

## **Аномальные явления в атмосферном излучении миллиметровых волн**

**Н. В. Руженцев**

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4  
ruzh@rian.kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 28 февраля 2002 г.*

Описаны случаи неожиданного (аномального), с точки зрения наиболее распространенных современных представлений, изменения атмосферного излучения в миллиметровом диапазоне длин волн. Выдвинута гипотеза о существовании в безоблачной атмосфере капельной и кристаллической влаги. Такое предположение дает возможность объяснить многочисленные случаи аномального превышения экспериментальных и теоретических значений радиояркостности атмосферы, наблюдающиеся различными авторами в коротковолновой части миллиметрового диапазона.

Описано випадки несподіваної (аномальної), з точки зору найбільше поширених сучасних уявлень, зміни атмосферного випромінювання в міліметровому діапазоні довжин хвиль. Запропоновано гіпотезу про існування в безхмарній атмосфері краплинної і кристалічної вологи. Таке припущення дає можливість пояснити численні випадки аномального перевищення експериментальних і теоретичних значень радіояскравості атмосфери, що спостерігаються різними авторами у короткохвильовій ділянці міліметрового діапазону.

### **Введение**

При решении задач дистанционного зондирования (ДЗ) окружающей среды в радиоастрономии и в приложениях, связанных с применением средств миллиметрового диапазона волн, часто возникает необходимость использовать теоретические модели, описывающие поглощение в безоблачной атмосфере.

Существующие квантовомеханические модели описания величин поглощения и излучения атмосферы не обеспечивают необходимой точности расчетов. Например, в коротковолновой части миллиметрового диапазона результаты таких расчетов, использующих приземные метеоданные, могут отличаться в полтора и более раз от экспериментальных данных [1-2]. В связи с этим в настоящее время в прак-

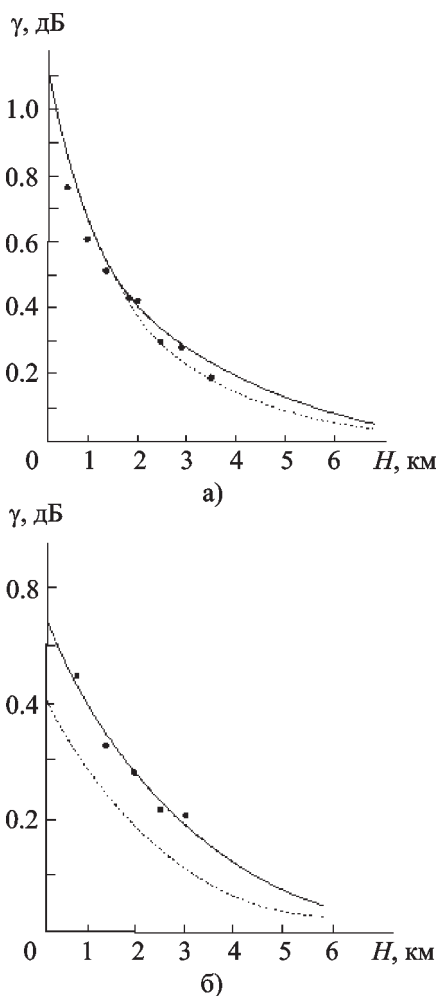
тике ДЗ наиболее распространены эмпирические и полуэмпирические модели [3-5]. Проведенные ранее наземные измерения и измерения с борта вертолета значений полного вертикального поглощения атмосферы и его высотных профилей в 3-мм диапазоне [6-7], а также сопоставление этих данных с данными наших расчетов с использованием моделей Зражевского [4], Жевакина, Наумова [3] и Лиоба [5] показывают возможность теоретического описания величин поглощения с точностью 10 ÷ 15 %. Кроме того, использование при таких расчетах более точных данных о высотном профиле температуры воздуха позволяло для ряда синоптических ситуаций добиться дополнительного существенного уменьшения расхождений между теорией и экспериментом [6-7] (рис. 1, б). Однако проблема создания физически строгой модели для расчета атмосфер-

ного поглощения до сих пор не решена (а значит, нет и адекватного физического понимания этой проблемы), и, кроме того, упомянутая  $10 \div 15$  % точность является среднестатистической. Это значит, что на практике встречаются ситуации, когда значения экспериментальных данных превышают теоретические на десятки процентов (такие аномалии поглощения в ясной атмосфере пока также не получили единого и общепринятого физического объяснения).

