



## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук на диссертацию Родионовой Ольги Васильевны «Метод измерения комплексной диэлектрической проницаемости почвогрунтов в широкой полосе частот», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

### **Актуальность темы диссертации**

Диэлектрический метод является одним из источников получения информации о свойствах вещества, однако зачастую его возможности ограничиваются высокой погрешностью измерений, особенно в тех случаях, когда необходимо проводить измерения одного и того же образца в широком частотном диапазоне. Информация о диэлектрических спектрах влажных почв и горных пород необходима для решения задач дистанционного зондирования Земли, при подповерхностном зондировании сверхширокополосными электромагнитными импульсами, имеющем хорошую перспективу для поиска полезных ископаемых, а также при космическом дистанционном радиолокационном и радиометрическом зондировании влажных почв, при диэлектрическом каротаже.

Совершенствование этих методов тормозится отсутствием методик диэлектрических измерений веществ в широком диапазоне частот, представленных одним образцом, позволяющих обеспечивать низкую

погрешность измерений, поэтому проблема, исследованию которой посвящена данная работа, является актуальной.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературных источников. Содержание работы изложено на 136 страницах печатного текста. Список литературы включает 126 наименований.

Во введении сформулирована проблема, обосновывается актуальность темы, анализируется степень ее разработанности, поставлены конкретные задачи исследования; выдвигаются основные положения, выносимые на защиту, акцентируется внимание на их новизне, раскрывается и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации приведен достаточно полный обзор литературы по исследуемой проблеме. Рассмотрены как основополагающие работы отечественных и зарубежных авторов, так и современные работы по широкополосной диэлектрической спектроскопии.

Рассмотрены также существующие методики измерения комплексной диэлектрической проницаемости различных веществ, а также диэлектрические модели многокомпонентных смесей и релаксационные модели комплексной диэлектрической проницаемости воды. Проанализированы диэлектрические свойства глинистых почв.

Выполненный обзор свидетельствует о хорошем знании автором предмета исследования. В конце главы на основании литературного обзора делается вывод о необходимости разработки широкополосного метода измерения комплексной диэлектрической проницаемости веществ, представленных одним образцом.

Во второй главе диссертации описаны сущность разработанного и запатентованного метода измерения комплексной диэлектрической проницаемости жидких и сыпучих веществ в широком диапазоне частот, обладающего рядом преимуществ, а также приведены результаты

тестирования метода. Отдельный параграф посвящен описанию методики расчета погрешностей измерений.

Показано, что с использованием этого способа стало возможным получение непрерывных спектров диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 42 Гц до 8,5 ГГц, которые позволяют создавать и тестировать спектроскопические модели почв и горных пород, исследовать многочастотные релаксационные процессы. Исследована зависимость погрешности измерений комплексной диэлектрической проницаемости от длины измерительной ячейки. При надлежащем выборе длины погрешность измерения для действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости не превышает 3 % во всем диапазоне.

В третьей главе приведены результаты исследования зависимостей во времени комплексной диэлектрической проницаемости бентонита и суглинка в широком частотном диапазоне, а также результаты исследований искусственных смесей речного песка и кварцевых гранул с различными типами глин, проанализированы изменения диэлектрических свойств связанной воды в бентоните при ее малой доле и при разных температурах.

Показано, что

- при увлажнении почв из сухого состояния происходит изменение комплексной диэлектрической проницаемости в течение нескольких суток. Значительные изменения наблюдаются в диапазоне частот ниже 1–100 МГц.
- На графиках зависимости комплексного показателя преломления бентонита от влажности обнаружены изломы при объемной доле воды 4-7%, свидетельствующие об изменении состояния связанной воды. При этих значениях влажности происходит также изменение температурной зависимости комплексной диэлектрической проницаемости и параметров моделей, описывающих релаксационные процессы.
- Установлена тесная корреляционная связь между временем релаксации комплексной диэлектрической проницаемости глинистых

образцов, полностью насыщенных дистиллированной водой, и удельной поверхностью в диапазоне ее значений 5–70 м<sup>2</sup>/г.

В заключении приведены основные выводы диссертационного исследования.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается тщательным учетом погрешностей измерений, тестированием установки с использованием эталонных жидкостей, согласием большого объема экспериментальных данных с результатами расчетов по моделям, совпадением некоторых данных с данными, полученными другими исследователями.

### **Новизна результатов проведенных исследований**

Автором получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан новый широкополосный метод измерения комплексной диэлектрической проницаемости сыпучих и жидких веществ, находящихся в одной ячейке, в диапазоне частот 42 Гц – 8,5 ГГц. Новизна подтверждена патентами на изобретение № 2509315 МПК G01R27/26, G01N22/04 и № 2474830 С1 МПК G01R27/26, G01N22/04.

2. Обнаружен процесс длительного изменения комплексной диэлектрической проницаемости глинистых почв после увлажнения из сухого состояния, оценена его длительность.

