

ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского»  
Физический факультет  
Кафедра экспериментальной физики и радиофизики

# **Диэлектрическая проницаемость засоленных почв в диапазоне частот от 10 кГц до 8 ГГц.**

**Выполнила:**  
Крошка Елена Сергеевна

**Научный руководитель:**  
д.ф.-м.н., профессор  
Бобров Павел Петрович

# Актуальность проблемы.

При дистанционном исследовании почв микроволновыми методами необходима информация об их диэлектрических свойствах. Данные свойства очень сильно различаются у разных типов почв, то есть зависят от их состава, солености и различного содержания связанной воды и ее диэлектрических свойств.

Получение достоверной и точной информации о диэлектрической проницаемости почв и её зависимость от влажности и солености крайне необходима при космическом дистанционном радиолокационном и радиометрическом зондировании влажных почв, при диэлектрическом каротаже.

Разработаны методы, позволяющие с достаточной точностью определять комплексную диэлектрическую проницаемость, однако все же существуют некоторые проблемы при решении таких задач.

Поэтому исследование методов измерения комплексной диэлектрической проницаемости, обеспечивающих низкую погрешность в широком диапазоне частот (от единиц килогерц до единиц гигагерц) является актуальным.

# Методы измерения диэлектрической проницаемости на низких частотах.

## 1. Конденсаторный метод (до 1-10МГц) .

- Конденсатор с плоскими пластинами.
- Плоский конденсатор, частично заполненный образцом.
- Конденсаторы сферической или цилиндрической формы.

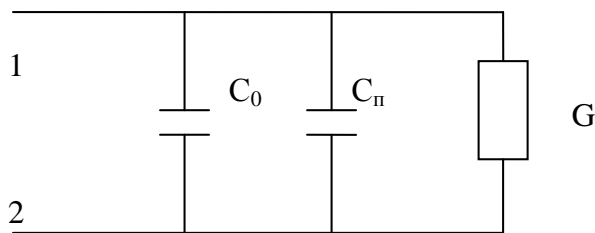


Рис.1. Эквивалентная схема

$C_п$  – паразитная емкость (элементы конструкции)

$G$  – учитывает проводимость диэлектрика

$C_к$  – краевая емкость, возникающая на краях пластин

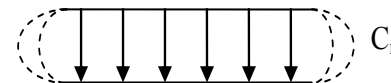


Рис.2. Краевая емкость -  $C_к$

## 2. Резонаторные методы (от 1 МГц до 100 МГц) .

- Метод замещения;
- Метод расстройки контуров;
- Измерения с помощью куметра;
- Метод биений;
- Радиоинтерференционный метод. Основан на измерении разности фаз сигнала прошедшего через эталонный и измеряемый образцы.

Резонансные методы применяются для измерений на метровых (реже дециметровых) волнах. Требуют хорошей измерительной аппаратуры. Проблемой является измерение в широком диапазоне частот. Чувствительны к паразитным параметрам, особенно в мегагерцовом диапазоне.

### 3. Волноводные методы (выше 100 МГц) .

- первый метод Друде (почти не применяется);
- использование коаксиальных линий.

Данные методы измерения комплексной диэлектрической проницаемости, основаны на использовании электромагнитных волн, направляемых посредством той или иной передающей линии. Такими передающими линиями являются двухпроводные, коаксиальные линии и волноводы, используемые для передачи сантиметровых волн.

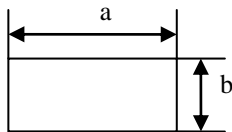


Рис.3. Волновод,  $a > \lambda/2$ ,  $b < \lambda/2$

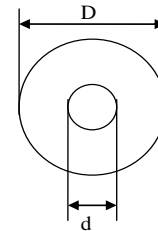


Рис.4. Коаксиальная линия

# Методы измерения диэлектрической проницаемости в широком диапазоне частот.

В последние десятилетия широко используют для измерения комплексной диэлектрической проницаемости *векторные анализаторы цепей*, измеряющие параметры матрицы рассеяния отрезка линии, заполненной исследуемым веществом.

**1. Метод измерения диэлектрической проницаемости, основанный на измерении комплексного коэффициента передачи и комплексного коэффициента отражения электромагнитной волны.**

Исследуемое вещество помещают в ячейку, представляющую собой отрезок коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом и длиной 20 см. Через ячейку с веществом пропускают электромагнитные волны заданной частоты. При этом в диапазоне частот 100-6000 МГц с помощью векторного анализатора цепей измеряют комплексный коэффициент передачи (параметр матрицы рассеяния  $S_{12}$ ) электромагнитной волны, распространяющейся в ячейке, и по формулам, связывающим параметр  $S_{12}$  с КДП, определяют КДП.

