

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 551.340

А.Н. РОМАНОВ¹, Т.Д. КОЧЕТКОВА², В.И. СУСЛЯЕВ², А.С. ЩЕГЛОВА²

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БОЛОТНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 0.1–18 ГГц ПРИ ВАРИАЦИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ*

В диапазоне частот от 100 МГц до 18 ГГц исследованы диэлектрические характеристики некоторых видов болотной растительности: лишайника Клядонии звездчатой (*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar), мха Сфагнума (*Sphagnum*), представителя бриевых мхов – мха Дикранума многоножкового (*Dicranum polysetum*). На частоте 1.41 ГГц изучено влияние температуры в интервале от –12 до +20 °С на поведение диэлектрических характеристик мхов, лишайников и торфа. Установлены зависимости диэлектрических характеристик растительности от объемной влажности.

Ключевые слова: болотная растительность, показатель преломления, показатель поглощения, комплексная диэлектрическая проницаемость, микроволновый диапазон.

Введение

В последнее десятилетие актуализировались проблемы деградации растительного покрова планеты, связанные с опустыниванием территорий, изменением видового состава растительных сообществ, исчезновением отдельных видов растительности. Наблюдаемые изменения вызваны как природными факторами, так и постоянным ростом антропогенного воздействия на окружающую среду [1].

В полной мере негативные изменения наблюдаются для расположенных на территории Западной Сибири Васюганских болот, относящихся к крупнейшим болотам мира. Васюганские болота оказывают заметное влияние на экологическую обстановку региона, являются одним из крупнейших хранилищ пресной воды на планете, содержат значительные запасы торфа (более 1 млрд т) и противодействуют парниковому эффекту, связывая углерод.

Оценка экологического состояния Васюганских болот, занимающих площадь 53 тыс. км², возможна с использованием методов дистанционного зондирования в микроволновом, инфракрасном и видимом диапазонах. Одной из актуальных задач является дистанционная оценка степени деградации болотной растительности. Основными причинами деградации болотной растительности является промышленная деятельность, связанная с интенсификацией нефтедобычи в районах Западной Сибири, отчуждение и техногенное загрязнение территорий, климатические изменения, вызывающие иссушение болот, изменение видового состава болотной растительности [2].

Разработка дистанционных и контактных методов оперативной диагностики состояния болот базируется на изучении особенностей распространения и взаимодействия электромагнитных волн с растительностью или отдельными элементами растений (листья, стебли, ствол), установлении зависимостей диэлектрических характеристик болотной растительности от температуры, влажности и степени связанности воды в растении.

В настоящее время оценка глобальных изменений влажностных характеристик земных покровов, включая подтопленные и заболоченные территории, осуществляется по данным спутника SMOS. Установленный на спутнике интерферометр-радиометр MIRAS обеспечивает получение изображений, соответствующих интенсивности собственного излучения поверхности на частоте 1.41 ГГц, откалиброванной в единицах радиояркостных температур. Вклад растительного покрова в микроволновое излучение подстилающей поверхности учитывается путем введения в модель переноса излучения поправочных коэффициентов, учитывающих диэлектрические и радиоизлучательные свойства растительности [3].

В теплый период радиоизлучательные и отражательные характеристики болот и заболоченных территорий на разных частотах зависят от физических характеристик болотной растительно-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-05018, региональный грант (РФФИ-ЯНАО) № 16-45-890664).

сти (биомассы, влагосодержания, температуры), а также от физических характеристик нижележащих слоев воды и торфа при их попадании в скин-слой. При отрицательных температурах окружающей среды, помимо перечисленных параметров, радиоизлучательные и отражательные свойства болотной растительности в микроволновом диапазоне в значительной мере будут зависеть от степени связанности воды в растениях, а также от глубины промерзания растительно-водноторфяного слоя, образующего многослойную систему с градиентом температуры и диэлектрических характеристик по глубине.

В данной работе приведены результаты исследований диэлектрических характеристик болотной растительности на частотах от 100 МГц до 18 ГГц с использованием векторного анализатора цепей, а также исследований на частоте 1.41 ГГц мостовым методом с использованием измерителя разности фаз ФК2-18 при вариациях объемной влажности и температуры. В качестве объектов исследования использовались образцы, отобранные в Томской области и Ямало-Ненецком автономном округе: лишайник Клядония звездчатая (*Cladonia stellaris (Opiz) Pouzar*), мох Сфагнум (*Sphagnum*), представитель бриевых мхов – мох Дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*).