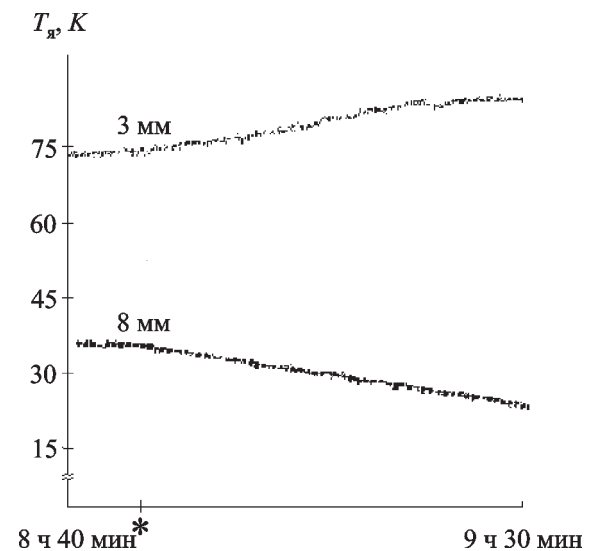
В связи с этим различными авторами высказывались предположения о необходимости учитывать нежесткость молекул, вклад слабых спектральных линий, влияние димерных молекул водяного пара, о необходимости уточнить полуширины и формы спектральных линий водяного пара и др. Однако проведенные исследования либо не подтвердили, либо отметили лишь частичный вклад этих факторов в наблюдавшиеся аномалии атмосферного поглощения.

### Результаты

Отмеченные несоответствия наблюдались автором в процессе сессии измерений в 1993 г. (п. Жовтневе, Днепропетровской обл.), а также в течение непрерывных круглосуточных радиометрических наблюдений в 1996-1997 гг. (г. Харьков) на двух частотах миллиметрового диапазона. Кроме того, был отмечен ряд случаев, не описанных в литературе, когда в течение 30 – 40-минутных интервалов времени, вскоре после восхода Солнца, наблюдался плавный рост полного вертикального поглощения в 3-мм диапазоне волн с его одновременным снижением в 8-мм диапазоне



**Рис. 1.** Примеры вертикальных профилей полного атмосферного поглощения в 3-мм диапазоне, измеренных с борта вертолета в летнее и зимнее время (расчет с использованием приземных метеоданных – пунктир, расчет с использованием бортовых метеоданных – сплошная линия, экспериментальные значения – точки): а) в июне, б) в январе

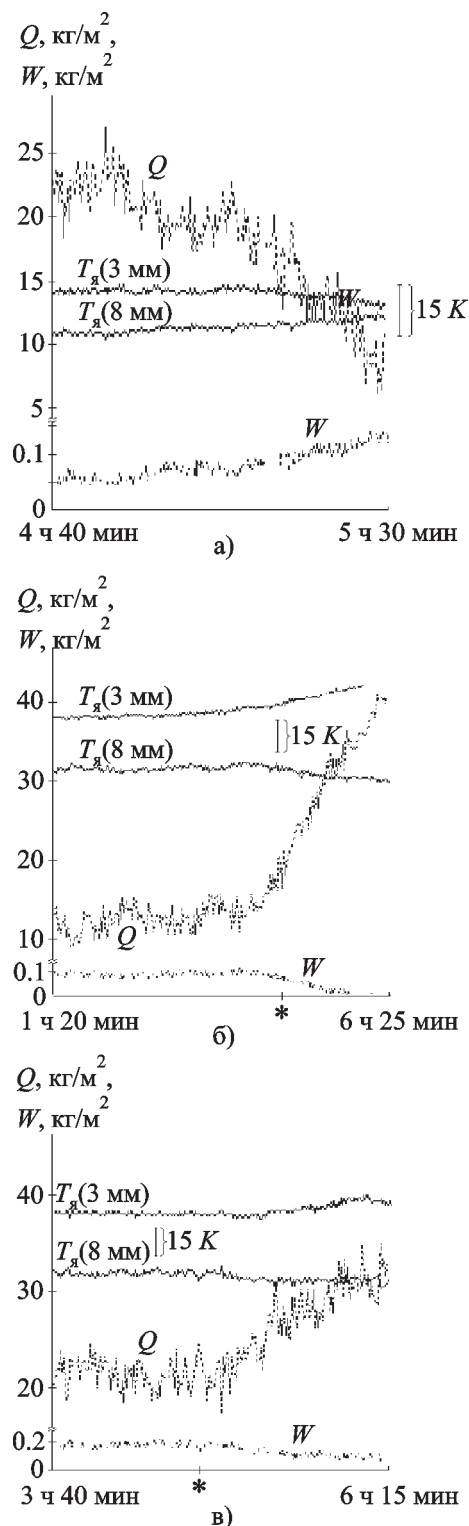


**Рис. 2.** Фрагмент двухчастотной записи изменения радиояростной температуры ясного неба 13.12.1993 г. (\* – момент восхода в 8 ч 48 мин)

