

М.Ю. Третьяков, М.А. Кошелев, И.А. Коваль, В.В. Паршин, **Ю.А. Дрягин**,
Л.М. Кукин, Л.И. Федосеев

Континуальное поглощение в смеси водяного пара с азотом в диапазоне 100–210 ГГц

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

Поступила в редакцию 30.10.2006 г.

С помощью резонаторного спектрометра проведено исследование зависимости континуального поглощения излучения от влажности в смеси паров воды с азотом при атмосферном давлении в диапазоне частот 100–210 ГГц при температурах 297 и 274,5 К. Для каждой температуры выделены линейная и квадратичная по влажности части континуального поглощения и определены величины соответствующих параметров. Сделана оценка температурной зависимости полученных параметров. Представлен сравнительный анализ полученных данных с результатами предшествующих экспериментальных и теоретических исследований. Обсуждается возможность устранения вероятного источника систематических ошибок измерений, связанного с осаждением молекул воды на зеркала резонатора.

Введение

Наличие паров воды в атмосфере Земли является одной из основных причин поглощения излучения миллиметрового и субмиллиметрового (мм–субмм) диапазонов. Прецизионная информация о величине поглощения в зависимости от параметров атмосферы является основой для построения теоретических моделей распространения излучения в атмосфере, необходимых как для интерпретации данных, получаемых при мониторинге атмосферы с наземных, воздушных и космических станций дистанционного зондирования, так и для расчета дальности действия радаров и систем связи наземного и космического базирования.

Более полувека назад было обнаружено [1] и впоследствии подтверждено многими исследователями как в полевых (см., например, [2]), так и в лабораторных (например, [3]) экспериментах, что значение поглощения мм–субмм-излучения в окнах прозрачности атмосферы значительно превышает расчетное, получаемое в виде суммы профилей поглощения всех известных молекулярных линий. Это избыточное поглощение, обычно называемое континуальным, разделяют на две части, одна из которых относится к поглощению в сухом воздухе, а вторая связана с поглощением в водяном паре. Вторую часть тоже разделяют на две составляющие. Одна из них относится к взаимодействию молекул воды между собой (соответствующее поглощение пропорционально квадрату парциального давления водяных паров), а вторая — к взаимодействию молекул воды с молекулами другого газа (соответствующее поглощение пропорционально произведению их парциальных давлений).

Большинство исследователей континуума сходятся в том, что его величина возрастает пропорционально квадрату частоты излучения. В коротковолновой части мм-диапазона это подтверждается результатами цикла работ А. Bauer et al., обобщенного в [4] и являющегося наиболее обширным из всех предшествующих экспериментальных исследований континуума.

В широкодиапазонных исследованиях J.R. Pardo et al. [5] и V.V. Podobedov et al. [6] демонстрируется, что зависимость континуального поглощения от частоты в субмм-диапазоне также близка к квадратичной. Однако теоретический расчет континуума, возникающего при столкновениях молекул воды и азота, проделанный Q. Ma and R. Tipping [7], предсказывает частотный показатель степени $n_4 = 2,059$ в диапазоне 0–450 ГГц при температурах 220–330 К.

Несмотря на значительное число работ, посвященных континууму в мм–субмм-диапазоне, достигнутое представление о проблеме является неудовлетворительным. Имеющиеся экспериментальные данные обладают большими неопределенностями, сравнительно немногочисленны и не всегда согласуются друг с другом. Температурная зависимость континуума исследована недостаточно. Большинство экспериментальных данных получено при положительных температурах. Экстраполяция полученных зависимостей на область отрицательных температур, соответствующих большей части земной атмосферы, может привести к значительным ошибкам.

Все еще не существует однозначного мнения по поводу физических механизмов, приводящих к возникновению континуума. Можно выделить два основных подхода. В одном континуум объясняется

несовершенством традиционных форм линии (например, форма Ван Флека–Вейскопфа (ВФВ)), полученных в приближении ударного взаимодействия молекул, и предлагается более строгий вывод формы столкновительно-уширенной линии поглощения, например в рамках квазистатического приближения [8]. В другом считается, что концентрация слабосвязанных молекулярных комплексов $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_2$ и $\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$ в атмосфере достаточно высока, чтобы объяснить континуум поглощением в спектре этих комплексов [9]. В сложившейся ситуации для учета континуума в моделях распространения излучения используется эмпирическая формула [4,10], которая для смеси водяного пара с азотом записывается в виде

$$\alpha_{\text{cont}}(f, T) = \left[C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2} P_{\text{N}_2} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{n_1} + C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{n_2} \right] P_{\text{H}_2\text{O}} + \left[C_{\text{N}_2-\text{N}_2} P_{\text{N}_2}^2 \left(\frac{T_0}{T}\right)^{n_3} \right] \times \left(\frac{T_0}{T}\right)^3 f^{n_4}, \quad (1)$$