## 2. Усовершенствованные методы измерения комплексной диэлектрической проницаемости на высоких частотах.

Измерение комплексной диэлектрической проницаемости на частотах выше 100 МГц.

Сыпучее или жидкое вещество 2 помещается в коаксиальную ячейку между двумя шайбами из фторопласта 1 и 3 (диэлектрическая проницаемость фторопласта равна  $\varepsilon = 2,05 \pm 0,05 - j \cdot 6 \cdot 10^{-4}$ ). Среды 0 и 4 – воздух ( $\varepsilon = 1 - j \cdot 0$ ). Твердые образцы для размещения в ячейке необходимо изготавливать с высокой точностью, так как воздушные зазоры между образцом и проводниками ячейки будут приводить к увеличению погрешности измерений.

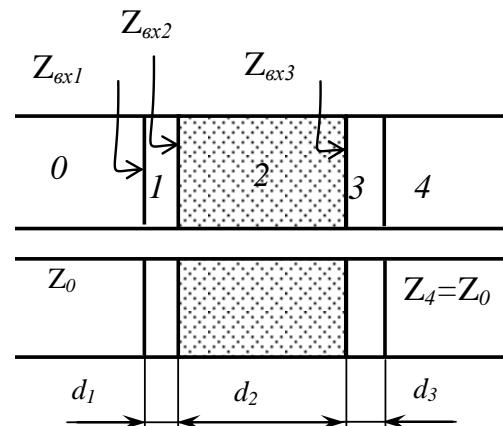


Рис. 5. Структура измерительной ячейки

## Измерение комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот 0,3–100 МГц.

Для повышения точности измерений в диапазоне 0,3 – 100 МГц было разработано устройство, в котором коаксиальная ячейка включается в разрыв центрального проводника дополнительного отрезка линии большего сечения с волновым сопротивлением, равным импедансу векторного анализатора цепей (50 Ом), таким образом, что корпус ячейки одновременно служит центральным проводником этого отрезка.

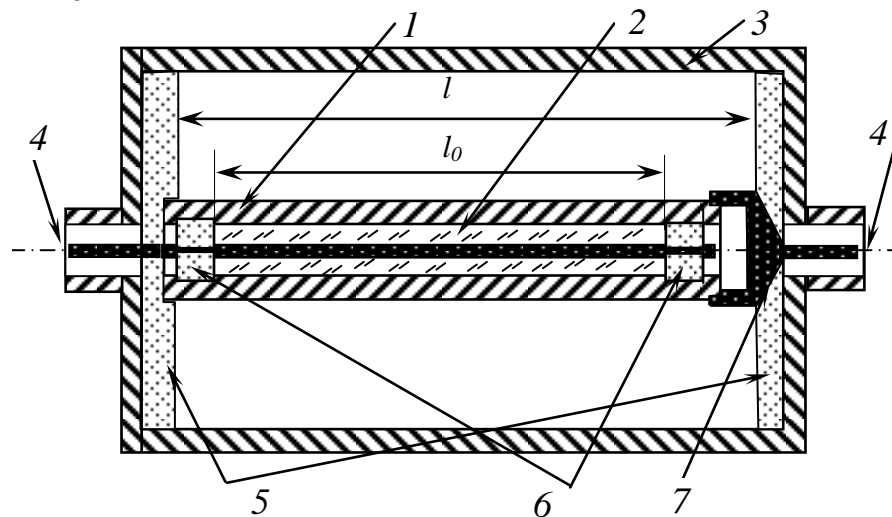


Рис.6. Эскиз устройства для измерения КДП в диапазоне 1 – 100 МГц.

1 – коаксиальная ячейка, заполненная исследуемым веществом 2; 3 – дополнительный отрезок линии; 4 – СВЧ разъемы для подключения устройства к АЦ; 5,6 – опорные диэлектрические шайбы; 7 – согласующий отрезок конической линии.



# Измерение КДП бентонита

Для измерения комплексной диэлектрической проницаемости бентонита была проведена следующая подготовительная работа.

