



# Отражательные свойства мохово-лишайникового покрова на СВЧ

Волкова Мария Андреевна

Т.Д. Кочеткова,  
Л.Г. Колесниченко,  
У.Ю. Шаврина

Томск 2023



Сибирская сеть  
экологических  
изменений

## INTERACT

Международная сеть  
для наземных  
исследований  
и мониторинга  
в Арктике



**Васюганское болото – индикатор  
климатических изменений на  
планете**







Местоположение района Ханымей на карте Западной Сибири и исследовательской станции ТГУ «Кайбасово»



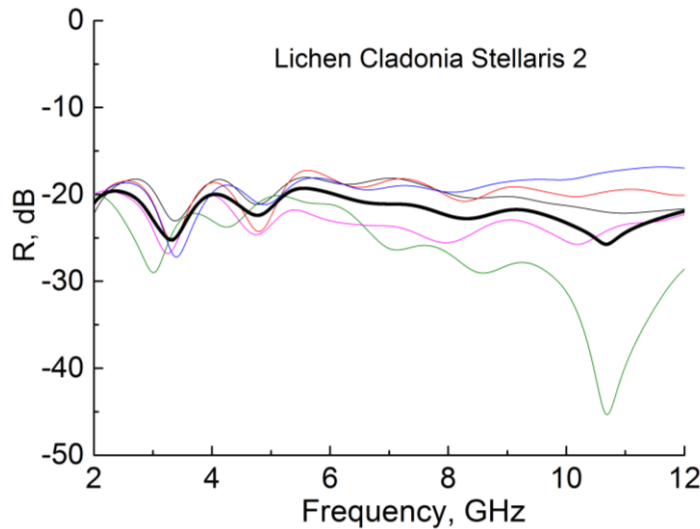
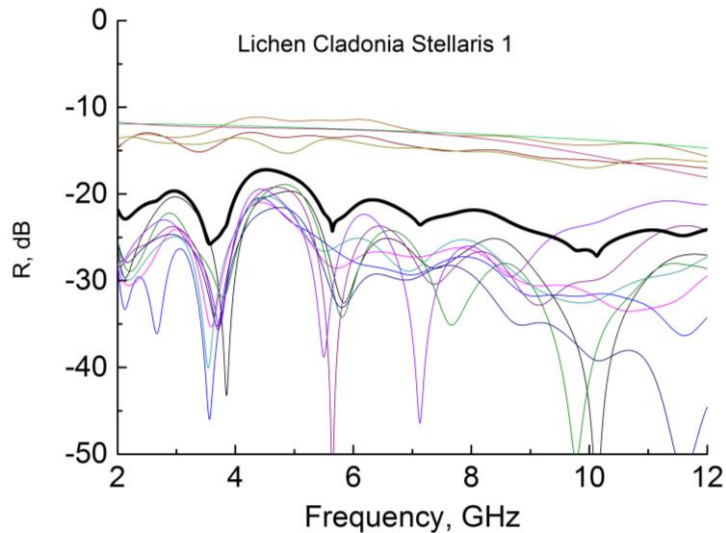
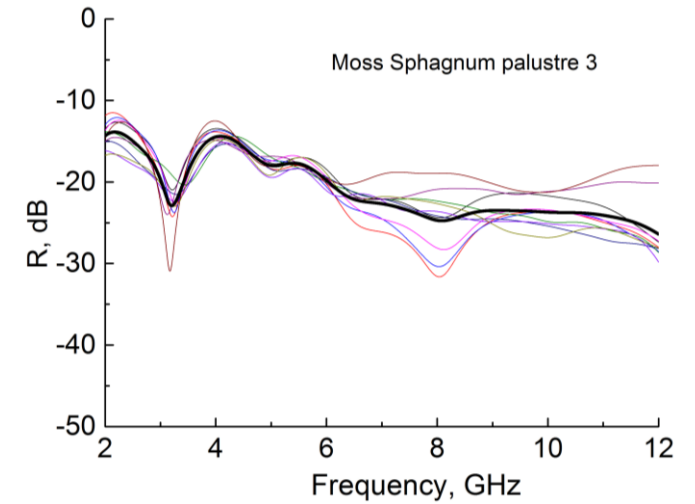
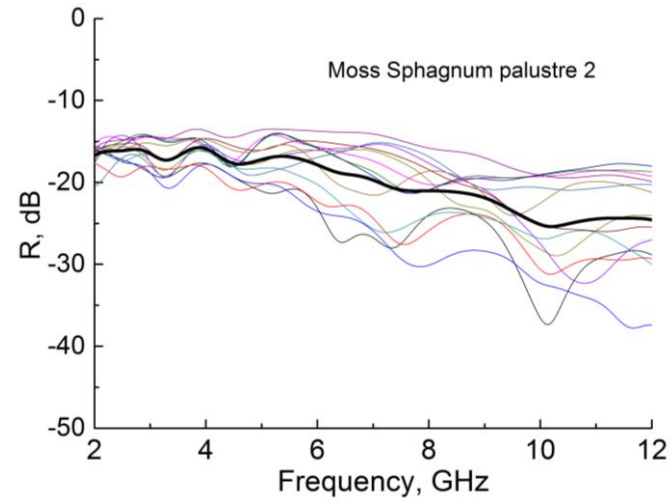
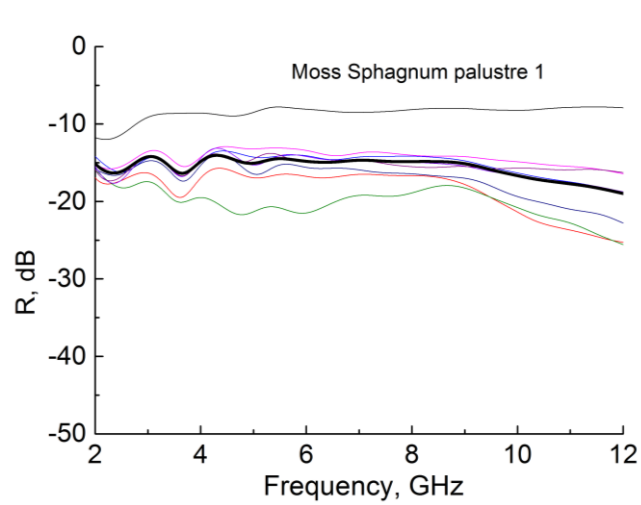
а) Сфагнум (Кайбасово), б) Дикранум (Кайбасово), в) клядония (Ханымей)  
Фото образцов для лабораторного эксперимента