(в предрассветные часы наблюдалось обратное явление – снижение полного вертикального поглощения в 3-мм и его рост в 8-мм диапазонах). Эти достаточно редкие случаи (рис. 2, 3) имели место в различные периоды года. Такие явления нельзя объяснить с помощью общепринятого в настоящее время представления о формировании в миллиметровом диапазоне радиоизлучения безоблачной атмосферы за счет двух компонент: кислорода и водяного пара. Двухкомпонентный подход, на наш взгляд, не способен объяснить довольно частые несоответствия между наблюдаемыми изменениями интегрального поглощения  $\tau$  и теоретическими расчетами, а тем более – различия знаков скоростей изменения  $\tau$  для двух длин волн.

В то же время введение в рассмотрение третьей компоненты (помимо кислорода и пара) в виде капельной влаги, а также ее учет в процессах фазовых переходов между жидко-капельной, парообразной и кристаллической влагой, на наш взгляд, позволяет достаточно просто объяснить не только описанное выше аномальное явление, но и отмечавшееся рядом авторов на протяжении десятков лет несоответствие теоретических и экспериментальных значений  $\tau$ . Иными словами, для фиксированных значений метеопараметров можно найти значения скорости изменения объемов жидко-капельной, кристаллической и парообразной влаги в атмосфере, при которых возникнет ситуация, когда в 3-мм диапазоне поглощение будет расти, а в 8-мм – понижаться (либо наоборот).

На рис. 3 одновременно с примерами записей изменения радиояркостной температуры ясной атмосферы показаны результаты проведенного нами синхронного восстановления значений интегрального вертикального содержания парообразной и капельной влаги (в соответствии с уже высказанным предположением о ее наличии). Для этих целей был использован тот же метод, который обычно применялся для восстановления водозаписа облачного покрова [8-9] (рис. 4). В ряде случаев наблюдались весьма большие значения скорости изменения водозаписа (до  $0.1 \div 0.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ) и влагозаписа (до  $30 \div 40 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ). Однако если принять



**Рис. 3.** Фрагмент двухчастотной записи изменения радиояркостной температуры ясного неба, а также синхронно восстановленных значений водозаписа  $W$  и влагозаписа  $Q$  атмосферы: а) 12.11.1996 г.; б) 21.06.1997 г.; в) 23.06.1997 г.

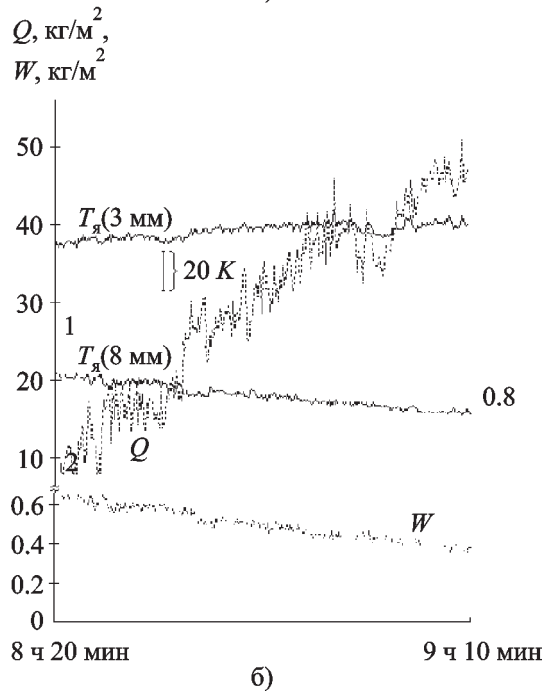
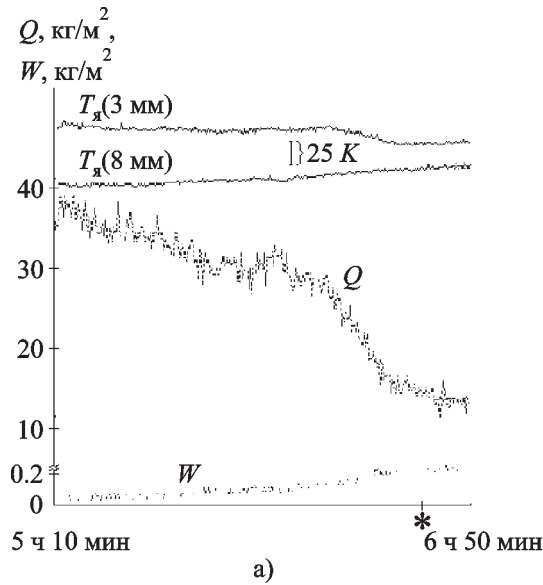


Рис. 4. Фрагмент двухчастотной записи изменения радиояростной температуры облачного неба, а также синхронно восстановленных значений водозапаса  $W$  и влагозапаса  $Q$  атмосферы: а) 3.03.1997 г.; б) 17.03.1997 г.