Методика эксперимента

Основными характеристиками микроволнового излучения подстилающей поверхности является коэффициент излучения χ . Для описания диэлектрических характеристик используются комплексный показатель преломления $N = n + i\kappa$ и комплексная диэлектрическая проницаемость (КДП) $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$, связанные между собой формулами $\epsilon' = n^2 - \kappa^2$, $\epsilon'' = 2n\kappa$, где n , κ – показатели преломления и поглощения, ϵ' , ϵ'' – действительная и мнимая части КДП [4]. Коэффициент излучения χ связан с n и κ следующей формулой [5]:

$$\chi = \frac{4n}{(n+1)^2 + \kappa^2}. \quad (1)$$

Для измерений в диапазоне частот 100 МГц – 18 ГГц был использован метод измерения в коаксиальной линии, успешно применяемый в настоящее время для измерения диэлектрических свойств почв [6–8] и жидкостей [9].

Компоненты матрицы рассеяния коаксиальной измерительной ячейки как четырехполюсника – комплексные коэффициенты отражения (параметры S_{11} , S_{22}) и прохождения (параметры S_{12} , S_{21}) – измерялись с помощью векторного анализатора цепей PNA E8363B. Схема установки представлена на рис. 1, а.

Образец в коаксиальной ячейке (рис. 1, б) размещался между двумя шайбами из фторопласта.

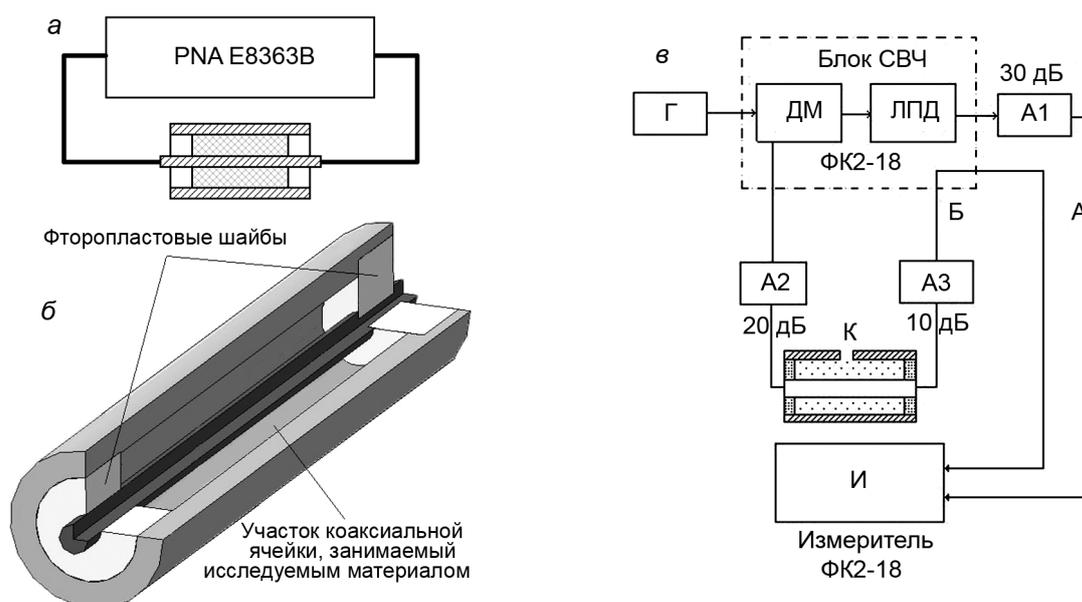


Рис. 1. Средства измерений: а – схема измерения образцов в коаксиальной ячейке; б – модель коаксиальной ячейки; в – схема установки мостового типа на основе измерителя фаз

Проводились два измерения коэффициентов отражения и прохождения: одно калибровочное при отсутствии образца в тракте, второе – с образцом. На частоте 1.41 ГГц измерения диэлектрических характеристик болотной растительности проводились на лабораторной установке мостового типа, с использованием измерителя разности фаз ФК2-18. Блок-схема установки приведена на рис. 1, в. В состав установки входят: Г – генератор сигналов высокочастотный Г4-78 (1.16–1.78 ГГц); ДМ – делитель мощности согласованный; ЛПД – линия переменной длины; А1, А2, А3 – аттенуаторы согласующие коаксиальные; И – измерительный блок фазометра; К – контейнер для образца, изготовленный в виде коаксиального волновода. Мостовая схема включала в себя опорный канал (А) и измерительный канал (Б), с установленным в нем измерительным контейнером.

