

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В ОБЛАЧНОМ ПОКРОВЕ УКРАИНЫ

Н. В. РУЖЕНЦЕВ

В работе проведена оценка значений вертикального ослабления радиоволн миллиметрового диапазона в облачной атмосфере и их вариаций над различными регионами Украины. Рассмотрено влияние типа облачного покрова, а также факторов сезонной и территориальной изменчивости на параметры вертикального ослабления облачностью в широком диапазоне частот.

Ключевые слова: вертикальное ослабление, облачный покров, миллиметровый диапазон, территория Украины.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований значений полного вертикального ослабления радиоволн миллиметрового диапазона на Украине связана с отсутствием такой информации на фоне стремительного развития мировых тенденций создания сверхвысокоскоростных (до 10 Гбит/с) беспроводных наземнокосмических и радиорелейных каналов связи, сетей передачи мультимедийной информации. Разработка и построение современных и перспективных систем связи осуществляется путем перехода от традиционного сантиметрового диапазона радиоволн (ДВ) к миллиметровому (ММ) (до частот 60–100 ГГц и выше) [1]. Переход к широкомасштабному использованию таких высокоскоростных систем уже характеризуют как новую инновационную волну, сопоставимую с появлением стандартов сотовой связи и систем Wi-Fi. В их практической реализации участвуют такие крупнейшие компании мира, как Эрикссон, Моторола, Сименс и многие др. В ближайшей перспективе вся территория ЕС будет усеяна радиорелейными и VSAT-станциями Ka- и Ku-диапазонов, работающими в сетях европейских спутников, таких как KA-SAT и NYLAS, которые совмещают услуги Интернета с различными услугами вещания.

Для европейской территории бывшего СССР (ЕТС) вопросы вертикального ослабления радиоволн активно исследовались более 30-ти лет назад, главным образом в регионе средней полосы России. Интерес к этой проблеме был обусловлен в те годы потребностями интенсивного развития методов дистанционного зондирования и нуждами военного приложения. Однако, если применение полученных ранее для ЕТС результатов в СМ ДВ можно считать приемлемым для территории Украины, то правомерность переноса аналогичных результатов ММ ДВ для их практического использования на Украине во многих случаях сомнительна. Это связано с повышенной реакцией атмосферного ослабления в ММ ДВ на региональные отличия высотных профилей метеопараметров, значений влажности и статистики типов облачного покрова. В связи

с особой чуткостью ослабления ММ ДВ к региональным микроклиматическим особенностям метеопараметров атмосферы, а также с учетом практической важности этих сведений, в последние годы в различных регионах мира (США, страны ЕС, Индия, Бразилия) активизируются такого рода исследования [2–3]. В то же время, для территории Украины сведения об особенностях территориальной и сезонной изменчивости вертикального и погонного ослабления ММ ДВ в облаках отсутствуют полностью. Хотя, для условий ясной атмосферы и в дождях такого рода первые результаты о региональной и сезонной изменчивости ослабления на Украине недавно были уже получены [4–5].

1. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ

При проведении оценок вертикального затухания в атмосфере во многих случаях необходимо учитывать затухание в капельной фракции взвешенных частиц облаков. Например, для территории Украины наличие различных типов облачного покрова в течение года составляет более 70 % времени (сезонно повторяемость ясной погоды меняется от 20 до 40 %). При этом величина затухания в облачной среде в первую очередь зависит от концентрации капель, их температуры и толщины слоя облачности.

Взвешенные водные капли облаков являются эффективными поглотителями в ММ ДВ. Поскольку их размер, как правило, не превышает 50 мкм [6], — выбранная и использованная в данной работе радиофизическая МРМ модель Лииба [7] (основанная на Релеевском приближении в теории Ми) позволяет проводить расчёты ослабления в капельной фракции облаков до частот около 1000 ГГц. Эта модель обеспечивает погрешность вычислений погонного затухания в облаках от единиц процентов в ММ ДВ до 10–30 % на частоте 1000 ГГц.

Входными для МРМ модели Лииба, в случае рассмотрения облачного слоя, являются два метеорологических параметра: температура капель в °С — T и плотность взвешенных капель облака — W (г/м³).