*Для сухого бентонита:*

Заранее был подготовлен сухой бентонит (без дополнительного увлажнения). Он выдерживался неделю при комнатной температуре в плотно закрытом сосуде.

*Для засоленного влажного бентонита:*

Подготовленная 5% смесь бентонита и соли выдерживалась неделю при комнатной температуре в плотно закрытом сосуде. Далее в сосуд было добавлено небольшое количество дистиллированной воды, затем образец снова выдерживался неделю при комнатной температуре в плотно закрытом сосуде.

# Для измерений КДП использовались:

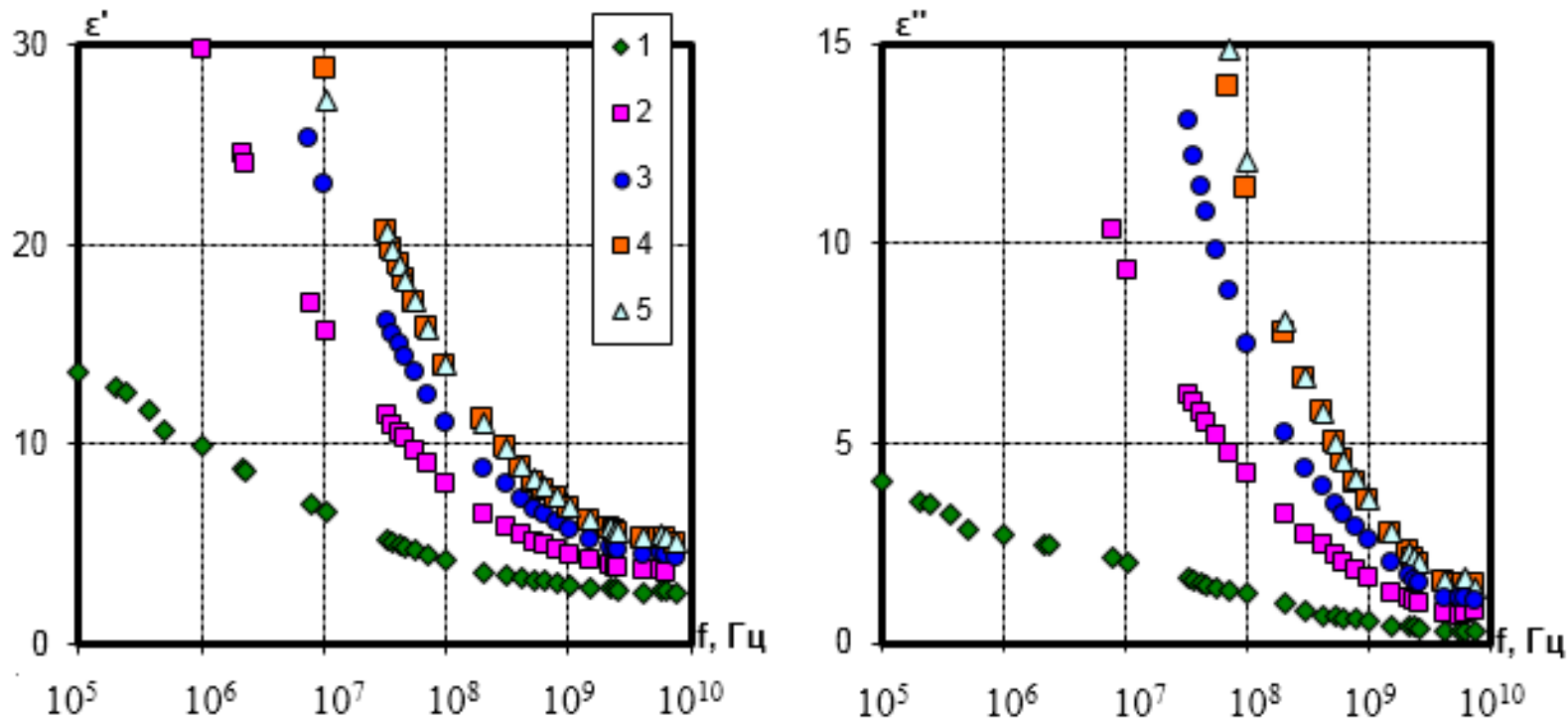


Измеритель LCR  
3532-50 фирмы  
HIOKI



Векторный  