во внимание температурный ход коэффициента поглощения капельной влаги для диапазона отрицательных температур (рис. 5) [10], то требования к скорости изменения влагозапаса и водозапаса (необходимые для количе-

ственного объяснения описанных явлений) будут существенно снижены. Кроме того, в ряде случаев возможно объяснить эти аномалии только за счет изменения температуры воздуха (без привлечения механизма изменения влагозапаса атмосферы). Хотя, на наш взгляд, в природе действуют одновременно оба эти механизма. Причем в теплый период года второй механизм, обусловленный изменением температуры капель, может проявиться только в верхних слоях тропосферы, имеющих отрицательную температуру воздуха. Следует отметить, что в условиях отсутствия достоверной информации о высоте и толщине этих слоев, а также об изменении в них температуры и о размерах предполагаемых капель нельзя было учесть изменение температуры капель и возможный эффект рассеяния на них. Если по этой причине ограничиться постоянным значением температуры воздуха в интервале времени, в котором проводится восстановление значений водозапаса или влагозапаса атмосферы, вероятно, получаются несколько завышен-

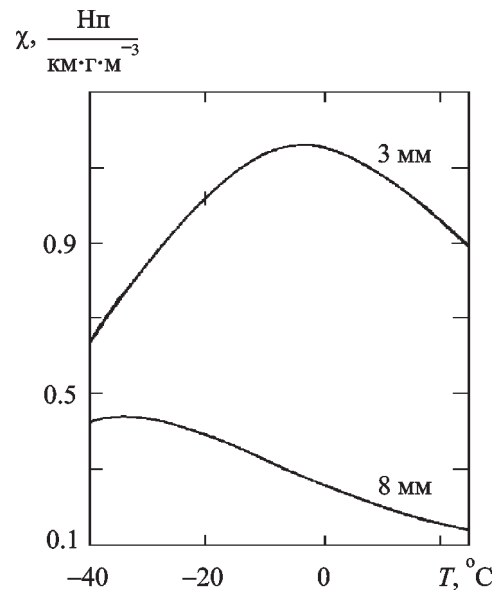


Рис. 5. Температурная зависимость коэффициента поглощения воды, рассчитанная с помощью формул Дебая для 3-мм и 8-мм диапазонов волн [10]

ные значения их вариаций (рис. 3).

### Анализ косвенных аргументов

По оценкам автора, наличие (появление) в ясной (безоблачной) атмосфере визуально ненаблюдаемой капельной либо кристаллической влаги в виде облаков (невидимой, возможно, из-за ее равномерного пространственного распределения и вследствие ее небольшой плотности, но распределенной в большом интервале высот), может приводить к описанным аномальным явлениям в поглощении радиоволн.

Помимо теоретической возможности объяснить механизм возникновения наблюдавшихся аномалий, имеются иные основания для предположений о существовании в ясной атмосфере визуально невидимой капельной влаги, а также о ее фазовых переходах.

Косвенными аргументами в пользу наличия такого механизма являются следующие факты.

- Поведение двухчастотных записей, аналогичное аномальному для ясной атмосферы, наблюдалось весьма часто в течение годового цикла непрерывных измерений в отдельных зонах облачности. Хотя для облачности такие процессы фазового перераспределения влаги вполне естественны и не вызывают сомнений (рис. 4).

- В ясной атмосфере наблюдавшиеся редкие случаи различия знаков скоростей изменения  $T_y$  всегда имели место лишь в предрасветные часы либо в течение короткого промежутка времени после восхода Солнца, но именно в это время наиболее интенсивно происходит вымораживание атмосферной влаги и возникают условия для ее сублимации и конденсации (стока пара в результате радиационного охлаждения) в капли, кристаллы и на земной поверхности. Кроме того, наиболее динамичные и интенсивные изменения в процессах испарения влаги с земной поверхности, таяния кристаллов и испарения капель происходят сразу после рассвета.

- В ясной атмосфере влажность воздуха, как правило, ниже 80 ÷ 100 % (капли в облаках образуются, как известно, на крупных яд-

рах конденсации при относительной влажности воздуха, превышающей 80 %), однако метеорологам известно, что быстрое образование капель на мелких ядрах конденсации (с радиусом менее 0.35 мкм) возможно даже при 30 % влажности воздуха [11].