где $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}$, $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}$ и $C_{\text{N}_2-\text{N}_2}$ – коэффициенты, связанные соответственно с взаимодействием молекул воды и азота, молекул воды между собой и молекул азота между собой; P_{N_2} и $P_{\text{H}_2\text{O}}$ – парциальные давления азота и паров воды; T – температура ($T_0 = 300$ К); n_i ($i = 1, 2, 3$) – показатели степени температурных зависимостей для соответствующих компонент континуума; n_4 – показатель степени частотной зависимости, обычно принимаемый равным 2 [4–6, 10] или близким к этому значению ($n_4 = 2,059$ [7]).

Таким образом, получение новых экспериментальных данных о континуальном поглощении актуально как для уточнения эмпирических моделей, так и для понимания природы континуума. Цель настоящей работы – измерение параметров континуума, связанного с влажностью в смеси водяного пара с азотом, в частности исследование частотной и температурной зависимостей континуума, с помощью новых возможностей, появившихся в ИПФ РАН после разработки современного резонаторного спектрометра [11].

Эксперимент

Для исследования использовались резонаторный спектрометр [11] и методика измерения поглощения, подробно изложенная в [12, 13]. Для учета аппаратной функции резонатор заполнялся чистым азотом. Таким образом, измеряемое в эксперименте поглощение не содержало азотного континуума [третье слагаемое в формуле (1)]. Поэтому для параметризации наблюдаемого континуума при фиксированной температуре применялась упрощенная формула

$$\alpha_{\text{cont}}^T(f) = (C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}^T P_{\text{N}_2} P_{\text{H}_2\text{O}} + C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}^T P_{\text{H}_2\text{O}}^2) f^2, \quad (2)$$

где верхний индекс T означает, что соответствующие параметры относятся к определенной температуре. Квадратичная по частоте функция использовалась для возможности сравнения наших данных с имеющимися.

Спектр поглощения смеси паров воды с азотом в исследуемом частотном диапазоне 100–210 ГГц складывается из поглощения в линии воды $2_{20}-3_{13}$ с центром у 183 ГГц, поглощения в дальних крыльях других линий воды и континуального поглощения. Отсюда следует, что величина континуума, извлекаемая из общего поглощения, будет зависеть как от используемой модели формы резонансной спектральной линии, так и от числа учитываемых линий.

Следуя методике [4], мы вычитали поглощение в линиях воды двумя способами. В первом случае использовалась модель, обозначаемая в дальнейшем LIE93, созданная на основе списка линий и модели атмосферного поглощения H.J. Liebe et al. [14], известной как MPM93 (контур линии ВФВ без обрезания крыльев). Во втором случае за основу бралась модель P.W. Rosenkranz [10] (контур ВФВ с обрезанием крыльев линий на 750 ГГц от центра). Эту модель в дальнейшем будем обозначать ROS98. В обеих моделях коэффициенты уширения линий воды были увеличены по сравнению с исходными в 1,11 раза [4] для учета более эффективного уширения линий давлением азота по сравнению с воздухом.

Записи спектра поглощения паров воды в азоте при температуре 297 К и давлении 977,3 гПа, полученные при шести различных значениях относительной влажности смеси, показаны на рис. 1 в логарифмическом масштабе.

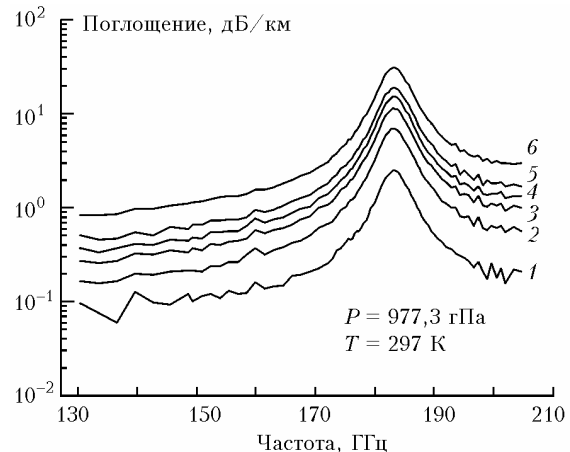


Рис. 1. Записи спектра поглощения смеси паров воды с азотом. Кривые 1–6 соответствуют 3, 10, 15, 20, 25 и 40% относительной влажности смеси

Параметры линии воды у 183 ГГц были определены из аппроксимации каждой экспериментальной записи профилем ВФВ, как это делалось в [12], и соответствующее поглощение было вычтено из экспериментальных данных.