Измерялись ослабление и сдвиг фазы электромагнитной волны, прошедшей через исследуемый растительный образец, помещенный в измерительный контейнер. Процесс измерений заключался в следующем. Сигнал от генератора подавался на ДМ и делился поровну между опорным и измерительным каналами. При отсутствии в контейнере исследуемого образца устанавливалось равное нулю значение разности фаз и амплитуд на фазометре, затем в контейнер помещался исследуемый образец и по индикатору измерителя ФК2-18 отсчитывались значения разности фаз и ослабление. Установка имела следующие технические характеристики: диапазон однозначных измерений фазы $\pm 180^\circ$; диапазон измерения ослабления от 0 до 60 дБ; погрешность измерений ослабления 0.5 дБ; погрешность измерения фазы 2° . Описание источников возможных погрешностей приведено в работе [5].

В процессе естественного высыхания растительного образца при комнатной температуре ($(25 \pm 1)^\circ\text{C}$) и свободном доступе воздуха несколько раз проводилось измерение его диэлектрических свойств и фиксировалось точное значение влажности для каждого измерения. Для количественного описания содержащейся в образцах влаги использовалась объемная влажность, выраженная в объемных долях и определяемая из соотношения $W = (\rho/\rho_v)M_v/M$, где ρ , ρ_v – плотности влажного образца и воды, M_v , $M_{\text{сух}}$, $M = M_v + M_{\text{сух}}$ – массы воды, сухой и влажной растительности соответственно. Значение W определялось термостатно-весовым способом, основанным на взвешивании на аналитических весах с точностью до 0.001 г до и после высушивания исследуемых образцов. Для полного высушивания образца ($W \approx 0$) он помещался в сушильный шкаф и выдерживался в течение 3 ч при температуре 75°C .

Экспериментальные исследования частотных зависимостей диэлектрических характеристик растительности от влажности проводились при температуре $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$. Исследование температурных зависимостей проводилось в интервале от -12 до $+25^\circ\text{C}$.

Результаты и их обсуждение

1. Частотные зависимости диэлектрических свойств болотной растительности

Расчёт диэлектрической проницаемости проводился из параметров четырёхполюсника, выражаемых для слоистой структуры согласно [10].

На рис. 2 приведены результаты расчета комплексной диэлектрической проницаемости для мха Сфагнума и лишайника Клядония звёздчатая из измерений на векторном анализаторе цепей. Также сплошными символами отмечены точки на частоте 1.41 ГГц, где были проведены измерения действительной части КДП мостовым методом с использованием измерителя фаз. Устойчивое совпадение результатов, полученных разными методами, для нескольких значений объёмной влажности W_v служит доказательством достоверности проведённых измерений. Некоторые расхождения вызваны небольшими различиями в значениях влажности образцов.

Ранее в работах [11, 12] были показаны частотные зависимости диэлектрической проницаемости других видов болотной растительности: листьев кустарников – багульника и брусники, травы осоки, плауна. По этим данным мы можем сказать, что диэлектрическая проницаемость для различных разновидностей растительности с той же самой влажностью заметно отличаются.

Диэлектрическая постоянная является неотъемлемой характеристикой вещества и зависит от многих факторов. Это дает возможность идентификации видов растений по особенностям строения их надземной части. Так, например, у мха Сфагнума наружный слой стеблей состоит из крупных бесцветных водоносных клеток с порами. Благодаря множеству водоносных клеток сфагнум может всасывать большое количество воды (в 20 раз больше собственной сухой массы) [13]. Мох

Дикранум многоножковый имеет очень мягкие веточки с большим количеством мелких волосков. Структура растительных волокон определяет способность поглощать и удерживать влагу, что находит отражение в приведенных зависимостях.