Атмосферная рефракция радиоволн задаётся в [7] следующей формулой:

$$N_t(f) = N_0 + N(f) = N_0 + N'(f) - j N''(f), \quad (1)$$

где N_0 – действительная и положительная недисперсионная часть, N – комплексная функция частоты. При этом энергетическое ослабление радиоволн определяет мнимая часть (1) в соответствии со следующим выражением:

$$\alpha = 0,182 f N''(f) \text{ дБ / км}, \quad (2)$$

где f – частота в ГГц, $N''(f)$ – некая функция частоты и метеопараметров, в которой заложено влияние каждого компонента атмосферы на поглощение радиоволн. При рассмотрении такого компонента атмосферы, как взвешенные капли облаков, $N''(f)$ можно записать, как:

$$N_w''(f) = W(9/2)[\varepsilon''(1+\eta^2)]^{-1}$$

$$N_w'(f) = W(9/2)[1/(\varepsilon_0+2) - \eta/\varepsilon''(1+\eta^2)], \quad (3)$$

где $\eta = (2+\varepsilon'')/\varepsilon''$, ε_0 – статическая ($f=0$) и ε' , ε'' – реальная и мнимая части диэлектрической проницаемости для жидкой воды. Уравнение (3) недооценивает N_w на частотах выше 300 ГГц, где рассеивание Ми начинает играть роль (например, на частоте 1 ТГц увеличение N_w'' может достигать 30 % [8]).

Диэлектрическая постоянная $\varepsilon(f)$ воды здесь определена с помощью усовершенствованной модели двойного Дебая [7]:

$$\varepsilon''(f) = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1) f / f_p [1 + (f/f_p)^2] + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) f / f_s [1 + (f/f_s)^2], \quad (4)$$

$$\varepsilon'(f) = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1) / [1 + (f/f_p)^2] + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / [1 + (f/f_s)^2] + \varepsilon_2,$$

где $\varepsilon_0 = 77,66 + 103,3 (\Theta - 1)$, $\varepsilon_1 = 5,48$, $\varepsilon_2 = 3,51$, а f_p и f_s – основные и вторичные релаксационные частоты $f_p = 20,09 - 142 (\Theta - 1) + 294 (\Theta - 1)^2$ ГГц, а $f_s = 590 - 1500 (\Theta - 1)$ ГГц. $\Theta = 300 / (T + 273,15)$.

Уравнение (4) является наилучшим для диэлектрической постоянной для частот до 1000 ГГц при диапазоне температур капель от -10 до 30 °С.

Из приведенных выражений следует, что для использования описанной выше модели необходимо использовать данные о водности капельной фракции облачного слоя и о температуре капель. (Учет ослабления в кристаллической фазе водности облака на данном этапе исследований в работе не проводился, главным образом, в силу ее многократно меньшего вклада в общее ослабление и меньшей статистической наблюдаемости).

Проведённый литературный поиск сведений о пространственном распределении по территории Украины статистических данных о значениях водозапаса облачного слоя показал их отсутствие. При этом известно, что для регионов с отсутствием такой информации International Telecommunication Union (ITU) рекомендует использование карт изолиний значений водозапаса облачного покрова для разных вероятностей их наблюдения, которые строятся на основании модели ITU-R P.840-3 [9]. Используемые нами в расчетах сведения о температуре облачных капель были получены на основании литературных

данных о характерных значениях высоты и толщины облачного покрова того или иного типа [10] с привлечением высотных профилей температуры для каждого из рассматриваемых регионов Украины и периода года, взятых из современного метеорологического стандарта ESA [11]. Этот новый численный стандарт атмосферы, который кардинально отличается по своим функциональным возможностям и методу его создания от всех предыдущих, ИТУ рекомендовало в 2004 г. Стандарт был разработан на основе базы данных ERA-15, содержащей радиозондовые данные около 700 станций мира за 15-летний период регулярных радиозондовых наблюдений. К его достоинствам следует отнести возможность оперативного получения среднемесячных значений высотных профилей метеопараметров для любой точки мира до высот 32 км с возможностью учета рельефа местности, месяца и времени суток. Проведенные нами в последние годы исследования работоспособности этого стандарта [4–5, 12–14] показали его применимость и преимущества перед предшествующими аналогами для многих практических задач радиометрии ММ ДВ, дистанционного зондирования, астроклиматических оценок и др. вследствие достаточно высокой адекватности описания с его помощью атмосферного ослабления для равнинной и прибрежной территории Украины, а также для высокогорных регионов мира.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ

2.1. Вероятности превышения значений ослабления. Результаты проведенных на основе совокупности оценочной модели ITU-R P.840-3 [9] и МРМ модели Лиоба [7] расчётов, характерных для Украины вероятностей наблюдения превышений отмеченных на оси абсцисс значений вертикального ослабления в облачном покрове, приведены на рис. 1 для частот 20 ГГц, 30 ГГц, 50 ГГц, 90 ГГц, 140 ГГц.