анализатор  
параметров цепей  
ZNB8 фирмы  
Rohde & Schwarz

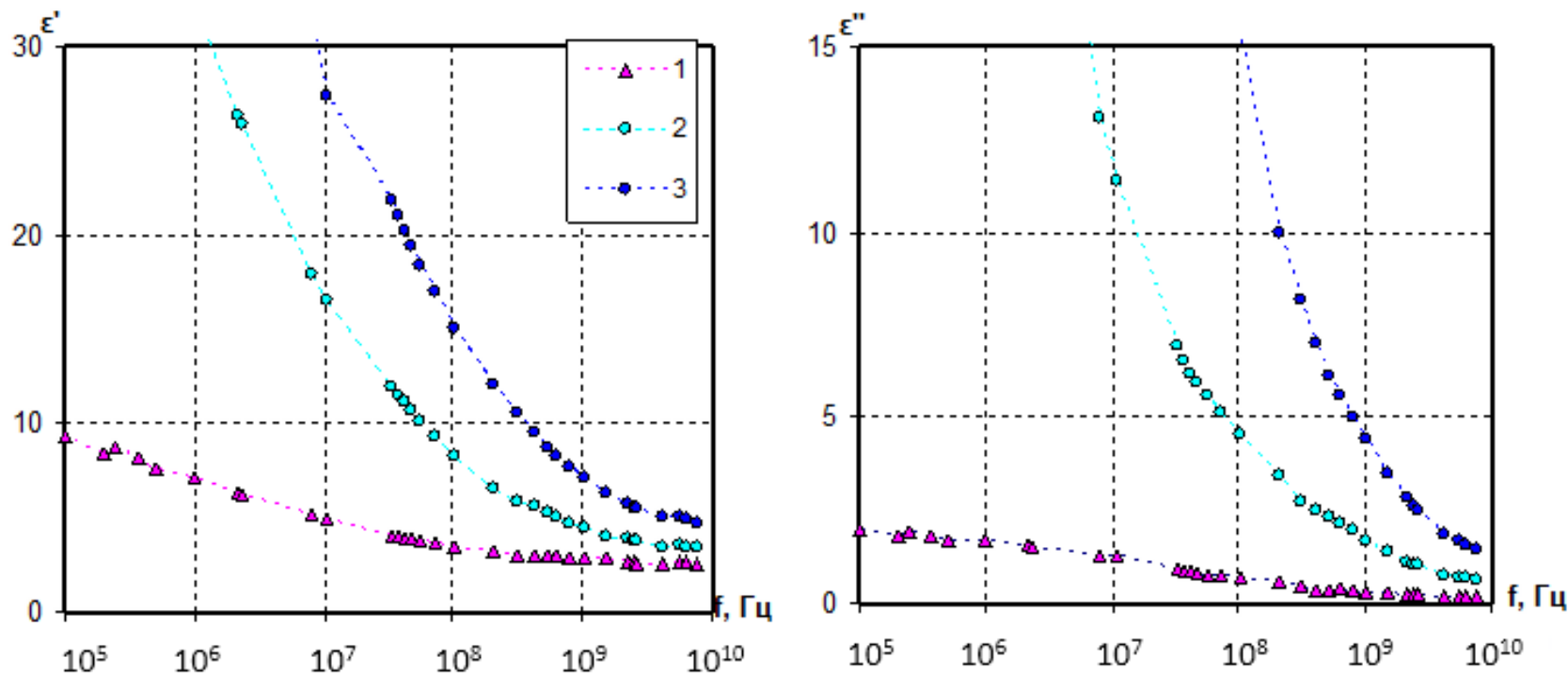
# Результаты измерения КДП образцов незасоленного бентонита с разной влажностью:



Частотные зависимости действительной  $\epsilon'$  и мнимой  $\epsilon''$  частей КДП незасоленного бентонита. Значения объёмной влажности:

- 1 -  $W_{об}=0,028$ ;
- 2 -  $W_{об}=0,041$ ;
- 3 -  $W_{об}=0,075$
- 4 -  $W_{об}=0,096$ ;
- 5 -  $W_{об}=0,100$ ;

# Результаты измерения КДП образцов засоленного бентонита с разной влажностью:



Частотные зависимости действительной  $\epsilon'$  и мнимой  $\epsilon''$  частей КДП засоленного бентонита.