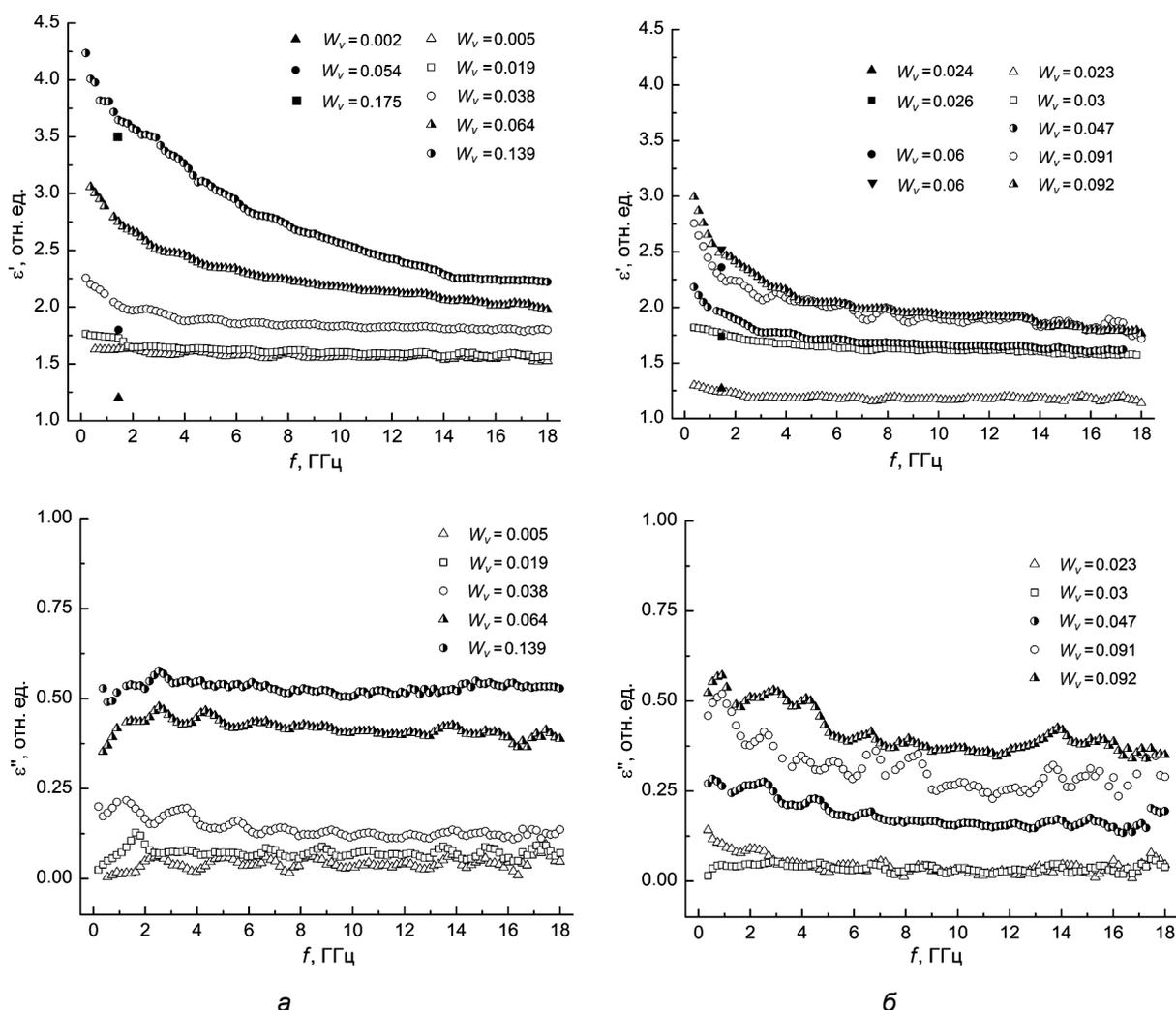


Рис. 2. Зависимость действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости болотной растительности от частоты при разной влажности: *а* – мох Сфагнум; *б* – лишайник Клядония звёздчатая. Сплошные символы – измерено на установке мостового типа, пустые символы – измерено на векторном анализаторе цепей

2. Влияние объемной влажности на диэлектрические свойства растительности

На диэлектрические и радиоизлучательные характеристики болотной растительности заметное влияние оказывает количество содержащейся в растении воды, степень её связанности и диэлектрические свойства могут различаться для разных видов растительности, а также для разных элементов растительности одного вида (корней, листьев, стеблей).

На рис. 3 приведены эмпирические зависимости $n(W)$ (кривые 1) и $\kappa(W)$ (кривые 2) от объемной влажности для Клядонии звёздчатой (*а*), Сфагнума (торфяного мха) (*б*), Дикранума многоножкового (*в*), аппроксимированные прямыми линиями:

$$n = (A_0 \pm \Delta A_0) + (A_1 \pm \Delta A_1) W; \tag{2}$$

$$\kappa = (B_0 \pm \Delta B_0) + (B_1 \pm \Delta B_1) W, \tag{3}$$

где $A_0 \pm \Delta A_0, \dots, B_1 \pm \Delta B_1$ – численные коэффициенты с погрешностями, приведенные в табл. 1.

В результате компьютерной обработки экспериментальных данных при $W = 0$ получается значение показателя преломления близкое к 1. Ослабление маленькое, близко к 0.