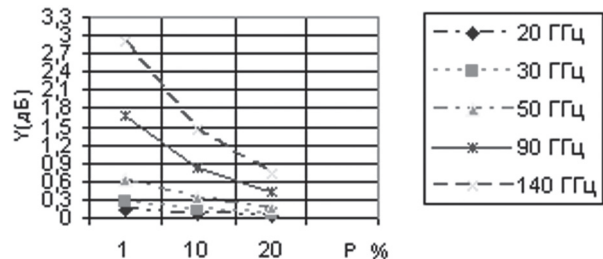


Рис. 1. Зависимость полного вертикального ослабления радиоволн ММ ДВ в облачном покрове (Y(дБ)) для разных значений вероятности (P) над территорией Украины

Из расчетов следует, что в ММ ДВ значения ослабления в облачном покрове в большинстве случаев соизмеримы с полным ослаблением вертикального столба ясной (безоблачной) атмосферы [4] в летнее время года (рис. 2). Эти сведения могут представлять практический интерес при проектировании перспективных линий тропосферной и наземно-космической связи.

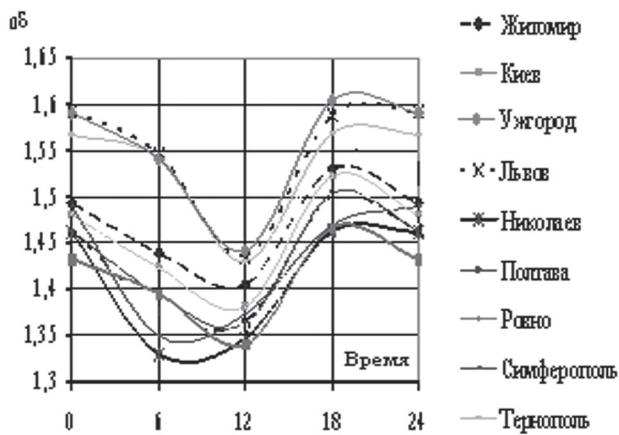
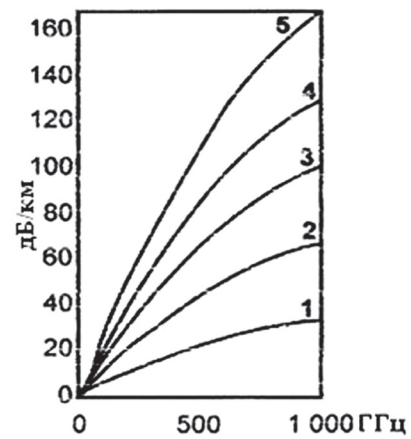


Рис. 2. Зависимость среднемесячных (июль) значений полного вертикального поглощения в атмосфере от УТ времени суток на частоте 94 ГГц для различных регионов Украины [4]

2.2. Среднесезонные значения вертикального ослабления в облаках. Помимо вероятностного распределения значений вертикального ослабления в облачном покрове, усредненного для всей территории Украины, большой практический интерес представляют сезонные оценки ослабления радиоволн в разных типах облачности и территориальная изменчивость этого параметра. Ведь, известно, что для каждого типа облачности в конкретном регионе страны характерна своя временная статистика его присутствия (наблюдаемости), а также свои значения таких параметров, как эффективные высота, толщина, водозапас и температура облачного слоя. Именно эти параметры, в совокупности, определяют вертикальное и погонное ослабление радиоволн ММ диапазона в облачном слое. Рисунки 3–4 наглядно демонстрируют зависимость погонного ослабления от значений концентрации и температуры взвешенных водяных капель облачности.

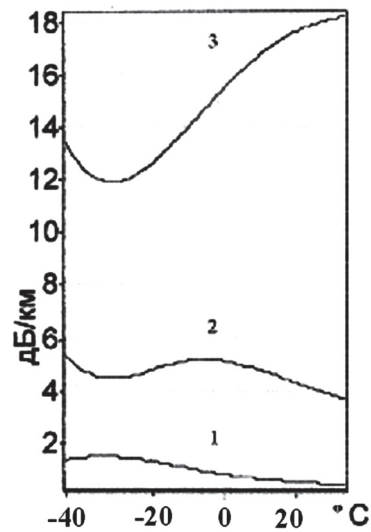
Анализ полученной частотной зависимости погонного затухания (γ) капельной фракции облаков показывает (рис. 3), что изменение частоты зондирующего сигнала от единиц до 1000 ГГц приводит к плавному росту его значений от единиц дБ/км для плотностей капель (W) меньше $0,5 \text{ г/м}^3$ до 160 дБ/км для плотностей 5 г/м^3 . Причем, как следует из расчетов, в сантиметровом диапазоне волн изменение W от малых значений до 5 г/м^3 приводит к изменению γ менее, чем на 2 дБ/км. При этом, зависимость изменения погонного поглощения от плотности капель, как и следовало ожидать, носит линейный характер. Ведь линейный рост плотности водяных капель (если не учитывать механизм многократного рассеяния) эквивалентен линейному росту коэффициента удельного ослабления, а, значит, и должен вести к линейному росту погонного ослабления. Аналогичное же изменение W вызывает, например, в 3 ММ окне прозрачности атмосферы (100 ГГц) рост γ более, чем на 20 дБ/км (рис. 3).