Установка «Wave cube» для  
измерения  
электрофизических  
параметров плоских  
образцов материалов [1]

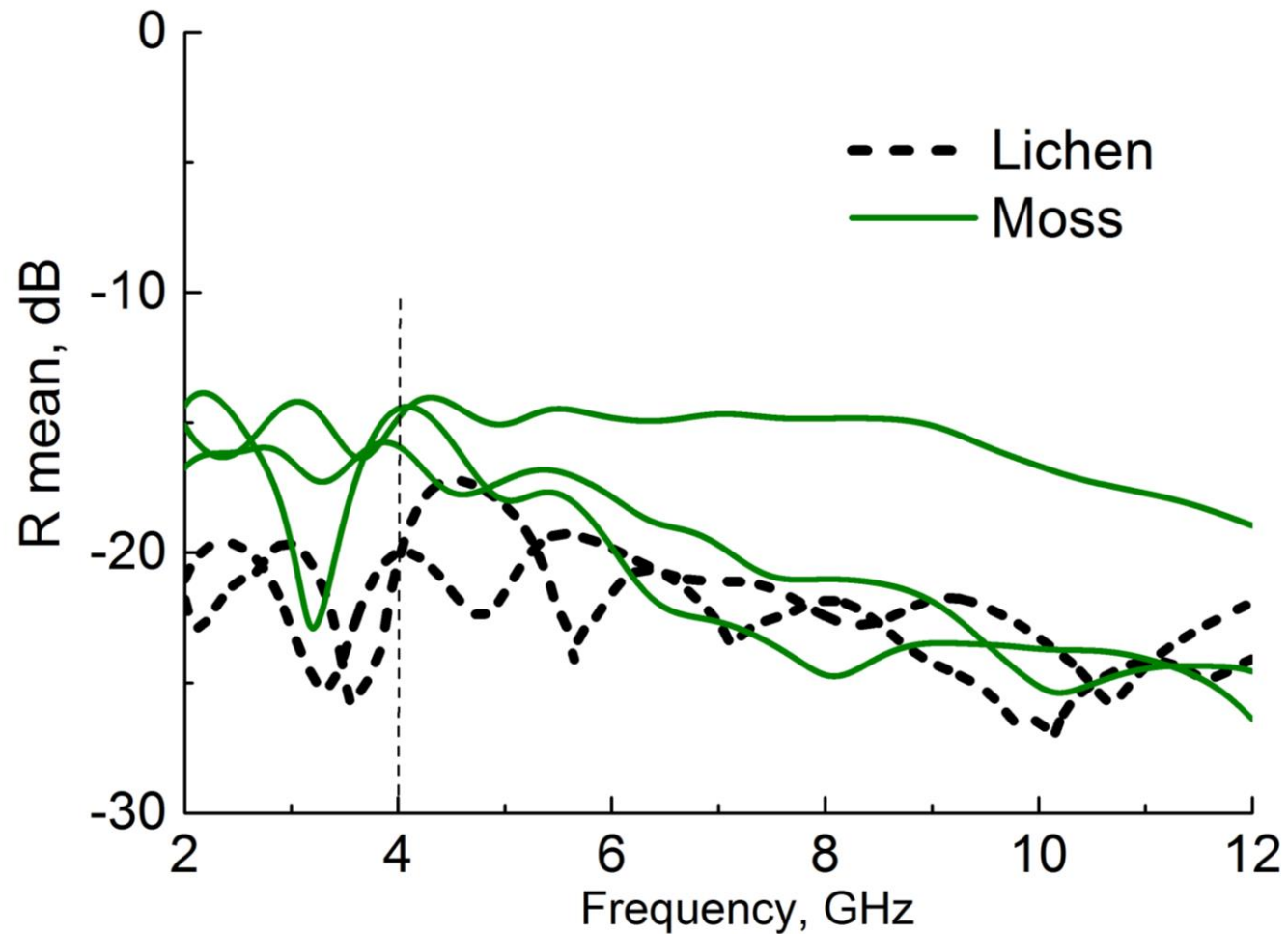
[1] Радиовидение. Разработки [электронный ресурс]: сайт [2017]. URL: <https://www.3d-radiovision.com/wavecube> (дата обращения: 25.03.18).



а) *Sphagnum* (Кайбасово),  
б) *Cladonia stellaris*  
(Ханымей),

Частотные зависимости  
коэффициента отражения  
для нескольких видов  
растительности