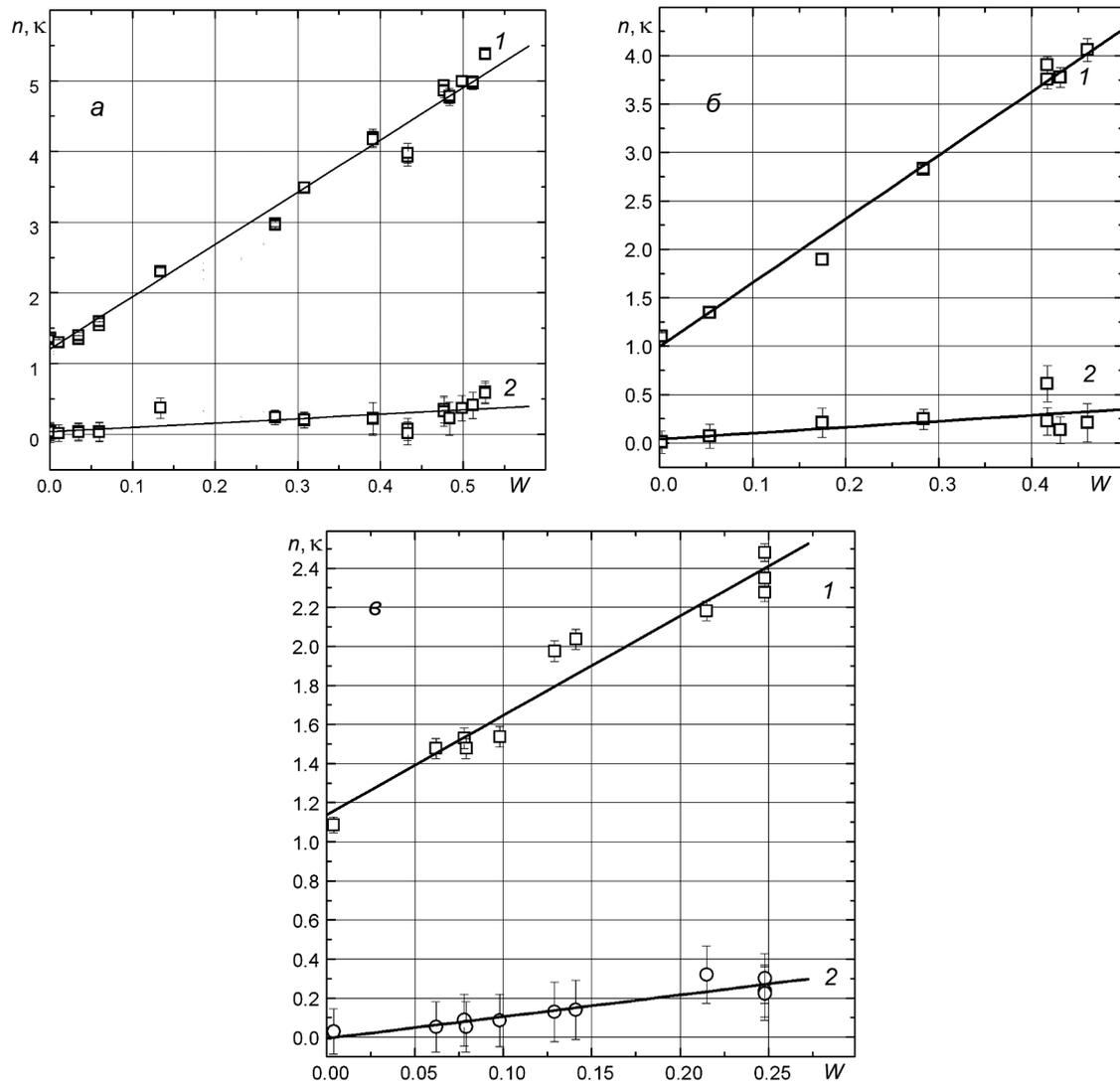


Рис. 3. Зависимости показателей преломления (кр. 1) и поглощения (кр. 2) от объемной влажности (W) для лишайника Клядония звёздчатая (а), мха Сфагнума (б), мха Дикранума многоножкового (в)

Таблица 1

Численные коэффициенты $A_0...B_1$ в соотношениях (2), (3)

Вид растительности	$A_0 \pm \Delta A_0$	$A_1 \pm \Delta A_1$	$B_0 \pm \Delta B_0$	$B_1 \pm \Delta B_1$
Лишайник Клядония звёздчатая	1.20 ± 0.06	7.4 ± 0.2	0.04 ± 0.03	0.6 ± 0.1
Мох Сфагнум	1.00 ± 0.06	6.6 ± 0.2	0.00 ± 0.07	0.6 ± 0.2
Мох Дикранум многоножковый	1.14 ± 0.07	5.1 ± 0.4	0.00 ± 0.02	1.10 ± 0.15

Из сравнения экспериментальных данных следует, что диэлектрические характеристики высушенной растительности разных видов в пределах погрешности различаются незначительно. Основное различие наблюдается при увеличении влажности. Это может быть связано с различным поведением диэлектрических свойств воды в разных видах растений.

