

# РАДИОВОЛНОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДСТИЛАЮЩИХ СРЕД В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОЛОКАТОРА ( $10^7$ - $5 \cdot 10^9$ Гц)

Загоскин В.В., Лукьянов С.П., Карауш А.С., Семенчук В.Е., Потемин Р.В.

Анализируются результаты экспериментальных исследований радиоволновых характеристик почво-грунтов, собранных с различных областей территории бывшего СССР. Приводятся графики зависимости радиоволновых параметров некоторых почво-грунтов от влажности и частоты. Результаты исследований могут использоваться для расшифровки данных радиофизического зондирования подповерхностных сред.

Современные дистанционные методы радиофизического зондирования и мониторинга физического состояния земной подстилающей поверхности (почвогрунтов и водных сред) основаны на использовании экспериментальных данных и физико-математических моделей, позволяющих связать данные дистанционных измерений с радиоволновыми характеристиками ( $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$ ,  $\sigma$ ) подстилающей среды.

Предлагаемый метод зондирования основан на анализе реакции исследуемой среды и объекта на импульсное сверхширокополосное (СШП) электромагнитное излучение. В общем случае спектр СШП электромагнитного излучения включает частоты до сотен мегагерц или единиц гигагерц, поэтому его воздействие вызывает возбуждение практически всех возможных типов собственных колебаний объекта и среды. Это существенно повышает информативность радиолокационной диагностики и контроля нарушений в природных и техногенных средах, например, растекание жидких ядовитых и загрязняющих компонентов, разливы нефтепродуктов, промышленные стоки и так далее.

Разработка методов интерпретации данных СШП зондирования, с целью определения состояния подстилающей поверхности и контроля объектов, размещенных в подповерхностных средах, требует знания процессов происходящих при взаимодействии электромагнитных волн со средой. Зондируемые среды: почвогрунты, строительные материалы, геолого-генетические комплексы пород и угли, представляют собой сложные вещества, комплексная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2$  которых различна, так как является сложной функцией типа материала среды, частоты электромагнитного поля, плотности, пористости, влажности, температуры. Точная физико-математическая модель, позволяющая связать и рассчитать влияние на  $\epsilon$  всех выше перечисленных факторов не существует, в силу сложности и разнообразия свойств упомянутых сред. Данные о  $\epsilon$  сред можно получить либо экспериментально, либо используя приближенные теоретические модели, позволяющие рассчитывать  $\epsilon$  в таких средах.

Земная поверхность представляет собой сложную слоистую структуру, в общем случае верхний слой занимает почва, а ниже идет глинистый, либо песчаный грунт. Наиболее представительными на Земле являются дерново-подзолистые почвы. Так по классификации, предложенной в работе [1], зональных почв насчитывается восемь, из которых подзолистые и дерново-подзолистые почвы, включающие в себя болотистые почвы, образуют зону и занимают большую часть территории России (свыше 50% территории бывшего СССР). Электрофизические свойства ( $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$ ,  $\sigma$ ) таких почвогрунтов имеют частотную и температурно-влажностную зависимость, что представляют предмет для инженерных и теоретических исследований.

В литературе, посвященной исследованиям диэлектрических свойств земной поверхности, до настоящего времени нет единого мнения о вариациях  $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$  и  $\sigma$  в зависимости от типа почвогрунтов.

Дерново-подзолистые почвы, песчаные и глинистые грунты, собранные с территорий Дальнего Востока, Забайкалья, Западной Сибири, Казахстана, Европейской части России для экспериментальных исследований диэлектрических свойств, отличаются по химическому и механическому составу. Результаты проведенных измерений  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\text{tg}\delta$  показали, что действительная часть диэлектрической проницаемости ( $\epsilon'$ ) всех исследуемых почвогрунтов с различной влажностью и независимо от типа грунта частотной дисперсии в данном диапазоне не имеет.