Значения объёмной влажности:

1 -  $W_{об}=0,019$ ;

2 -  $W_{об}=0,063$ ;

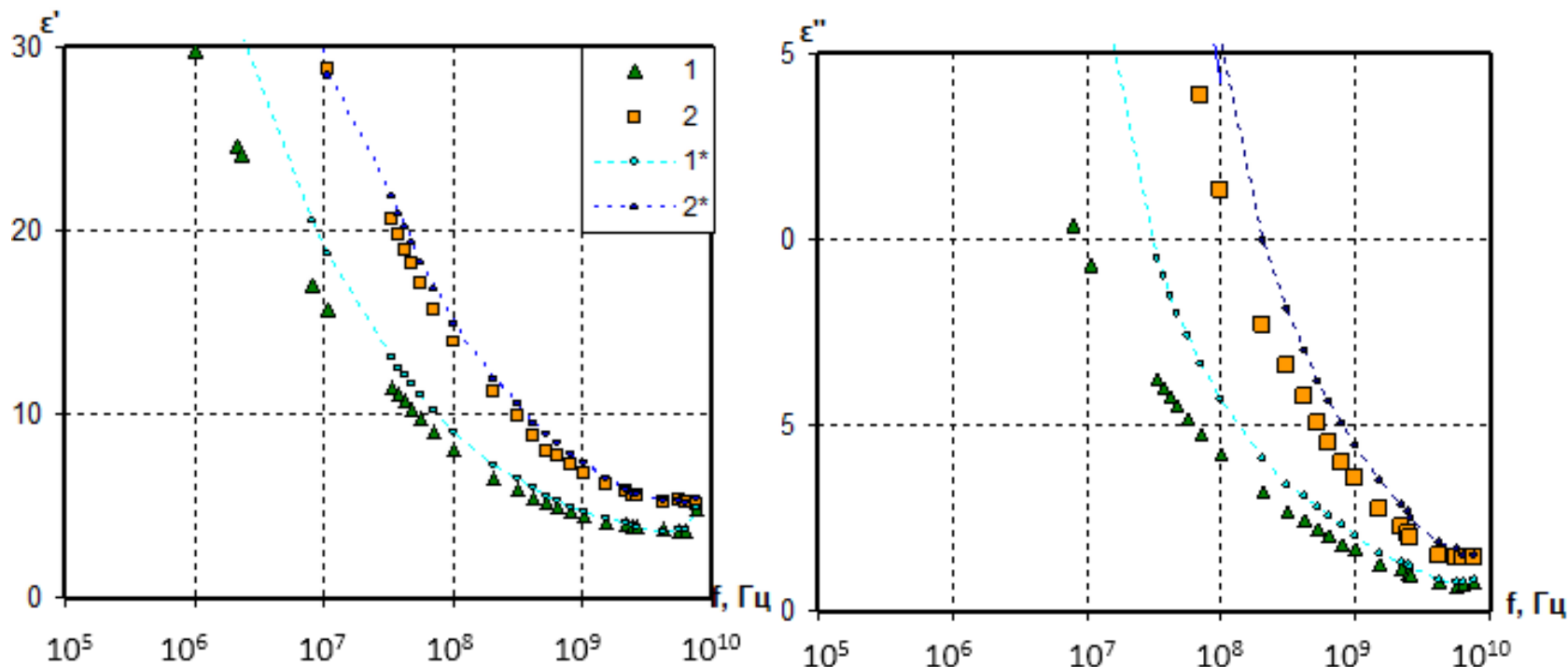
3 -  $W_{об}=0,090$ .

# Выводы:

Из графиков видно, что при возрастании влажности наблюдается увеличение действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости на всех частотах исследованного диапазона (от 100 кГц до 8 ГГц).

Наиболее сильное увеличение наблюдается в низкочастотной области.

# Результаты измерения КДП образцов засоленного и не засоленного бентонита с близкой влажностью:



Частотные зависимости действительной  $\epsilon'$  и мнимой  $\epsilon''$  частей КДП бентонита.

Значения объёмной влажности:

1 -  $W_{об} = 0,041$

1\* -  $W_{об} = 0,044$

2 -  $W_{об} = 0,096$

2\* -  $W_{об} = 0,097$

Образцы 1\* и 2\* засоленные.

# Выводы:

Из графиков зависимости видно, что на частотах ниже 100 МГц у засоленного образца наблюдается увеличение действительной части комплексной диэлектрической проницаемости по сравнению с незасоленным образцом, а на частотах ниже 1 ГГц у засоленного образца наблюдается значительное увеличение мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости по сравнению с незасоленным образцом.



**Спасибо за внимание!**