## Усредненные частотные зависимости коэффициента отражения для лишайника и мха



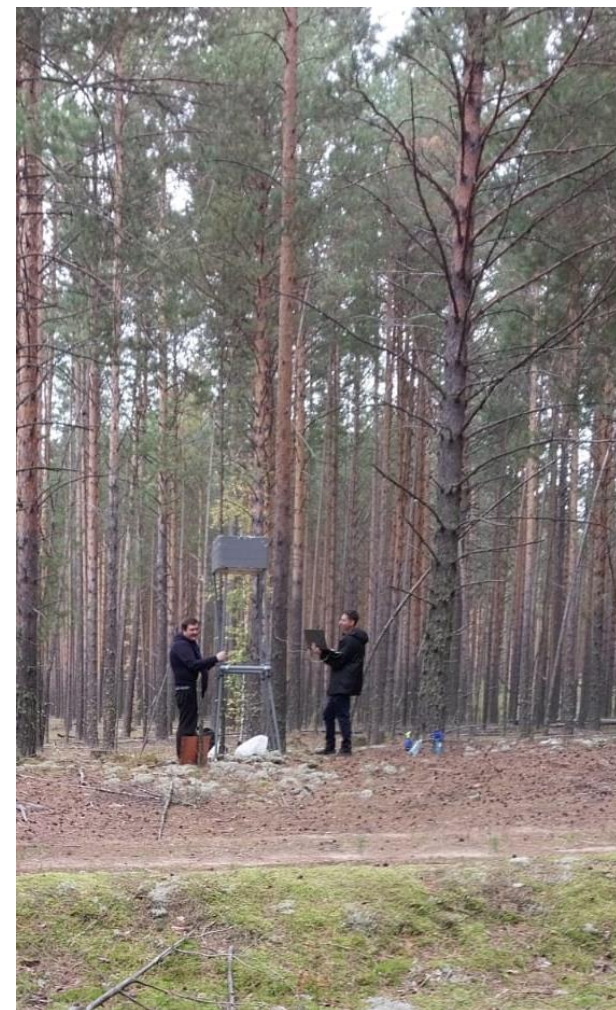




*Sphagnum-1*



*Sphagnum-2*



Операторы за работой

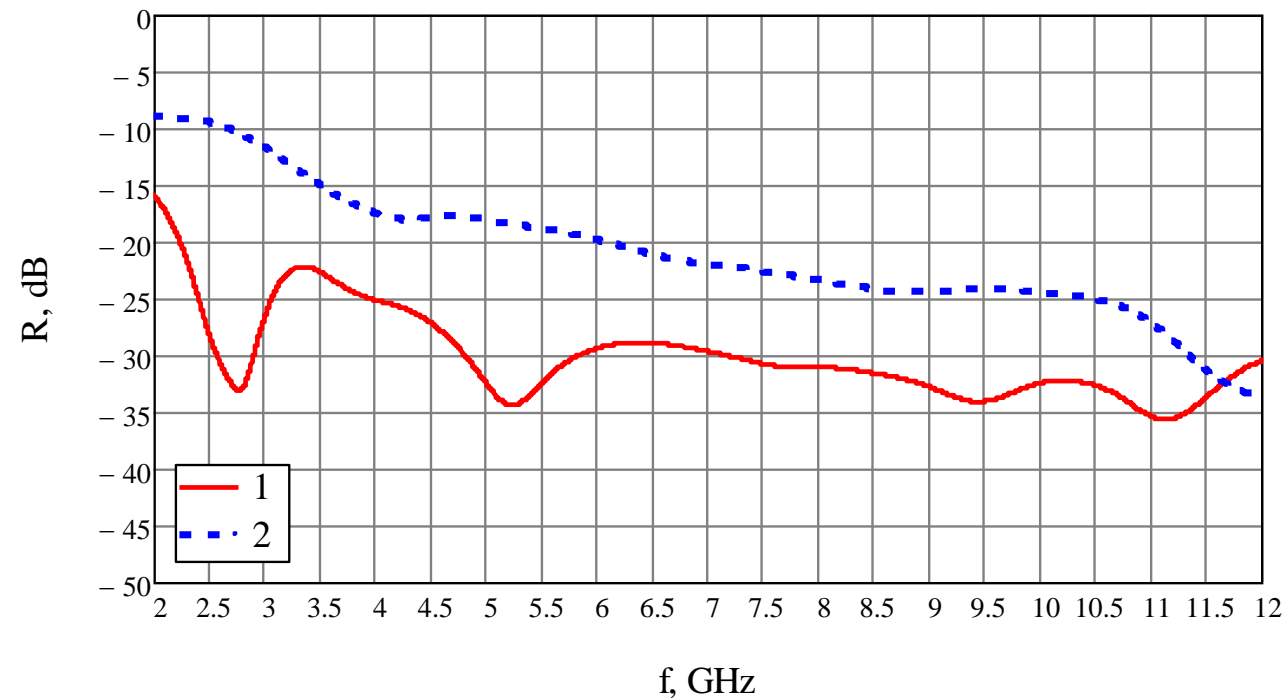


*Cladonia stellaris*

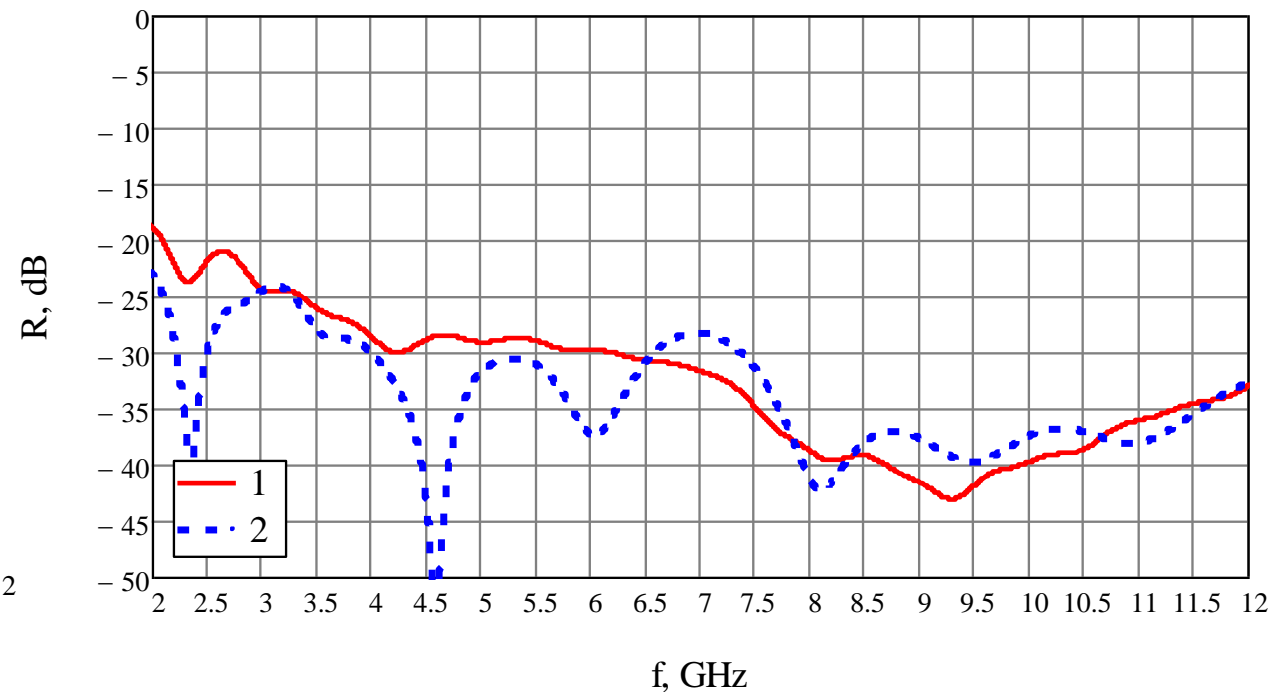




## Мох – Сфагнум (*Sphagnum*)

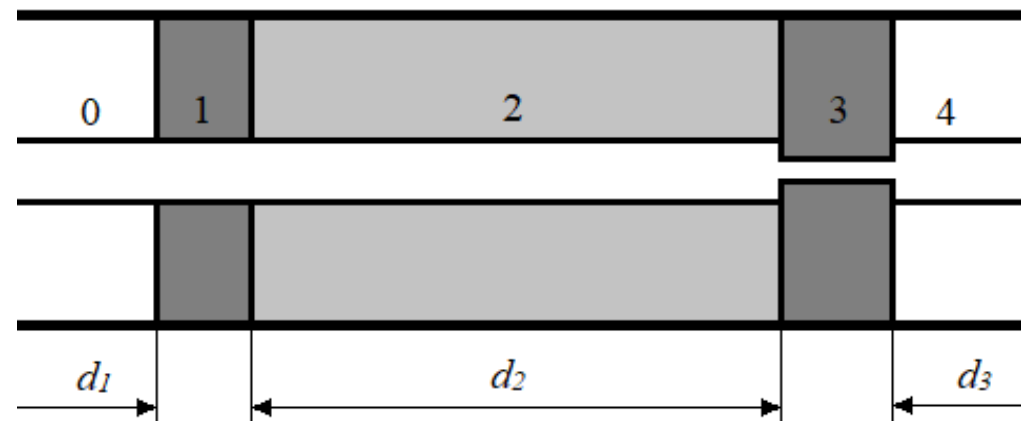
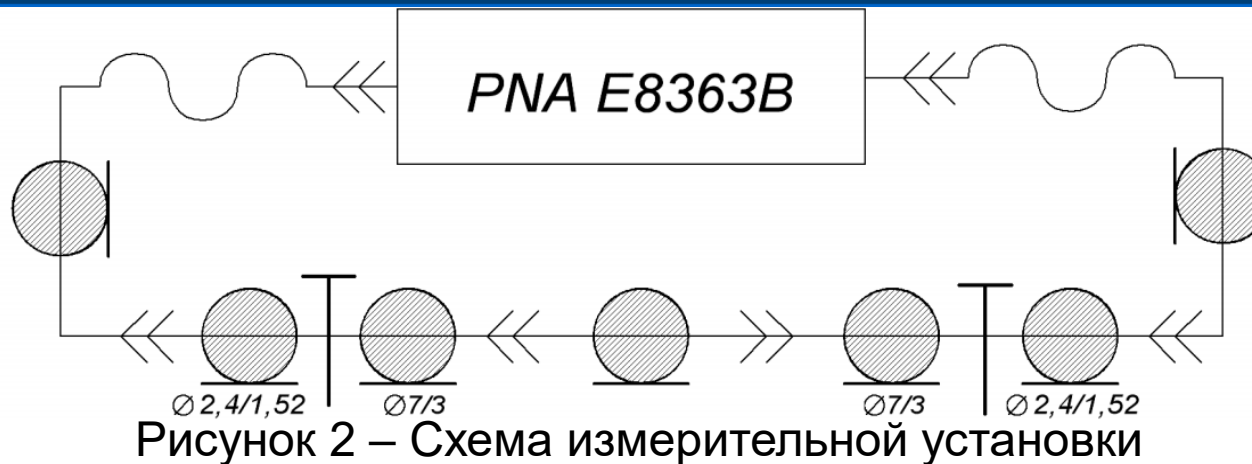


## Лишайник – Клядония звездчатая (*Cladonia stellaris*)



1, 2 – две точки





0, 4 – воздушная среда, 1, 3 – шайбы из фторопласта, 2 – исследуемый образец,  $d$  – толщина слоя  
Рисунок 3 – Внешний вид коаксиальных ячеек и схема размещения образца

[2] Репин А.В., Бобров П.П., Миронов В.Л., Терентьев С.А. Зависимость диэлектрической проницаемости водо-песчаных смесей от размеров твердых частиц, частоты и температуры // Известия высших учебных заведений. Физика. 2008. Т. 51(9/2). Стр. 120–123.

## Расчёт коэффициента отражения для слоистой структуры мохового покрова

$$S_{11} = \frac{Z_{inp1} - Z_0}{Z_{inp1} + Z_0},$$

$$\frac{1}{S_{21}} = \prod_{i=0}^3 \frac{Z_i + Z_{inp(i+1)}}{Z_{(i+1)} + Z_{inp(i+1)}} e^{ik_i d_i},$$

$$Z_{inpi} = \frac{Z_{inp(i+1)} + Z_i \tanh(jk_i d_i)}{Z_i + iZ_{inp(i+1)} \tanh(jk_i d_i)} Z_i,$$