Зависимость действительной части диэлектрической проницаемости некоторых почвогрунтов от объемной концентрации (X) в них воды

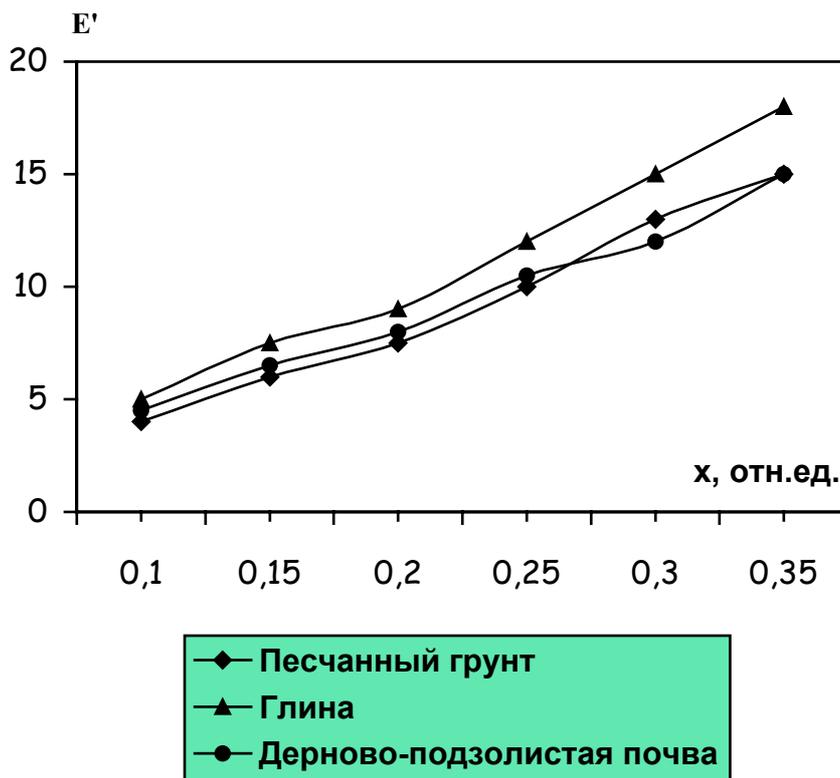


Рис. 1

На рис.1 приведены усредненные по частотам ( $10^7 - 5 \cdot 10^9$  Гц) значения  $\epsilon'$  различных дерново-подзолистых почв, песчаных и глинистых грунтов в зависимости от объемной концентрации влаги.

Частотные характеристики радиоволновых параметров  $\epsilon'$ ,  $\text{tg}\delta$  у всех исследованных почвогрунтов в диапазоне частот ( $10^7 - 5 \cdot 10^9$  Гц) имеют общий характер. Установлено, что частотные зависимости определяются содержанием влаги в почвогрунте и наличием солей. У сухих почвогрунтов частотная дисперсия  $\epsilon'$ ,  $\text{tg}\delta$  в данном диапазоне частот отсутствует. С увеличением объемного содержания воды ( $X > 0,02$ ) в образцах почвогрунтов величина  $\epsilon'$  (рис.1) растет, но дисперсии  $\epsilon'$  вплоть до частот  $5 \cdot 10^9$  Гц не обнаружено.

На рис. 2-4 представлены графики зависимостей  $\epsilon'$ ,  $\text{tg}\delta$  от логарифма частоты ( $\lg f$ ) для дерново-подзолистой почвы, песка, глины. Из графиков видно, что поведение зависимостей действительной части диэлектрической проницаемости одинаково, частотная дисперсия  $\epsilon'$  для различных значений содержания воды в грунтах отсутствует.

Для сухих почвогрунтов  $\text{tg}\delta$  также не имеет частотной дисперсии для всех исследуемых почвогрунтов. Для влажных почвогрунтов характер поведения  $\text{tg}\delta$  подобен, а отличие наблюдается только по величине в зависимости от типа почвогрунта.

У влажных почвогрунтов  $\text{tg}\delta$  в высокочастотной области спектра не зависит от типа грунта. В сравнительно низкочастотной области ( $10^7 - 10^8$ ) Гц поглощение СВЧ мощности молекулами свободной воды не вносит существенного вклада в потери, а спадающий характер зависимости  $\text{tg}\delta$  влажных почвогрунтов связан с влиянием сквозной проводимости, обусловленной ионами солей, растворенных из почвогрунта и чем выше объемное содержание воды, тем больше растворяется солей и, следовательно, увеличивается сквозная проводимость, что приводит к увеличению значений  $\text{tg}\delta$ . В пользу этого говорит факт большой величины  $\text{tg}\delta$  почвогрунтов, имеющих большую сквозную проводимость (рис. 5). Это и приводит к росту  $\text{tg}\delta$  с увеличением объемной влажности на какой-либо фиксированной частоте. С возрастанием частоты  $\text{tg}\delta$ , обусловленный сквозной проводимостью должен уменьшаться [2], что и наблюдается на графиках (рис. 2-4).