1 – $0,5 \text{ г/м}^3$; 2 – 2 г/м^3 ; 3 – 3 г/м^3 ; 4 – 4 г/м^3 ; 5 – 5 г/м^3

Рис. 3. Частотная зависимость γ для разных плотностей водяных капель

Приведенная на рис. 4 температурная зависимость γ для частот 30, 100 и 340 ГГц демонстрирует, что если в диапазоне 30 ГГц температурные изменения γ невелики (до 2 дБ) и имеют близкий к линейному характер зависимости, то уже на 340 ГГц эти изменения носят нелинейный характер, причем с обратным знаком градиентов изменения γ , и эти изменения могут достигать 8 дБ/км.



1 – 30 ГГц; 2 – 100 ГГц; 3 – 340 ГГц

Рис. 4. Температурная зависимость γ для $W = 1 \text{ г/м}^3$

Выбранная из литературных источников [10–11, 15] и затем использованная в работе для расчетов γ облачного слоя различного типа метеорологическая информация по Украине сведена в табл. 1. Здесь, $\Delta \bar{h}$ – средняя толщина облачного слоя, \bar{h} – средняя высота облачного слоя, Q – водозапас облака, W – водность облака, $T_{\text{облака}}$ – температура капель, % (включая кристаллические и смешанные), з – зима, в – весна, л – лето, о – осень.

На рис. 5–6 представлены зависимости вертикального и погонного ослабления радиоволн ММ диапазона в среднестатистических для

Украины облаках различного типа. Видно, что для высоко-кучевых облаков вертикальное затухание значительно меньше в зимний и весенний периоды. В летнее и осеннее время его величины, возрастая в несколько раз, становятся сравнимы (рис. 5).

У слоисто-кучевого типа облачности зависимость ослабления от периода года несколько иная (рис. 5, б). Так, минимальное ослабление просматривается в зимнее время, в весеннее и осеннее время возрастает и максимума достигает летом, возрастая в несколько раз.

Сезонный ход ослабления у слоисто-дождевого типа облачности сходен со слоисто-кучевым, но если у слоисто-кучевых типов максимальное ослабление в летний период года существенно больше (в разы) по сравнению с другими периодами года (рис. 5, в), то у слоисто-дождевых типов ослабление в зимнее время года в разы меньше, чем в остальные периоды.

У слоистого типа облачности коэффициент ослабления с минимального в зимний период года равномерно возрастает к весне, а затем и к осени (рис. 5, г).

Сопоставление и совместный анализ рисунков 5 и 6 позволяет заметить, что для погонного ослабления максимальный вклад вносят облака типа Sc и затем по мере спадания вклада Ns, Ac, St и As. Для случая полного вертикального ослабления максимальный вклад характерен для облаков типа Ns, причем в них он существенно больше, чем в Sc, что связано с существенными различиями характерных значений эффективной толщины этих типов облачности. Стоит также отметить, что As облака вносят минималь-

ный (и не существенный для практических задач связи) вклад в вертикальное ослабление, для которого, к тому же, присуще отсутствие сезонной изменчивости.

2.3. Особенности региональной изменчивости ослабления. Кроме интенсивности ослабления радиоволн ММ диапазона для задач радиосвязи и дистанционного зондирования важно знание вероятности наблюдения значений ослабления характерных для тех или иных типов облачности, а также региональных отличий этого параметра. На рисунках 7–9 на примере частоты 500 ГГц показаны такого рода зависимости, построенные для трех регионов Украины (северная, центральная и южная части) для зимы и лета. Отложенные по оси ординат значения вероятности построены на основании литературных данных о характерном для разных типов облачности метеорологическом параметре их наблюдаемости в различных регионах Украины. Полученные результаты дают возможность определить наличие либо отсутствие региональной изменчивости в значениях и вероятностях атмосферного ослабления, вызванных различными типами облачности, а также позволяют количественно оценить эти важные для практических нужд параметры.

Так, сопоставление этих расчетных данных позволяет отметить, что вероятность появления характерных для облаков Ac значений вертикального ослабления в центральной и южной областях Украины зимой выше, чем летом, в то время, как в северном регионе – наоборот. При этом, зимой наблюдаемость этих значений на юге – 37%, в центре – 27%, на севере – 17%, а летом, соответственно, – 17%, 25% и 32%.

