облака -30°C , а на частотах от 70 до 100 ГГц оно больше при температурах -5°C и 20°C , чем при температуре -30°C .

Рис. 2 показывает влияние мощности облака на яркостную температуру атмосферы на частоте $37,5$ ГГц. Графики построены при двух значениях водозапаса $0.5 \text{ кг}/\text{м}^2$ и $1 \text{ кг}/\text{м}^2$ для случая равномерного высотного распределения водности. Согласно полученным данным, влияние мощности на яркостную температуру лучше выражена при отрицательных температурах. При положительных значениях температуры облака мощность оказывает слабое влияние на яркостную температуру атмосферы.

На рис. 3 иллюстрирует зависимость яркостной температуры от высотного профиля водности. В обоих случаях водозапас составлял $0.5 \text{ кг}/\text{м}^2$, а мощность облака была соответственно 0.5 км и 3 км . На рис.3 приведена разность яркостной температуры атмосферы (кривая 1) для параболического и линейного, увеличивающего с высотой, распределений водности облака. Кривая 2 соответствует разности для параболического и равномерного распределений водности облака по высоте. При мощности облака 0.5 км (Рис. 3) колебания составили примерно 2 К , а при мощности 3 км (Рис. 4) ярко выделяется зависимость кривой 1, колебание которой составило до 7 К при отрицательной температуре. При меньшей мощности кривая 1 мало меняется и имеет другой знак производной чем в случае относительно большей мощности. Выполненные расчеты для больших значений водозапаса $1 \text{ кг}/\text{м}^2$ не меняют ход кривых на рис. 3 и 4.

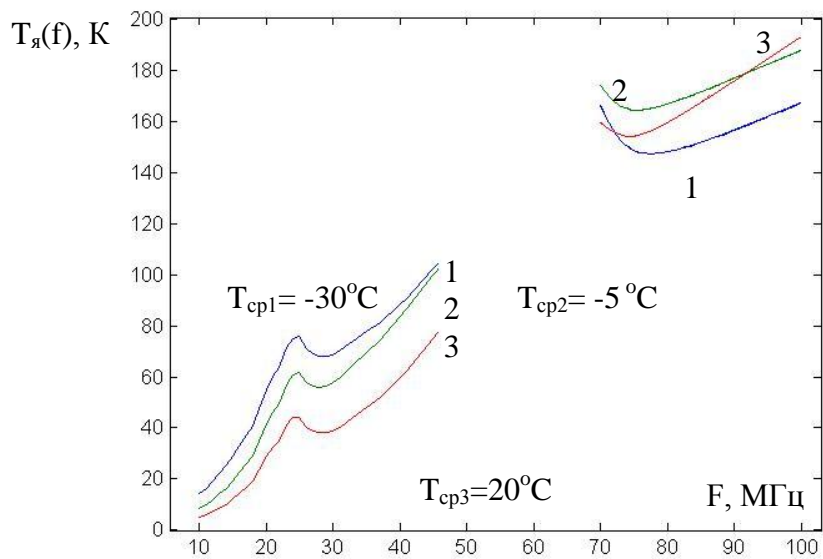


Рис. 1. Спектр нисходящего излучения при водность 0.5кг/м^2 , при температурах облака 1. -30°C , 2. -5°C , 3. 20°C .

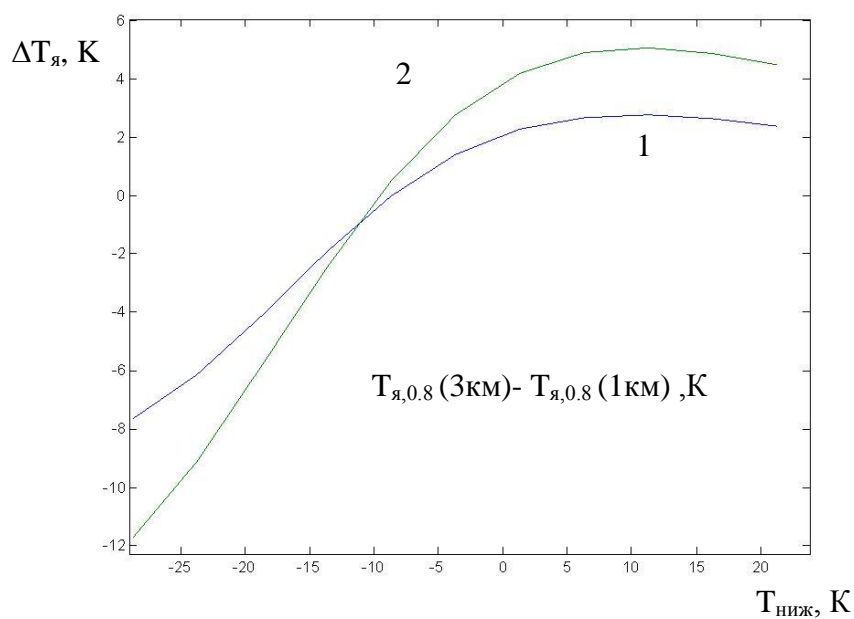


Рис. 2. Разность между яркостными температурами облака с одинаковым водозапасом, разными мощностями (1км и 3км) на длине волны $0,8\text{см}$, для облака с водозапасом 2. 1кг/м^2 и 1. 0.5кг/м^2