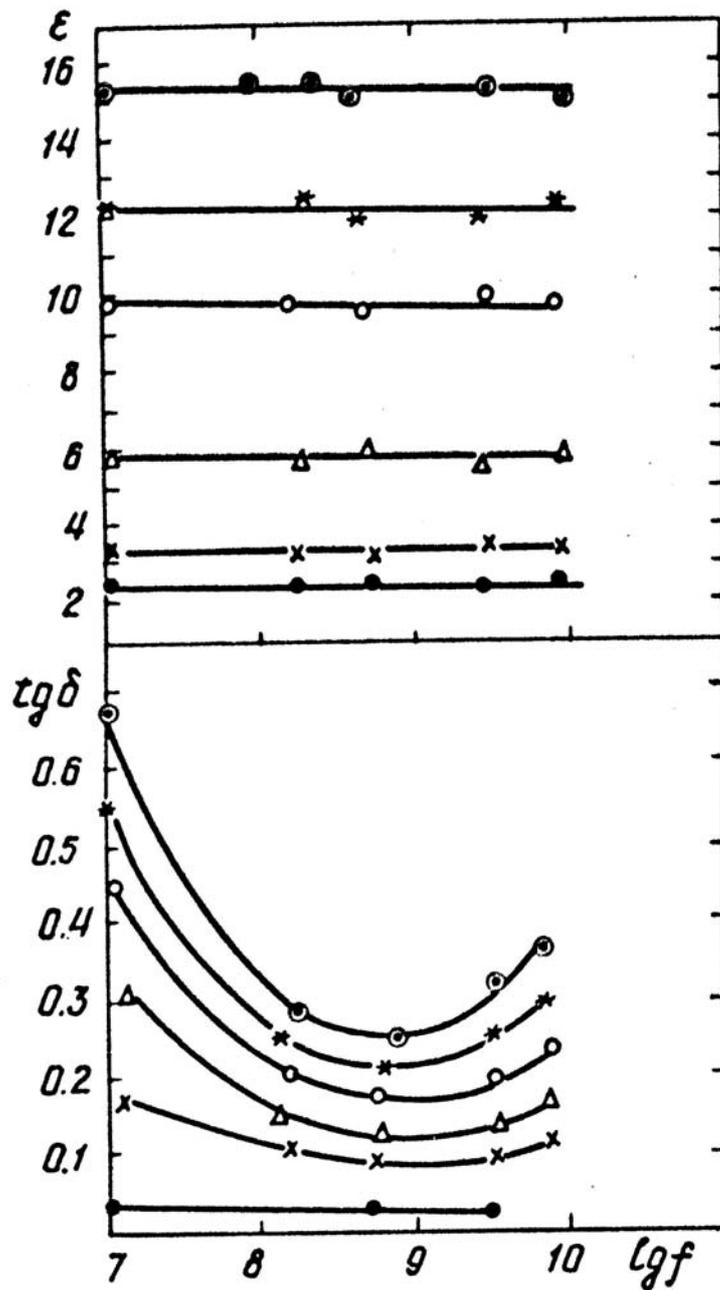
Необходимо отметить, что все выше сказанное об радиоволновых параметрах  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\text{tg}\delta$  влажных подповерхностных сред относится к равномерному распределению в них влаги и температуры.

Полученные экспериментальные данные о частотных и влажностных зависимостях радиоволновых параметров подстилающих сред будут использованы для расшифровки данных зондирования, полученных с помощью видеоимпульсного подповерхностного радиолокатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грунтоведение. / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. - М.: Изд-во МГУ, 1983.- 392 с.
2. Хиппель А.Р. Диэлектрики и волны.- М.: с ил., 1960.- 438 с.