Учет крыльев других линий воды делался согласно спискам линий и параметрам упоминавшихся выше моделей LIE93 и ROS98. Полученное

в результате континуальное поглощение для каждой влажности было аппроксимировано функцией (2). Отметим, что при варьировании степени частотной зависимости наилучшее совпадение получается при значениях n_4 от 2,2(2) до 2,5(2) для разных записей, что может быть проявлением неизвестных систематических ошибок эксперимента (или его обработки) либо свойств континуума в данном частотном диапазоне.

Зависимость полученных в результате аппроксимации значений выражения в скобках в формуле (2) от $P_{\text{H}_2\text{O}}$, в свою очередь, аппроксимирована суммой линейного и квадратичного по $P_{\text{H}_2\text{O}}$ членов, что позволило определить коэффициенты $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}^{297}$ и $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}^{297}$. Их значения, полученные при использовании двух различных моделей учета поглощения в линиях воды, приведены в таблице вместе со значениями аналогичных параметров при 297 К из наиболее известных предшествующих экспериментальных (Liebe [3] и Bauer et al. [4]) и теоретических (Ma & Tipping [7]) исследований континуума во влажном азоте.

В эксперименте при низкой температуре для охлаждения газовой смеси в резонаторе использовался холодный атмосферный воздух. Измерения проводились в специально оборудованном помещении на крыше института. Для минимизации вариации температуры и давления было решено уменьшить время эксперимента за счет значительного уменьшения числа точек по частоте, в которых производились измерения. Зависимость величины поглощения при температуре 274,5 К и давлении 977,3 гПа от влажности смеси паров воды с азотом, дискретно увеличиваемой от 3 до 57%, измерялась последовательно на пяти частотах: 110, 125, 140, 155, 170 ГГц и снова для контроля на 110 ГГц.

После вычитания вклада крыльев линий воды, по аналогии с экспериментом при 297 К, полученный спектр континуума при каждой влажности аппроксимировался функцией (2). Полученные зависимости поглощения от $P_{\text{H}_2\text{O}}$ показаны на рис. 2 для каждой из частот.

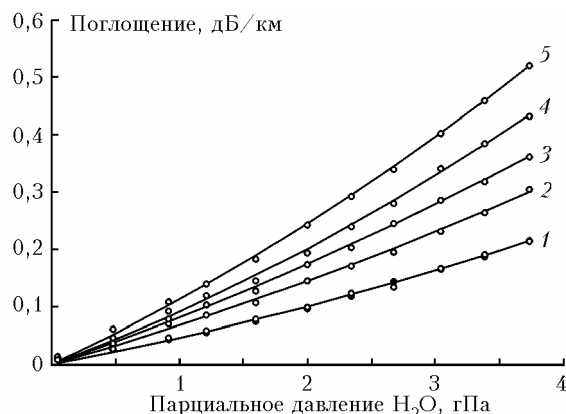


Рис. 2. Зависимость континуального поглощения, полученного вычитанием резонансного поглощения в линиях воды по модели ROS98, от парциального давления паров воды при температуре 274,5 К и давлении 996 гПа. Кривые 1–5 соответствуют частотам 110, 125, 140, 155 и 170 ГГц. Кружки – эксперимент (на графике 110 ГГц, контрольные точки, соответствующие завершению измерения при каждой влажности, отмечены черными точками). Сплошные линии – аппроксимирующие функции

Незначительный случайный разброс точек ($\sigma \sim 0,004$ дБ/км), соответствующих измерениям на частоте 110 ГГц при каждой влажности до и после измерений на остальных частотах, говорит об отсутствии систематического изменения влажности во время измерений и позволяет судить о статистических ошибках единичных измерений поглощения. Значения коэффициентов $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}^{274}$ и $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}^{274}$, полученные так же, как и в эксперименте при 297 К, приведены в таблице.