С использованием соотношений (2), (3) по формуле (1) рассчитывались коэффициенты излучения χ для разных значений W . Зависимости $\chi(W)$ для лишайника, аппроксимированные прямыми линиями, имеют вид

$$\chi = 0.98 - 0.846 \cdot W, \quad \sigma = 0.02, \quad (4)$$

где σ – среднеквадратическая погрешность.

Преобразовав соотношение (4), получим выражение для дистанционного определения объемной влажности лишайника:

$$W = 1.14 - 1.18 \cdot \chi, \quad \sigma = 0.02. \quad (5)$$

3. Влияние температуры на диэлектрические свойства растительности

Часть года болотная растительность находится при отрицательных температурах окружающей среды. В этот период вода, находящаяся вне растений и не связанная сорбционными силами с их поверхностью, замерзает, обращаясь в лед. В то же время вода, находящаяся в самих растениях, может оставаться в разных количествах в незамерзшем состоянии при очень низких температурах (до -75°C) [1, 2].

На рис. 4 приведены графики зависимостей $n(T)$ и $\kappa(T)$ для лишайника Клядонии звездчатой, мха Сфагнума и торфа, аппроксимированные сигмоидальными функциями, имеющими следующий вид:

$$n = n_2 + \frac{n_1 - n_2}{1 + \exp\left(\frac{T - T_0}{\Delta T}\right)}; \quad (6)$$

$$\kappa = \kappa_2 + \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{1 + \exp\left(\frac{T - T_0}{\Delta T}\right)}, \quad (7)$$

где n_1, \dots, κ_2 – начальные и конечные значения показателей преломления и поглощения; T_0 – средняя температура; ΔT – ширина фазового перехода.

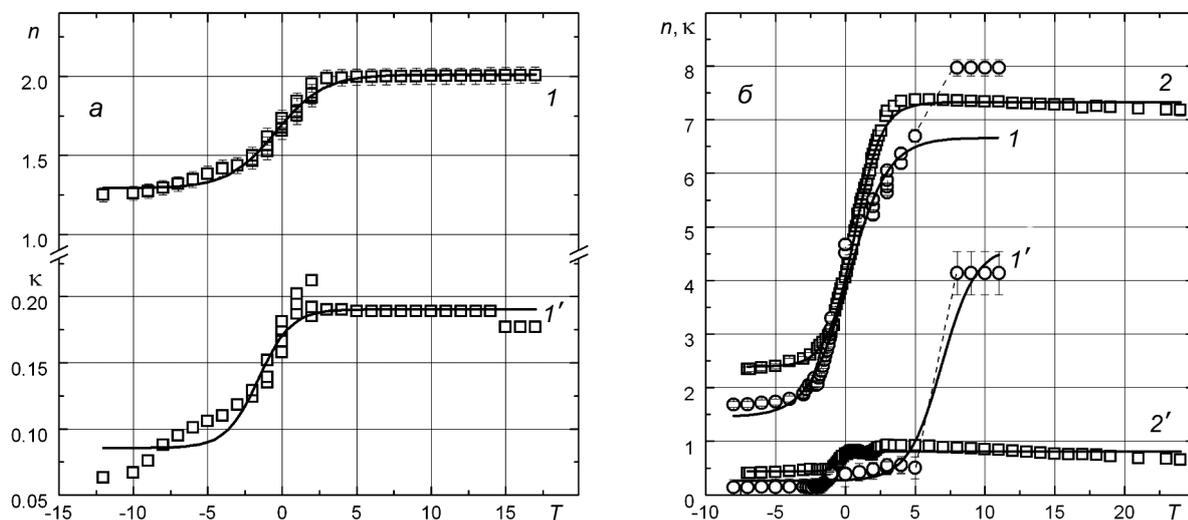


Рис. 4. Зависимости показателей преломления (кр. 1, 2) и поглощения (кр. 1', 2') от температуры: а – лишайник Клядония звездчатая (кр. 1, 1'); б – мох Сфагнум (кр. 1, 1'), торф (кр. 2, 2')

Численные значения величин, входящих в формулы (6), (7) для разных типов живой и отмершей растительности, приведены в табл. 2.

На рис. 4, а приведены зависимости показателей преломления (1) и поглощения (2) лишайника от температуры в диапазоне от -12 до $+20^\circ\text{C}$. Для измерений использовался один и тот же образец лишайника, имевший до высушивания объемную влажность $W = 0,4$. Видно, что в интервале измеренных температур наблюдаются качественные изменения зависимостей $n(T)$ и $\kappa(T)$. В интервале от -12 до $+2^\circ\text{C}$ значения n и κ возрастают с повышением температуры. Это связано с тем,

что лед, образованный из связанной воды, переходит в воду в некотором интервале температур ниже 0 °С. В интервале температур от +2 до +18 °С значения n и k не изменяются.