3. Обнаружено скачкообразное изменение показателя преломления связанной воды в бентоните, свидетельствующее об изменении ее фазового состояния при изменении влажности.

4. Установлена зависимость времени диэлектрической релаксации от площади удельной поверхности глинистых водонасыщенных пород, не зависящая от типа глины.

Подытоживая, можно констатировать, что автор в составе коллектива принимал участие в разработке и тестировании метода измерения комплексной диэлектрической проницаемости жидких и сыпучих веществ в широком диапазоне частот, позволяющего минимизировать погрешность. Им выполнен большой объем экспериментальных исследований и самостоятельно

выполнена основная часть расчетов и работ по моделированию, которые позволили сделать ряд выводов, имеющих научную новизну и практическую значимость.

Полученные данные могут быть использованы для развития методов дистанционного зондирования Земли, подповерхностной радиолокации, диэлектрического каротажа и исследования свойств пород диэлектрическим методом.

Основные результаты исследований могут быть использованы в научно-исследовательских организациях РАН: ИКИ РАН, ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, Институте физики СО РАН, Институте почвоведения и агрохимии СО РАН, Институте почвоведения МГУ РАН, Агрофизическом НИИ РАСХН.

Диссертация О.В. Родионовой включает результаты, полученные ей лично, она выполнена на современном научно-техническом уровне. Изложение в диссертации полученных результатов логичное. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертационного исследования. Материалы диссертации представлены в 19 работах, в том числе 5 статей в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (из них 1 статья в журнале, индексируемом в базе Web of Science), 2 патента Российской Федерации, 2 статьи в научных журналах (из них 1 статья в зарубежном научном журнале), 10 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций и симпозиумов (из них 2 зарубежных).

Наряду с несомненными достоинствами, в диссертации имеются и определенные недостатки.

1. Измерительная ячейка коаксиального типа имеет протяжённую форму и узкий рабочий объем между внешним и центральным проводниками коаксиальной линии размера  $7/3$  с цилиндрическим рабочим пространством толщиной около 2 мм. Такая узкая кольцевая щель не позволяет размещать

исследуемые образцы без существенных деформаций их природной петрофизики.

2. Естественные исследуемые образцы грунта или почвы не однородны по структуре. При их загрузке в измерительную ячейку отдельные фрагменты будут иметь случайный характер ориентации и условия контакта со стенками ячейки. Это будет привносить случайный элемент в точность измерения. Степень влияния этого фактора, кроме выше сказанного, будет зависеть от размеров, конструкции и конкретной методики измерения.

3. Показанная высокая точность измерения значений комплексной диэлектрической проницаемости учитывает только инструментальную погрешность (паспортные значения) приборов и систематическую погрешность, которая частично учитывается при проведении процедуры калибровки. Не даны экспериментальные значения серии измерений в условиях неоднократной загрузки образцов почвы (грунта). Следовало бы показать статистику возможных вариаций таких отклонений и соответственно дать статистическую обработку полученных результатов с определением оценок нормальности закона распределения, например, с использованием критерия Пирсона, и провести расчёты доверительных интервалов при заданной доверительной вероятности для измеряемой величины.

4. В п.1.1.1. «Конденсаторный метод» не рассмотрен широко известный метод измерения с дополнительным охранным кольцом, в котором решены проблемы искажения поля на краях.

5. В диссертации имеются отдельные погрешности в тексте. Так, на стр.45. в формуле (1.19) Девидсона-Коула в знаменателе должен быть знак плюс.

6. Стр.45. Для формулы (1.20) дана неверная интерпретация условий перехода её в формулы Коула-Коула и Дебая.

В целом диссертация О.В.Родионовой «Метод измерения комплексной диэлектрической проницаемости почвогрунтов в широкой полосе частот»

носит характер законченной научной работы. Ее результаты, несомненно, имеют важное научное и прикладное народохозяйственное значение.

Диссертационная работа «Метод измерения комплексной диэлектрической проницаемости почвогрунтов в широкой полосе частот» соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.03 - «Радиофизика» по разделу 2 паспорта специальности «Изучение линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах», а ее автор Родионова Ольга Васильевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация и отзыв на нее обсуждены на заседании лаб.301 и одобрены на заседании научно-квалификационного семинара «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы» и «Статистическая радиофизика» Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН протокол № 8 от 07 сентября 2016 г.

Отзыв подготовлен Саворским Виктором Петровичем, к-ф-м.н., специальность 01.04.03 – «Радиофизика», с.н.с., зав. лаб. 301 «Лаборатория инструментальных и информационных методов исследования окружающей среды средствами дистанционного зондирования» ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН \_\_\_\_\_

  
подпись

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук

Адрес: 125009, г. Москва, ул. Моховая 11, корп.7

Телефоны: +7 (495) 629 3574

Электронная почта: [ire@cplire.ru](mailto:ire@cplire.ru)

Web-сайт: <http://www.cplire.ru>