Температурные зависимости континуального поглощения, т.е. показатели степени n_1 и значения коэффициентов C из формулы (1), были найдены из решения системы уравнений

$$C_j^{300} (300/297)^{n_i} = C_j^{297}, \quad C_j^{300} (300/274)^{n_i} = C_j^{274},$$

где индекс j означает $\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$ при $i=1$ или $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ при $i=2$. Результаты приведены в таблице.

Коэффициенты континуального поглощения C^{297} и C^{274} , полученные из наших экспериментов, и параметры C^{300} и n по модели (1) в сравнении с аналогичными данными из работ Ma & Tipping [7] (на частоте 170 ГГц), Bauer et al. [4] (учет крыльев линий по модели, аналогичной нашей ROS98) и Liebe [3]. Значения коэффициентов даны в (дБ/км)/(ГГц²·гПа²)

Параметр	Смесь	Наш эксперимент		Ma & Tipping	Bauer et al.	Liebe
		LIE93	ROS98			
C^{274}	$\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$	$3,246(310) \cdot 10^{-7}$	$3,424(322) \cdot 10^{-7}$	–	$1,874(34) \cdot 10^{-7}$	$1,345 \cdot 10^{-7}$
	$\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$	$3,633(97) \cdot 10^{-9}$	$3,999(99) \cdot 10^{-9}$	$3,357 \cdot 10^{-9}$	$4,419(124) \cdot 10^{-9}$	$3,183 \cdot 10^{-9}$
C^{297}	$\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$	$1,334(200) \cdot 10^{-7}$	$1,375(128) \cdot 10^{-7}$	–	$0,9844(180) \cdot 10^{-7}$	$1,018 \cdot 10^{-7}$
	$\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$	$1,840(202) \cdot 10^{-9}$	$2,115(130) \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-9}$	$3,129(88) \cdot 10^{-9}$	$2,61 \cdot 10^{-9}$
C^{300}	$\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$	$1,199(378) \cdot 10^{-7}$	$1,232(308) \cdot 10^{-7}$	–	$0,9111(166) \cdot 10^{-7}$	$0,985 \cdot 10^{-7}$
	$\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$	$1,695(274) \cdot 10^{-9}$	$1,959(205) \cdot 10^{-9}$	$2,155 \cdot 10^{-9}$	$3,002(84) \cdot 10^{-9}$	$2,548 \cdot 10^{-9}$
n	$\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$	8,19(309)	8,48(236)	–	5,102(190)	0,5
	$\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$	5,56(172)	5,02(109)	1,982	1,343(285)	–0,5

Для проверки полученных таким образом параметров континуума был записан еще один широкодиапазонный спектр смеси паров воды с азотом при 269,5 К, аналогичный спектрам на рис. 1. Континуальное поглощение, извлеченное из спектра, совпало в пределах статистических ошибок с расчетным по формуле (1) с использованием наших коэффициентов из таблицы.

Обсуждение результатов

Коэффициенты континуума C^{300} и их температурные зависимости, полученные нами при использовании различных моделей учета вклада резонансных линий водяного пара, совпадают в пределах статистических ошибок (1σ). Это означает, что погрешность учета вклада линий воды, связанная с неполнотой списка линий или с обрезанием крыльев линий, является незначительной на данном этапе наших исследований континуума.

Сравнительный анализ коэффициентов $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}$ показывает, что отличие наших значений от значений из экспериментальной работы Bauer et al. [4] нарастает с уменьшением температуры. При 300 К отличие не выходит за пределы статистических ошибок 1σ . При 297 К превышение составляет 35%, и о согласии можно говорить лишь в пределах 3σ . При 274,5 К отличие составляет уже более 80%, значительно превышая ошибки измерений. Аналогичное сравнение $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}$ показывает, что наши значения, наоборот, существенно ($\sim 50\%$) меньше соответствующих значений из [4] при 300 К, но совпадают в пределах 3σ ($\sim 10\%$) при 274,5 К. Отметим хорошее ($\sim 15\%$) согласие наших коэффициентов $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}$ с результатами теоретических расчетов Ma & Tipping [7]. Почти все наши коэффициенты не отличаются от экспериментальных данных Liebe [3] более чем на 35%, за исключением $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}^{274}$, отличие для которого составляет более 2,5 раза. Полученная нами температурная зависимость для обеих компонент континуума оказалась значительно более сильной, чем у предшественников, но из-за большой статистической неопределенности наших параметров можно говорить, что отличие от данных [4] и [7] лишь немного превышает 3σ .