Таблица 2

Численные значения величин в формулах (6), (7)

Вид растительности	n_1	n_2	T_0	ΔT	κ_1	κ_2	T_0	ΔT
Клядония звёздчатая	1.30±0.02	2.01±0.01	-0.4±0.2	1.6±0.2	0.086±0.004	0.190±0.003	-1.6±0.2	1.1±0.2
Сфагнум	1.46±0.03	6.66±0.05	0.21±0.04	1.41±0.03	0.26±0.02	4.6±0.4	6.9±0.5	1.2±0.2
Торф	2.40±0.02	7.33±0.02	0.67±0.02	0.98±0.02	0.44±0.04	0.81±0.03	-0.48±0.20	0.26±0.2

Заметные различия диэлектрических характеристик наблюдаются для Сфагнума и торфа. Из рис. 4, б видно, что для Сфагнума на зависимости $\kappa(T)$ (кривая 1') имеется два интервала температур (-2 ÷ -1 °С и 5 ÷ 8 °С), в которых происходит резкое (скачкообразное) изменение поведения диэлектрических свойств Сфагнума. Это может быть связано с особенностями внутреннего строения Сфагнума, в частности с существованием пустых полостей, в которых может накапливаться вода в количестве, многократно превышающем массу самого растения.

В интервале температур от -8 до -2 °С наблюдается возрастание значений n и k . Это может быть связано с таянием льда, образованного из связанной воды, а также с присутствием во льду растворенных минеральных солей и органических соединений, также понижающих температуру его таяния. Возрастание k в интервале температур от -2 до +5 °С может быть вызвано постепенным таянием льда, образовавшегося в пустотелых клетках Сфагнума и окруженного клеточной мембраной. Таяние льда в этих клетках происходит с задержкой по сравнению со льдом, находящимся вне растения. В интервале от +5 до +12 °С диэлектрические характеристики Сфагнума остаются постоянными.

С использованием экспериментальных данных были рассчитаны по формуле (1) коэффициенты излучения для Клядонии звёздчатой, Сфагнума, торфа. Зависимости коэффициентов излучения от температуры в диапазоне от -12 до +20 °С, приведенные на рис. 5, аппроксимировались сигмоидальной функцией, имеющей вид

$$\chi = \frac{\chi_1 - \chi_2}{1 + \exp\left(\frac{T - T_0}{\Delta T}\right)} + \chi_2, \quad (8)$$

где χ_1 , χ_2 – начальное и конечное значения коэффициентов излучения; T_0 – средняя температура; ΔT – ширина фазового перехода.

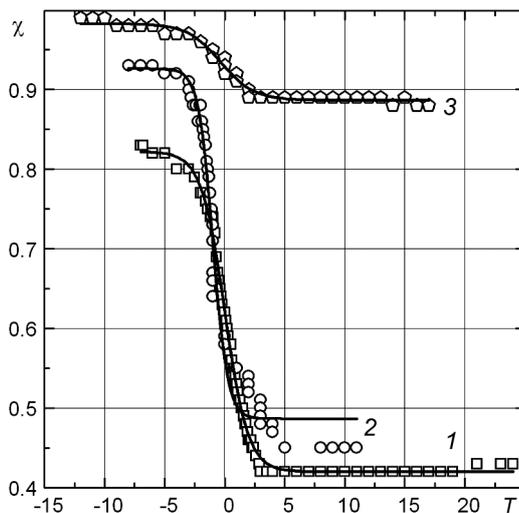


Рис. 5. Зависимости коэффициентов излучения торфа (кр. 1), Сфагнума (кр. 2) и лишайника Клядония звёздчатая (кр. 3) от температуры

В выражении (8) величины T_0 , ΔT , χ_1 , χ_2 характеризуют радиоизлучательные свойства конкретных видов растительности и могут быть измерены в лабораторных условиях. Коэффициенты излучения χ , рассчитанные по формуле (8) для разных значений T и разных видов растительности, могут быть использованы для моделирования радиоизлучательных характеристик растительного покрова, а также сравнения со значениями χ , определенными по данным дистанционного микроволнового зондирования. При этом температура подстилающей поверхности T может быть определена контактным способом или по данным дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне.

Совместный анализ набора зависимостей $\chi(T)$ для разных видов растительности и дистанционно определенных значений χ подстилающей поверхности может быть использован для оценки влияния растительности на радиоизлучательные характеристики подстилающей поверхности с верхним растительным слоем.