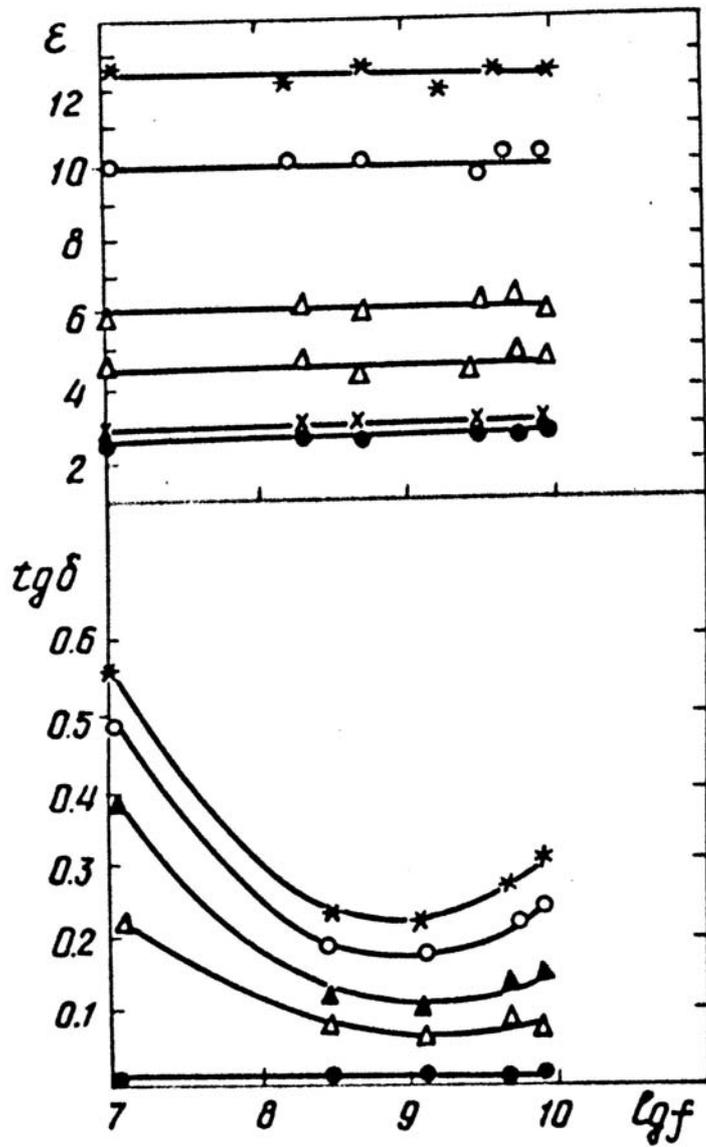
Зависимость  $\epsilon'$ ,  $\operatorname{tg}\delta$  влажной дерново-подзолистой почвы  
от частоты:



- -  $x = 0$ ;      x -  $x = 0,06$ ;      Δ -  $x = 0,13$ ;  
 ○ -  $x = 0,2$ ;    \* -  $x = 0,22$ ;      ⊙ -  $x = 0,3$ .

Рис.2

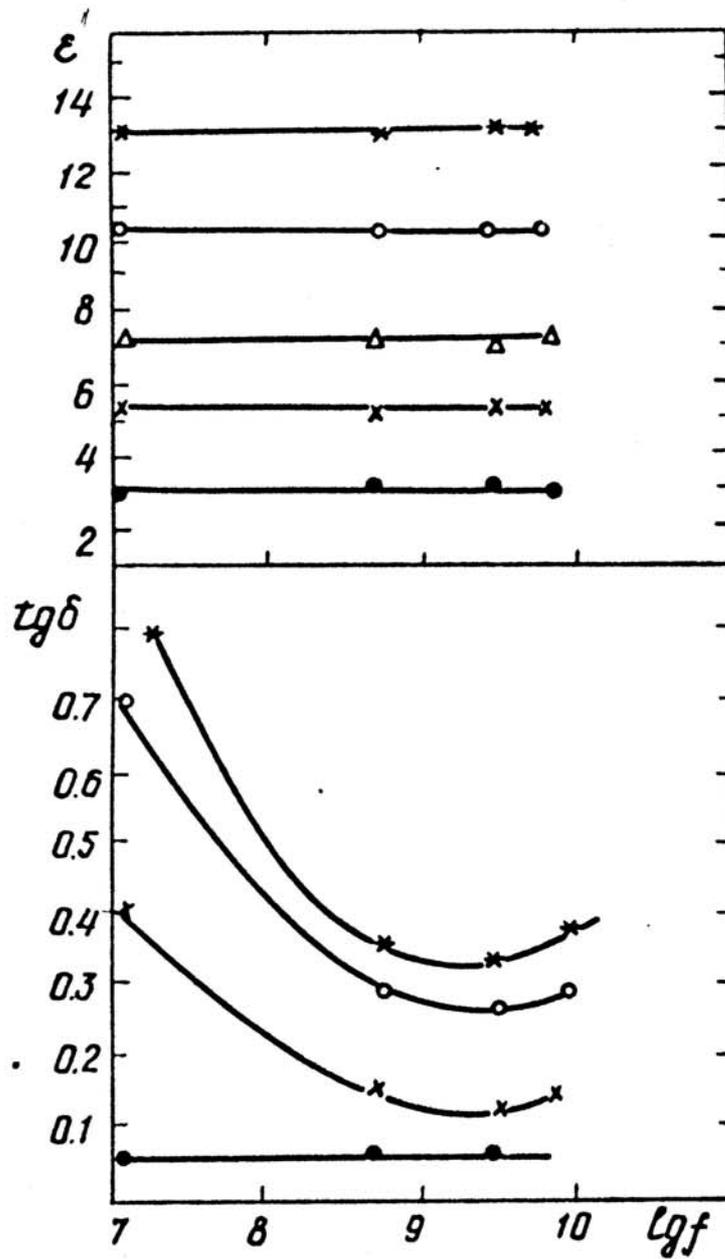
Зависимость  $\epsilon'$ ,  $\text{tg}\delta$  влажного песка от частоты:



- -  $x = 0\%$
- △ -  $x = 0,02$
- ▲ -  $x = 0,08$
- -  $x = 0,197$
- \* -  $x = 0,22$ .

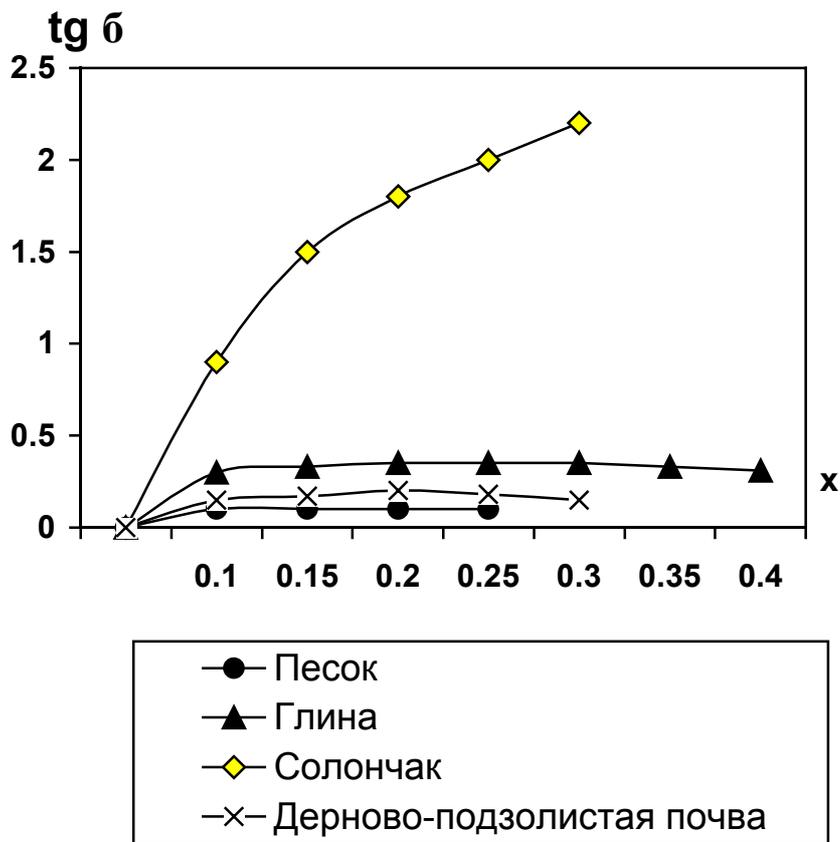
Рис.3

Зависимость  $\epsilon'$ ,  $\operatorname{tg}\delta$  влажной глины от частоты:



- -  $x = 0$
- × -  $x = 0,08$
- -  $x = 0,14$
- \* -  $x = 0,2.$

Рис.4



Зависимость  $\text{TG}\delta$  от объемного содержания воды различных почвогрунтов измеренных на частоте  $4 \cdot 10^8$  Гц.  
Рис. 5