Таблица 1

Типы облаков	сезон	$\Delta \bar{h} / \text{ско}$ км	$\bar{h} / \text{ско}$ км	$W / \text{ско}$ г/м ³	$Q / \text{ско}$ кг/м ²	$T_{\text{облака}}$ °С	% капельных
St	з	0,44/0,27	0,59/0,45	93/77	0.2	-6	92
	в	0,49/0,30	0,64/0,24	108/74	0.22	4	99
	л	0,37/0,22	0,58/0,17			15	100
	о	0,46/0,28	0,63/0,24	130/84	0.28	5	96
Sc	з	0,38/0,22	1,16/0,46	91/87	0.23	-7	75
	в	0,40/0,25	1,29/0,46	127/110	0.32	0	87
	л	0,44/0,29	1,37/0,48	217/165	0.49	10	98
	о	0,38/0,23	1,35/0,48	160/148	0.42	0	93
Ns	з	1,37/0,70	1,62/0,71	203/188	0.15	-9	15
	в	1,00/0,43	1,77/0,68	350/102	0.35	-3	30
	л	1,28/0,62	1,77/0,61	425/347	0.33	8	70
	о	1,28/0,75	1,62/0,61	414/389	0.32	-1	34
Ac	з	0,48/0,39	3,49/1,03	51/45	0.11	-14	52
	в	0,49/0,33	3,48/0,88	60/44	0.12	-12	25
	л	0,46/0,31	3,70/0,86	145/92	0.32	-3	77
	о	0,45/0,34	3,52/1,05	170/118	0.38	-13	69
As	з	0,84/0,82	3,80/1,16	79/72	0.1	-15	18
	в	1,01/0,97	3,96/1,13	80/50	0.08	-16	23
	л	0,94/0,93	4,21/1,08			6	44
	о	0,83/0,79	3,97/1,13			-16	25