Таблица 3

Численные коэффициенты χ_1 , χ_2 , T_0 , ΔT в соотношении (8)

Вид растительности	χ_1	χ_2	T_0	ΔT
Клядония звёздчатая	0.98±0.01	0.890±0.001	-0.35±0.13	1.39±0.12
Сфагнум	0.93±0.01	0.490±0.008	-0.98±0.06	0.60±0.07
Торф	0.82±0.01	0.420±0.002	0.005±0.025	0.97±0.02

Из сравнения графиков (1) – (3) видно, что радиоизлучательные характеристики разных видов болотной растительности заметным образом различаются. Сравнение графиков (1) и (2) указывает различие радиоизлучательных характеристик одного и того же растения – мха Сфагнума, но в одном случае живого (2), а в другом случае отмершего (торф). Из этого следует вывод о возможности использования радиоизлучательных характеристик болотной растительности для разработки методов дистанционного микроволнового мониторинга водно-болотных угодий.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что диэлектрические и радиоизлучательные свойства болотной растительности: Клядонии звёздчатой (*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar), мха Сфагнума (*Sphagnum*), представителя бриевых мхов – мха Дикранума многоножкового (*Dicranum polysetum*) – различаются во всем исследованном диапазоне частот. Наиболее заметные различия диэлектрических характеристик болотной растительности наблюдаются на частотах 100 МГц – 3.0 ГГц для влажной растительности. Установлено, что с увеличением объемной влажности численные значения диэлектрических параметров растительности возрастают по линейному закону. Значительное влияние на диэлектрические и радиоизлучательные характеристики болотной растительности оказывает температура. Наиболее заметные изменения наблюдаются в интервале температур, соответствующих интенсивным фазовым переходам, и связаны с изменением агрегатного состояния воды в растительной массе.

Показано, что при отмирании болотной растительности наблюдается изменение диэлектрических и радиоизлучательных характеристик. Соответственно диэлектрические и радиоизлучательные параметры растительности могут выступать в качестве индикаторов деградации растительного покрова тундры. Установленные зависимости могут быть использованы при моделировании радиоизлучательных характеристик растительности и оценке вклада растительного покрова в суммарное микроволновое излучение подстилающей поверхности, а также при дистанционном зондировании земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith A.M.S., Kolden C.A., Tinkham W.T., et al. // Remote Sensing of Environment. – 2014. – V. 154. – P. 322–337.
2. Бордонский Г.С. // Криосфера Земли. – 2013. – Т. XVII. – № 2. – С. 26–31.
3. Paggens M., Wigneron J.-P., et al. // Remote Sensing of Environment. – 2016. – V. 181. – P. 122–136.
4. Шарков Е.А. Радиотепловое дистанционное зондирование земли: физические основы: в 2 т. Т. 1. – М.: ИКИ РАН, 2014. – 544 с.
5. Комаров С.А., Миронов В.Л., Романов А.Н. Аэрокосмическое зондирование гидрологического состояния почв радиофизическими методами. – Барнаул: Изд-во АГУ, 1997. – 101 с.
6. Bobrov P.P., Repin A.V., and Rodionova O.V. // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. – 2015. – V. 53. – No. 5. – P. 2366–2372.

7. Миронов В.Л., Комаров С.А., Лукин Ю.И., Шатов Д.С. // Радиотехника и электроника. – 2010. – Т. 55. – № 12. – С. 1465–1470.
8. Милкин С.С., Стародубов А.В., Вениг С.Б. // ЖТФ. – 2014. – Т. 84. – Вып. 1. – С. 121–126.
9. Садовский И.Н., Кузьмин А.В., Шарков Е.А. Анализ моделей диэлектрической проницаемости водной среды, используемых в задачах дистанционного зондирования акваторий. – М.: ИКИ РАН, 2013. – 57 с.
10. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
11. Kochetkova T.D., Suslyayev V.I., and Shcheglova A.S. // Proc. SPIE. – 2015. – V. 9637. – P. 1–8.
12. Kochetkova T.D. and Shcheglova A.S. // Proceedings of CriMiCo-2015. – 2015. – P. 890–891.
13. Еленевский А.Г., Соловьёва М.П., Тихомиров В.Н. Ботаника. Систематика высших или наземных растений. – М.: Издат. центр «Академия», 2006. – С. 56.

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

Поступила в редакцию 02.03.17.

² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

Романов Андрей Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: romanov_alt@mail.ru;

Кочеткова Татьяна Дмитриевна, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: tdk_tomsk@mail2000.ru;

Сусляев Валентин Иванович, к.ф.-м.н., доцент e-mail: susl@mail.tsu.ru.;

Щеглова Анна Сергеевна, магистрантка, e-mail: shcheglovaas@mail.ru.