- Хотя различие знаков скоростей изменения  $\tau$  в 3-мм и 8-мм диапазонах, по данным наших измерений, наблюдается редко (менее 0.1 % времени наблюдений в году), часты случаи малозаметного несоответствия теоретических и измеренных значений  $\tau$  в этих диапазонах, которые можно объяснить предложенным выше механизмом.

Все эти обстоятельства в совокупности дают основания предположить, что в атмосфере существует не наблюдаемая визуально капельная и кристаллическая влага. Такая влага может приводить к отмечавшемуся многими авторами несоответствию между экспериментальными и теоретическими данными в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн.

Таким образом, в результате проведенного рассмотрения прямых и косвенных признаков можно предположить следующее:

- отмеченные аномалии радиоизлучения безоблачной атмосферы наблюдаются за счет притока (либо оттока) пара с земли или из соседних зон атмосферы при одновременных фазовых переходах капельной влаги;

- если отмечена возможность существования капельной либо кристаллической влаги при этих аномальных явлениях, то вполне вероятно ее наличие в атмосфере и в обычных условиях, когда она проявляется менее ярко (не в виде аномального поведения в отличиях знаков скоростей изменения радиояркости, а в виде некоторого несоответствия теории и эксперимента).

### Заключение

Выдвинута гипотеза, которая позволяет объяснить не только наблюдавшиеся нами различия знаков скоростей изменения радиояркости атмосферы на двух частотах, но и наблюдавшиеся многими авторами в тече-



ние десятков лет аномалии поглощения на различных частотах миллиметрового диапазона волн. Конечно, для ее подтверждения, а также для проведения статистического и количественного уточнений необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические данные. Причем радиофизические экспериментальные данные должны быть получены в тесном взаимодействии с синхронными метеорологическими контактными измерениями параметров атмосферы (в том числе с контактными измерениями, специально направленными на поиск источников дополнительного поглощения в ясной атмосфере миллиметровых волн, имеющих гидрометеорное происхождение).

### Литература

1. Г. М. Айвазян. Распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн в облаках. Справочник под общей редакцией Г. Г. Шукина. Ленинград, Гидрометеиздат, 1991, 480 с.
2. А. Ю. Зражевский. Автореферат дисс. канд. тех. наук. Москва, ИРЭ АН СССР, 1977, 31 с.
3. С. А. Жевакин, А. П. Наумов. Известия вузов. Радиофизика. 1966, **9**, №3, с. 433-450.
4. Ю. А. Зражевский. Радиотехника и электроника. 1976, **2**, №5, с. 951-958.
5. H. J. Liebe. International Journal of Infrared and Millimeter Waves. 1989, **10**, No. 6, pp. 631-650.
6. V. P. Churilov and N. V. Ruzhentsev. Turkish Journal of Physics. 1995, **19**, No. 10, pp. 1282-1285.
7. N. V. Ruzhentsev, V. P. Churilov. Abstracts of 1994 URSI Commissions-F Microwave Specialist Symposium on Microwave Remote Sensing of the Earth, Ocean, Ice and Atmosphere. Lawrence, Kansas, USA, May 1994, p. 59.
8. N. V. Ruzhentsev and Yu. A. Kuzmenko. Proc. of URSI Commition F Int. Symp. "Climatic Parameters on Radio Waves Propagation (CLIMPARA'98)", Ottawa, April 1998, pp.123-126.
9. N. V. Ruzhentsev and Yu. A. Kuzmenko. Proceedings of URSI Commition F Int. Triennial Open Symposium on "Wave Propagation and Remote Sensing". Portugal, Aveiro, 22-25 September 1998, pp. 247-250.
10. С. А. Жевакин. Известия вузов. Радиофизика. 1978, **21**, №8, с. 1122-1131.
11. Физика Атмосферы. Т. 2. Под редакцией А. Х. Хргиан. Ленинград, Гидрометиздат, 1978, 318 с.

### Anomalous Effects in Atmospheric Radiation at Millimeter Waves

**N. V. Ruzhentsev**

The cases of uncommon (from the most spread current viewpoint) change of atmospheric radiation at millimeter-wave range are described. The hypothesis concerning existence of dropwise and crystalline moisture in a cloudless atmosphere is put forward. The acceptance of such point of view gives also possibility to explain numerous cases of anomalous exceeding the experimental and theoretical values of atmosphere radio brightness noted by different authors at the short-wave part of millimeter range.