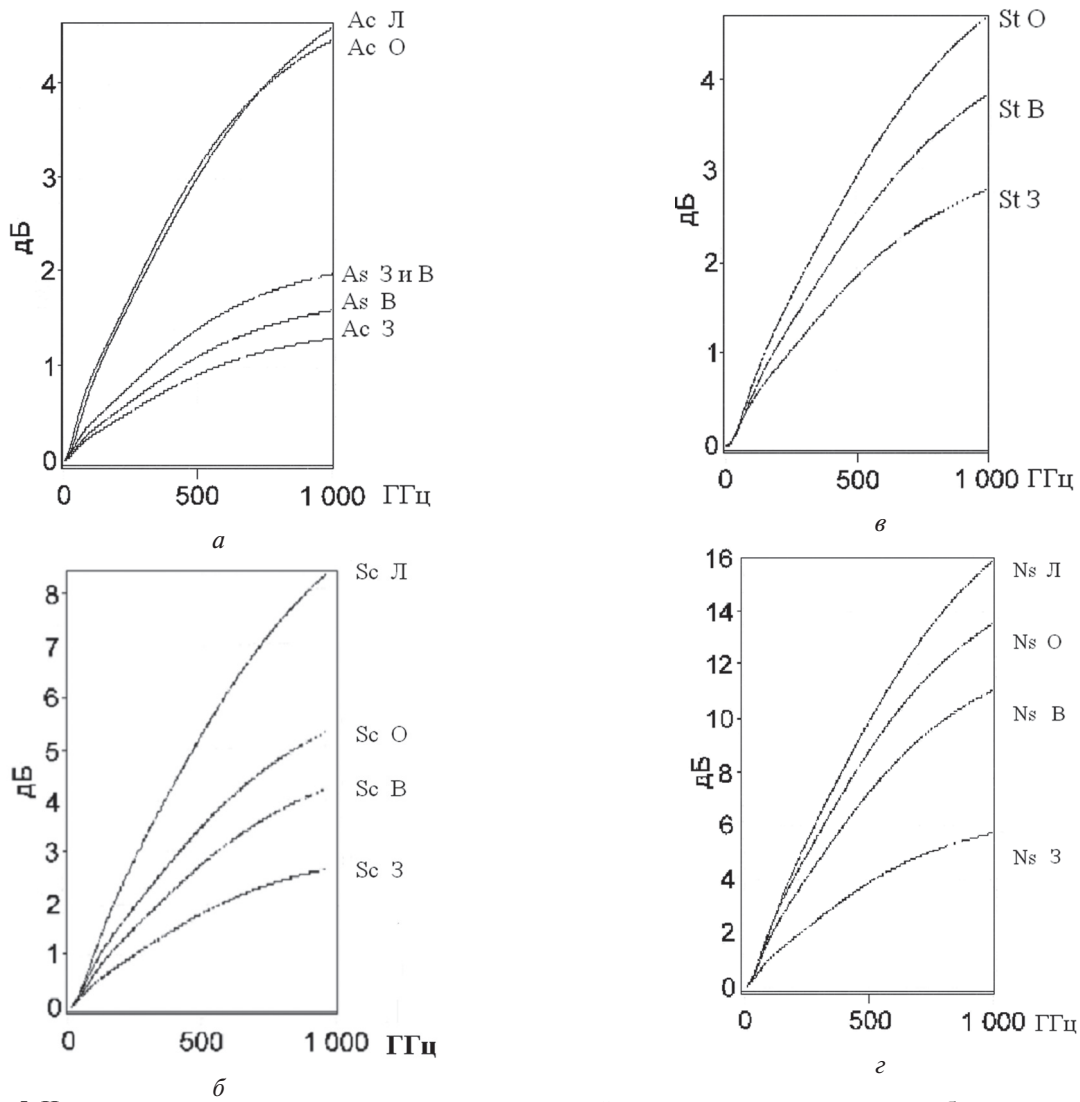


Рис. 5. Частотная зависимость среднесезонных значений полного вертикального ослабления радиоволн для разных наиболее распространенных типов облачного покрова над территорией Украины: а – для Ac (высоко-кучевые), As (высоко-слоистые); б – для Sc (слоисто-кучевые); в – для St (слоистые); г – для Ns (слоисто-дождевые); Л – лето, О – осень, З – зима, В – весна

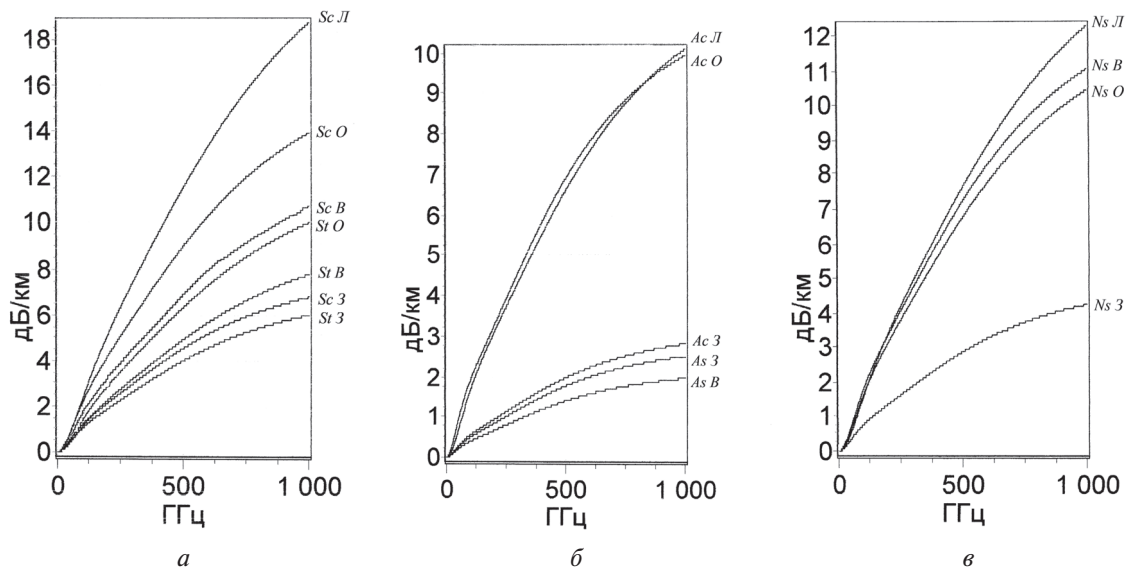


Рис. 6. Зависимость коэффициента горизонтального погонного ослабления радиоволн для разных типов облачных покровов над территорией Украины: а – Sc (слоисто-кучевые), St (слоистые); б – Ac (высоко-кучевые), As (высоко-слоистые); в – Ns (слоисто-дождевые); Л – лето, О – осень, З – зима, В – весна

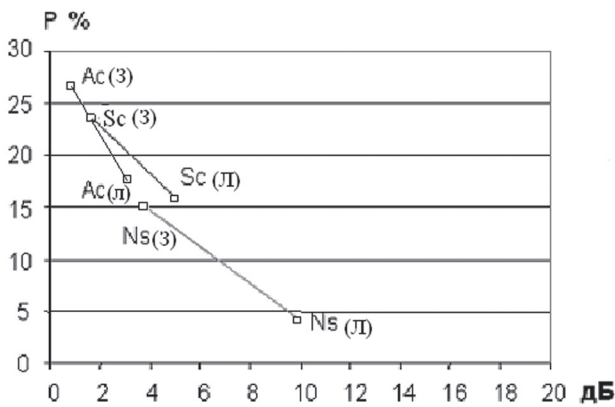


Рис. 7. Зависимость наблюдаемости характерных для различных типов облачности значений вертикального ослабления (500 ГГц) зимой и летом в центральной части Украины: где Sc (слоисто-кучевые), Ac (высоко-кучевые), Ns (слоисто-дождевые) типы облачности, Л – лето, З – зима