Таким образом, континуальное поглощение в смеси паров воды и азота, связанное с влажностью, было исследовано в диапазоне 100–210 ГГц. Количественные широкодиапазонные измерения континуума такой смеси в этой области частот и при температурах около и ниже точки замерзания воды проведены впервые. Определены параметры континуума, включая температурную зависимость его компонент. Характер измеренного поглощения в целом неплохо согласуется с предшествующими данными и современными представлениями о континууме, однако его температурная зависимость получилась более сильной, чем в других работах [4, 6–10, 14]. Это отличие может быть связано со свойствами континуального поглощения, проявляю-

щегося в увеличении степени температурной зависимости при понижении абсолютной температуры.

Другим объяснением этого расхождения может быть проявление систематической ошибки измерений, связанной с осаждением молекул воды на зеркалах резонатора и уменьшением их коэффициента отражения при заполнении резонатора исследуемой смесью. Эффект осаждения воды при использовании традиционной методики измерения аппаратной функции путем замещения исследуемой смеси непоглощающим газом проявляется точно так же, как дополнительное поглощение в исследуемой газовой смеси. Причем чем ниже температура зеркал и чем выше влажность смеси, тем сильнее проявляется эффект. То есть эффект должен проявляться не только как получающаяся из измерений более сильная температурная зависимость, но и как завышенное значение члена $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}}$, отвечающего за взаимодействие молекул воды между собой, что и подтверждается результатами наших экспериментов.

Резонаторные спектрометры являются в настоящее время единственными инструментами для лабораторных исследований континуума в длинноволновой части мм–субмм-диапазона. Во всех наиболее известных исследованиях [3, 4, 15] для определения аппаратной функции резонатор либо заполняется непоглощающим газом, либо откачивается до глубокого вакуума, что приводит к удалению молекул воды с зеркал резонатора. Применение подогрева зеркал [3] или проведение экспериментов при повышенных температурах [4] лишь уменьшают влияние эффекта.

Методика учета эффекта, основанная на постепенной откачке исследуемой смеси и определении континуума как наклона зависимости поглощения от произведения $P_{\text{H}_2\text{O}}P_{\text{N}_2}$ [15], также не является решением проблемы.

Во-первых, она применима лишь для измерения $C_{\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2}$.

Во-вторых, методика рассчитана на использование очень малых влажностей, когда квадратичным по влажности членом континуума можно пренебречь.

И в-третьих, коэффициент отражения зеркал может также иметь составляющую, линейно зависящую от $P_{\text{H}_2\text{O}}P_{\text{N}_2}$. Таким образом, осаждение молекул воды на зеркалах резонатора являлось общим фактором, способным повлиять на величины параметров континуума во влажных газах в мм–субмм-диапазоне, полученных из данных известных лабораторных экспериментов. Для проверки этой гипотезы и для установления истинной температурной зависимости континуума мы планируем применить в последующих измерениях метод вариации длины резонатора, упоминавшийся в [11] и устраняющий влияние этого фактора.

Суть метода состоит в том, что при изменении длины резонатора все потери излучения, связанные с аппаратурой, остаются неизменными, а потери, связанные с поглощением в газе, заполняющем резонатор, растут пропорционально длине. Несмотря на значительное увеличение объема и сложности

измерений, метод позволяет измерять поглощение в газе без предварительной записи аппаратной функции, изменяющейся при замене исследуемой газовой смеси на непоглощающий газ.

Метод даст возможность значительно расширить диапазон рабочих температур эксперимента, что также увеличит точность определения степени температурной зависимости континуума. Кроме этого мы планируем проведение исследования континуального поглощения в смеси паров воды со вторым основным составляющим атмосферы – кислородом.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 06-02-16082-а, 05-02-17522-а и Программы «Проблемы радиофизики», Отделения физических наук РАН.