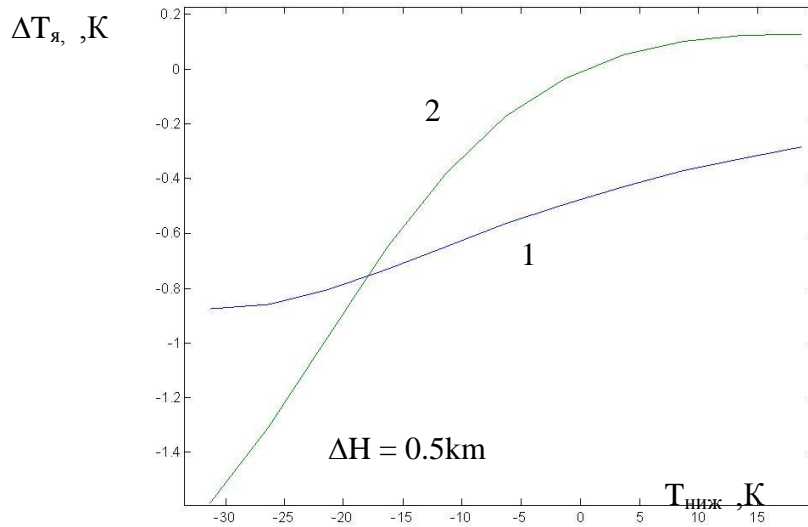


Рис. 3. Разность между яркостными температурами облака с одинаковым водозапасом 0.5 кг/м^2 и мощностями 0.5 км , но разными распределениями водозапаса (параболическое, линейно увеличивающееся и равномерное) по высоте на длине волны 0.8 см , 1. $T_{\text{я,пад}} - T_{\text{я,ув}}$ и 2. $T_{\text{я,пад}} - T_{\text{я,рав}}$

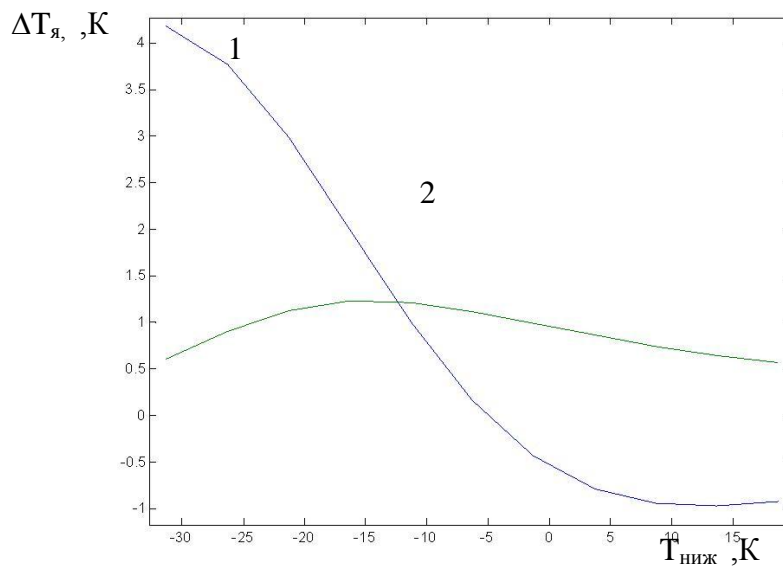


Рис. 4. Разность между яркостными температурами облака с одинаковым водозапасом 0.5 кг/м^2 и мощностями 3 км , но разными распределениями водозапаса (параболическое, линейно увеличивающееся и равномерное) по высоте на длине волны 0.8 см , 1. $T_{\text{я,пар}} - T_{\text{я,ув}}$ 2. $T_{\text{я,пар}} - T_{\text{я,рав}}$

Заключение

Выполненные расчеты показывают влияние водозапаса, высотных распределений температуры и влажности на нисходящее микроволновое излучение облачной атмосферы.

Литература

1. Кутуза Б.Г., Поглощение миллиметровых и сантиметровых волн в облачных образованиях и его зависимость от температуры, в Электромагнитные волны в атмосфере и космическом пространстве, стр. 180-192, М., Наука, 1986
2. Минервин В.Е. "Тр. Центр. аэролог. обс.", 1965, вып. 64, с. 52 -66
3. Barrett A.H., "Mem. Roy. Sci. Liege", 1963, vol. 8, P. 197 - 219
4. Башаринов А. Е., Кутуза Б. Г., определение температурной зависимости времени релаксации молекул воды в облаках и возможности оценки эффективной температуры капельных облаков по СВЧ радиометрическим измерениям, Изв. выс. уч. зав., Радиофизика, 1974, т. XVII, №1.