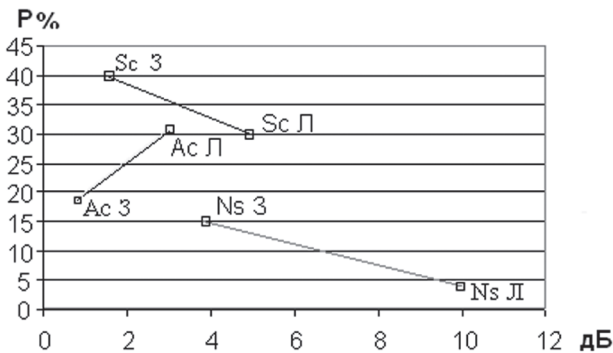


Рис. 8. Зависимость наблюдаемости характерных для различных типов облачности значений вертикального ослабления (500 ГГц) зимой и летом в северной части Украины: где Sc – слоисто-кучевые, Ac – высоко-кучевые, Ns – слоисто-дождевые типы облачности, Л – лето, З – зима

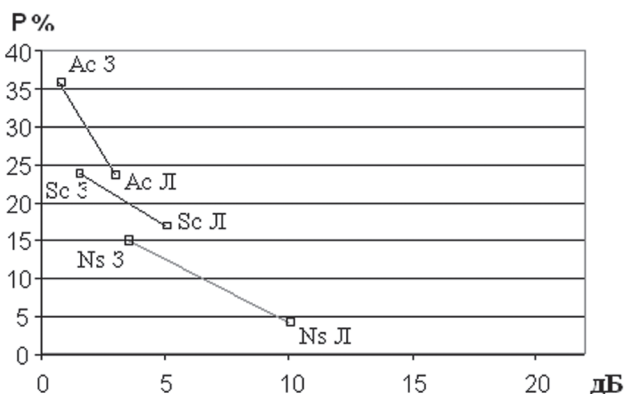


Рис. 9. Зависимость наблюдаемости (%) характерных для различных типов облачности значений вертикального ослабления (500 ГГц) зимой и летом в южной части Украины: где Sc – слоисто-кучевые, Ac – высоко-кучевые, Ns – слоисто-дождевые типы облачности, Л – лето, З – зима

Сезонный ход вероятности наблюдения характерного для Sc вертикального ослабления имеет сходство во всех рассматриваемых регионах. Имеют место лишь количественные отличия

северного региона от центра и юга, которые проявляются в 15% превышении вероятности повторяемости вызванных этими облаками соответствующих значений вертикального ослабления.

Расчетные данные также показали, что для таких, интенсивно ослабляющих сигнал облаков, как Ns (15%-я наблюдаемость зимой и 4% летом), а также Cu и St (20%-я наблюдаемость летом и практически нулевая зимой) характерно отсутствие каких-либо региональных отличий в рассматриваемых зависимостях. Можно лишь отметить, примерно, двукратное понижение наблюдаемости St облаков (и вызванного ими ослабления сигнала) в западной части Украины по сравнению с другими регионами.

Эти результаты позволили оценить сезонную изменчивость и региональные отличия вероятностной наблюдаемости характерных для разных типов облачности значений вертикального ослабления ММ радиоволн на примере диапазона 500 ГГц. Количественные оценки аналогичных зависимостей в других ДВ могут быть легко проведены с помощью графического материала, приведенного на рис. 5–6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы были выбраны модели и исходные данные, обеспечивающие расчет ослабления радиоволн широкого частотного диапазона разными типами облачности. В ММ ДВ получены частотные зависимости ослабления для разных плотностей и температур водяных капель, зависимости вертикального и горизонтального ослабления радиоволн в разный период года при разном типе облачности, а также зависимости вероятности наблюдения характерных для разных типов облачности значений вертикального ослабления. Для территории Украины показано наличие существенных сезонных отличий в ослаблении всеми типами облаков, а также наличие существенных региональных отличий в величине ослабления для одних типов облаков (Ac, Sc, St) и их отсутствие – для других (Ns, Cu). Полученные в работе данные представляют собой практический интерес при решении задач проектирования перспективных линий связи в миллиметровом диапазоне волн 1.