1. *Becker G.E., Autler S.H.* Water Vapor Absorption of Electromagnetic Radiation in the Centimeter Wave-Length Range // *Phys. Rev.* 1946. V. 70. N 5–6. P. 300–307.
2. *Кукин Л.М., Ноздрин Ю.Н., Рядов В.Я., Федосеев Л.И., Фурашов Н.И.* Определение вклада мономеров и димеров водяного пара в атмосферное поглощение по данным измерений в диапазоне 1,15–1,55 мм // *Радиотехн. и электрон.* 1975. Т. 20. № 10. С. 2017–2026.
3. *Liebe H.J.* The atmospheric water vapor continuum below 300 GHz // *Int. J. Infrared Millimeter Waves.* 1984. V. 5. N 2. P. 207–227.
4. *Kuhn T., Bauer A., Godon M., Buhler S., Kunzi K.* Water vapor continuum: absorption measurements at 350 GHz and model calculations // *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.* 2002. V. 74. N 5. P. 545–562.
5. *Pardo J.R., Serabyn E., Cernicharo J.* Submillimeter atmospheric transmission measurements on Mauna Kea during extremely dry El Nino conditions: implications for broadband opacity contributions // *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.* 2001. V. 68. N 4. P. 419–433.
6. *Podobedov V.B., Plusquellic D.F., Fraser G.T.* Investigation of the water-vapor continuum in the THz region using a multipass cell // *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.* 2005. V. 91. N 3. P. 287–295.
7. *Ma Q., Tipping R.H.* A simple analytical parameterization for the water vapor millimeter wave foreign continuum // *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.* 2003. V. 82. N 4. P. 517–531.
8. *Ma Q., Tipping R.H.* The averaged density matrix in the coordinate representation: application to the calculation of far-wing line shapes for H₂O // *J. Chem. Phys.* 1999. V. 111. N 13. P. 5909–5921.
9. *Vigasin A.A.* Water vapor continuous absorption in various mixtures: possible role of weakly bound complexes // *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.* 2000. V. 64. N 1. P. 25–40.
10. *Rozenkranz P.W.* Water vapor microwave continuum absorption: A comparison of measurements and models // *Radio Sci.* 1998. V. 33. N 4. P. 919–928.
11. *Krupnov A.F., Tretyakov M.Yu., Parshin V.V., Shanin V.N., Myasnikova S.E.* Modern Millimeter-wave Resonator Spectroscopy of Broad Lines // *J. Mol. Spectrosc.* 2000. V. 202. N 1. P. 107–115.
12. *Tretyakov M.Yu., Parshin V.V., Koshelev M.A., Shanin V.N., Myasnikova S.E., Krupnov A.F.* Studies of 183 GHz water line: broadening and shifting by air, N₂ and O₂ and integral intensity measurements // *J. Mol. Spectrosc.* 2003. V. 218. N 2. P. 239–245.
13. *Tretyakov M.Yu., Koshelev M.A., Dorovskikh V.V., Makarov D.S., Rosenkranz P.W.* 60-GHz oxygen band: precise broadening and central frequencies of fine structure lines, absolute absorption profile at atmospheric pressure, revision of mixing coefficients // *J. Mol. Spectrosc.* 2005. N 1. V. 231. P. 1–14.
14. *Liebe H.J., Hufford G.A., Cotton M.G.* Propagation Modeling of Moist Air and Suspended Water/Ice Particles at Frequencies Below 1000 GHz // AGARD 52nd Specialists' Meeting of the Electromagnetic Wave Propagation Panel, Palma De Mallorca, Spain 17–21 May, 1993 P. 3–10.
15. *Meshkov A.I., De Lucia F.C.* Broadband absolute absorption measurements of atmospheric continua with millimeter wave cavity ringdown spectroscopy // *Rev. of Sci. Instrum.* 2005. V. 76. N 8. 083103.

M.Yu. Tretyakov, M.A. Koshelev, I.A. Koval, V.V. Parshin, Yu.A. Dryagin, L.M. Kukin, L.I. Fedoseev. **Continuum absorption by a mixture of nitrogen with water vapor in 100–210 GHz range.**

Investigation of the dependence of the continuum absorption on the humidity in a mixture of nitrogen with water vapor at the atmospheric pressure was conducted in 100–210 GHz frequency range at two temperatures: 297 K and 274.5 K using a resonator spectrometer. Linear and square humidity parts of the continuum absorption were separated from the experimental data and values of corresponding parameters were determined for each temperature. Temperature dependence of the obtained parameters was estimated. Comparative analysis of the obtained data with results of previous theoretical and experimental studies is presented. The possibility of elimination of systematical errors related to water molecules precipitation on the resonator mirrors is discussed.