$$k_i = k_0 \sqrt{\epsilon_i}$$

$$Z_i = Z_0 \sqrt{\epsilon_i}.$$

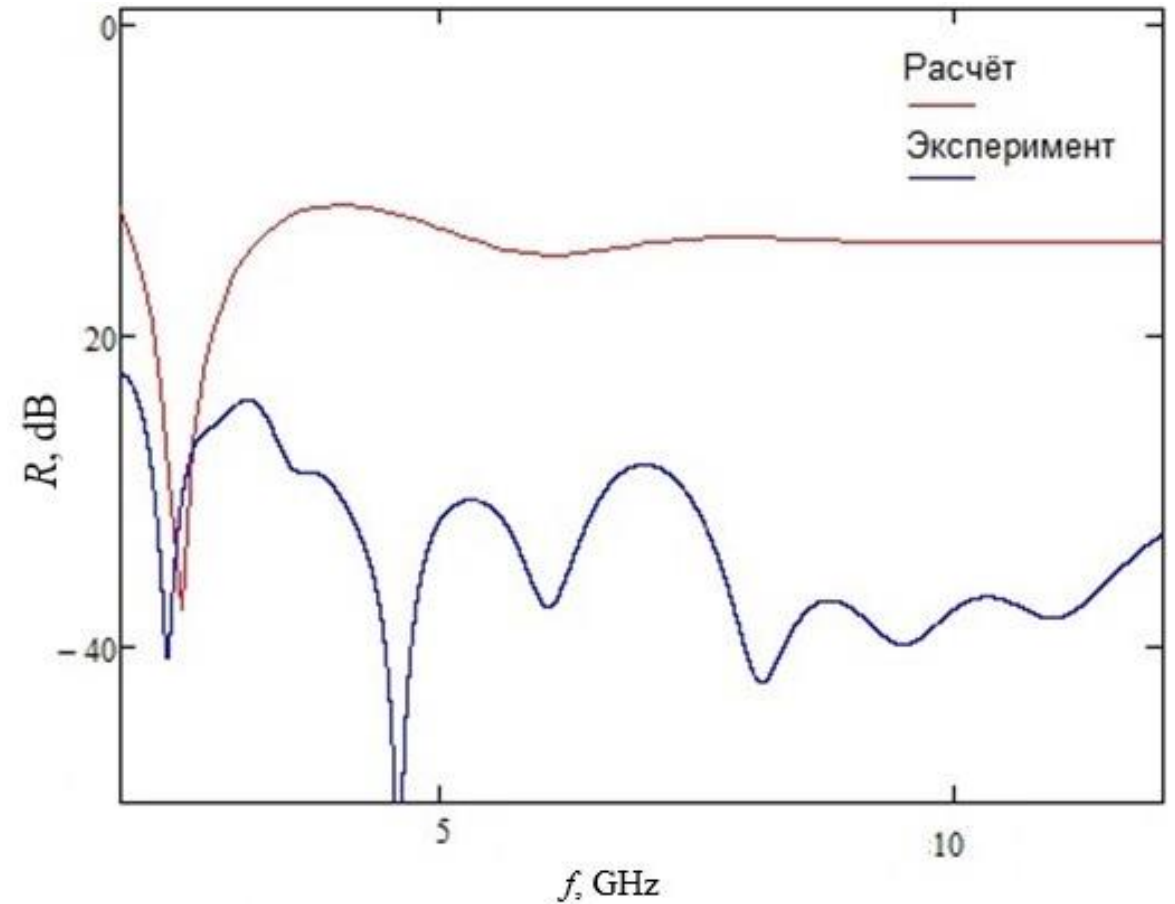
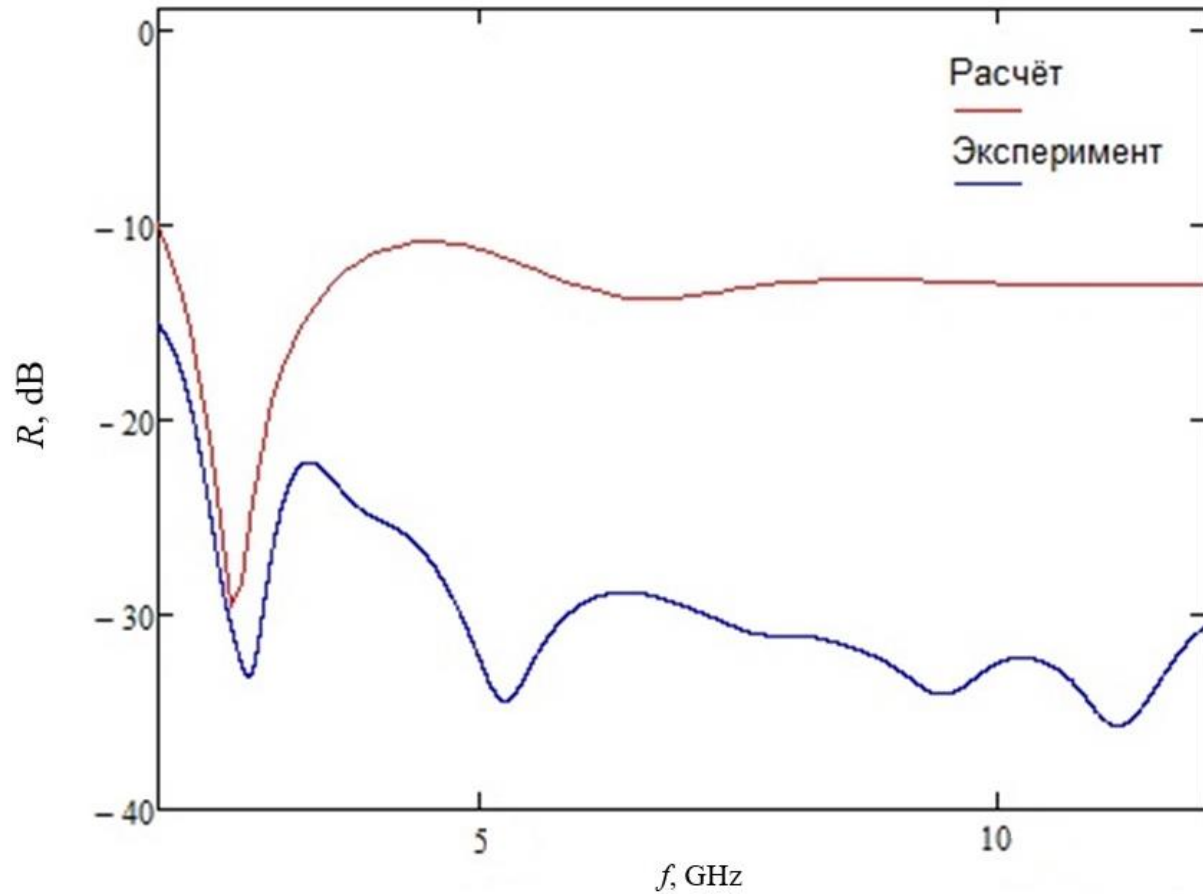
Воздух		
$\epsilon = 1,25 - i1,1$ $W = 132 \%$	Мох, верхний слой	3 см
$\epsilon = 3,15 - i4,1$ $W = 238 \%$	Мох, нижний слой	2 см
$\epsilon = 6,5 - i5,8$ $W = 128 \%$	Органическая прослойка	4,5 см
$\epsilon = 3,25 - i1,15$ $W = 29 \%$	Почва	

[3] Dielectric spectroscopy of oil-bearing rocks at 0.05–16 GHz / M.I. Epov, V.L. Mironov, P.P. Bobrov, I.V. Savin [etc] // Russian Geology and Geophysics. 2009. – С. 470 – 474 – С. 139 – 146.

[4] Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. 343 с.



## Частотные зависимости коэффициента отражения для мха и лишайника



## Обнадеживающие выводы:

1. Отражательные свойства разных видов мохово-лишайникового покрова отличаются на значительную величину ( $\sim 50\%$ ) в области частот 2-4 ГГц.
2. Зондирующая система на основе рефлектометра Caban-140 позволяет измерить коэффициент отражения от мохово-лишайникового покрова с удовлетворительной повторяемостью и достоверностью.
3. Согласие экспериментальных данных и расчетов по теории слоистых сред можно признать удовлетворительным в нижней части диапазона зондирования.





# Благодарю за внимание!

Исследование поддержано проектом РНФ № 23-27-00249 «Физические свойства мохово-лишайникового покрова торфяников криолитозоны Западной Сибири: изменения под влиянием природных и антропогенных факторов».

**«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН Москва, 13-17 ноября 2023 г.**