Литература

- [1] Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей, связь и телекоммуникации. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2011, № 1, (00107). – С. 90–97. www.electronics.ru.
- [2] Proc. of eleventh URSI commission F open symposium on radio wave propagation and remote sensing, (ISBN 978-85-87926-26-5), Rio de Janeiro, Brazil, 30 Oct /02 Nov 2007 3. Proc. of International Conf. ClimDiff 2005, Cleveland, USA. 26-27 Sept., 2005.
- [4] Михайлов А.С., Руженцев Н.В. Исследование свойств пространственного распределения атмосферного поглощения для территории Украины в

- миллиметровом диапазоне волн // Прикладная радиоэлектроника, 2009. – Т. 8. – № 2. – С. 149–155.
- [5] Руженцев Н.В. О необходимости учета микроклиматических особенностей при прогнозировании вертикального атмосферного ослабления в миллиметровом диапазоне волн / Н.В. Руженцев, А.С. Михайлов // Прикладная радиоэлектроника. – 2012. – Т. 11. – № 1. – С. 66–69.
- [6] Айвазян Г.М. Распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн в Облаках. / Справочник под общей редакцией Г.Г. Шукина. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. – 480 с.
- [7] Liebe H.J. MPM – an atmospheric millimeter waves propagation model. International / Liebe H.J. // Journal of Infrared and Millimeter Waves. – 1989. – V.10. – № 6. – P. 631–650.
- [8] Мазин И.П. Облака. Их структура и формирование / И.П. Мазин, С.М. Шмерер. – Ленинград: Гидрометиздат, 1983. – 280 с.
- [9] Recommendation ITU-R P.840-3 – attenuation due to clouds and fog / ITU-R Series Recommendations – Radiowave Propagation.
- [10] Климат Украины / под ред. В.М. Липинского). – Изд-во Раевского, Киев, 2003. – 343 с.
- [11] Martellucci A., Rastburg B.A., Piores Baptista J.P.V., Blarzino G. «New reference standard atmospheres based on numerical weather products», Abstracts of International Workshop – ClimDiff ‘ 2003, pp.clim.1, Fortaleza, Brazil, 2003.
- [12] Nikolay V. Ruzhentsev. The capabilities of the calculated approach for the astroclimatic assessment in radioastronomy / Nikolay V. Ruzhentsev, Alexander S. Mihailov // «Natural Science». – 2010, – Vol.2. – No. 5– P. 427-431.
- [13] Михайлов А.С. Расчетный подход для астроклиматических оценок вертикального атмосферного ослабления в субмилли-метровом диапазоне волн / А.С. Михайлов, Н.В. Руженцев // Международный журнал «Физические основы приборостроения». – Т. 3, № 2, 2014. – 16 с.
- [14] Михайлов А.С. Особенности глобального распределения атмосферного поглощения в диапазоне 10-1000 ГГц / А.С. Михайлов, Н.В. Руженцев // «Радиофизика и Радиоастрономия». – 2007. – Т. 12. – № 1. – С. 76–83.

- [15] Справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – 696 с.



Поступила в редколлегию 11.09.2014

Руженцев Николай Викторович, ст. научн. сотр., д-р техн. наук, вед. научн. сотр. кафедры радиоэлектронных устройств Харьковского национального университета радиоэлектроники, с.н.с. каф. проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета (ХАИ). Действительный Член Нью-Йоркской Академии Наук. Научные интересы: исследования радиофизических свойств окружающей среды, развитие аппаратуры и методов дистанционного зондирования в ММ диапазоне радиоволн.

УДК 537.876; 621.371.38

Особливості просторової і сезонної мінливості вертикального ослаблення міліметрових хвиль у хмарному покриві України / М.В. Руженцев // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2014. – Том 13. – № 4. – С. 373–379.

У статті проведено оцінку значень вертикального ослаблення радіохвиль міліметрового діапазону у хмарній атмосфері та їх сезонних варіацій над різноманітними регіонами України.

Ключові слова: вертикальне ослаблення, хмарний покрив, міліметровий діапазон, територія України.

Табл.: 01. Іл.: 08. Бібліогр.: 15 найм.

UDC 537.876; 621.371.38

The peculiarities of territorial and seasonal variations of vertical attenuation of millimeter waves by cloudy covers over Ukraine / N.V. Ruzhentsev // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2014. – Vol. 13. – № 4. – P. 373–379.

The paper is dedicated to estimating vertical attenuation values at the millimeter waves range by the cloudy atmosphere and their seasonal variations over different regions of Ukraine.

Keywords: vertical attenuation, cloudy cover, millimeter waves band, Ukrainian territory.

Tab.: 01. Fig.: 08. Ref.: 15 items.