

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 002.231.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от

21 апреля 2017 г., № 5

**О присуждении Орлову Алексею Олеговичу, гр. России, ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация «Микроволновые свойства переохлаждённой поровой воды на частотах  $11 \div 140$  ГГц» по специальности 01.04.03 «Радиофизика» принята к защите 03 февраля 2017 г., протокол № 1, диссертационным советом Д 002.231.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, д.11, корп.7), (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки России о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Орлов Алексей Олегович, 1981 г. рождения, в 2003 году окончил Забайкальский государственный педагогический университет им. Н.Г.Чернышевского.

С 01.11.2003 по 31.10.2006 гг. проходил обучение в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПРЭК СО РАН).

Работает младшим научным сотрудником лаборатории геофизики криогенеза ИПРЭК СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории геофизики криогенеза ИПРЭК СО РАН.

Научный руководитель: **Бордонский** Георгий Степанович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геофизики криогенеза ФГБУН Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН.

### **Официальные оппоненты:**

• **Бобров** Павел Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией дизелькометрии и петрофизики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный педагогический университет» (ОмГПУ),

• **Каневский** Борис Зиновьевич, кандидат физико-математических наук, заведующий отделом наземных приемо-передающих комплексов Астрокосмического центра Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева» Российской академии наук, дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** - Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (Москва), в своем положительном заключении, подписанным Тихоновым Василием Владимировичем, кандидатом физ-мат. наук, старшим научн. сотруд.. отдела «Исследование Земли из космоса», секретарем семинара Митягиной Мариной Ивановной, кандидатом физ-мат.наук. старшим научн. сотруд., Шарковым Евгением Александровичем, доктором физ-мат.наук, проф., зав отделом и утвержденном директором Института доктором физ-мат.наук, академиком Зеленым Львом Матвеевичем отметила, что диссертация А.О.Орлова выполнена на актуальную тему, достоверность и новизна полученных в ней результатов не вызывает сомнений. Автором выполнен весь объем измерений увлажненных пористых дисперсных сред, а также все расчеты по восстановле-

нию диэлектрических параметров поровой воды, которые позволили сделать выводы, имеющие научную новизну и практическую ценность. Полученные в работе результаты могут быть использованы в организациях гидрометеорологического профиля при обработке информации дистанционного зондирования, а также в институтах РАН: ИКИ РАН, ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, ИПФ РАН, Тихоокеанском океанологическом ин-те ДВО РАН, Ин-те криосферы СО РАН, Ин-те физики атмосферы РАН.

**Опубликованные работы по теме диссертации:** по теме диссертации опубликовано **22** работы, в том числе **12** научных статей – в журналах, включенных в перечень ВАК, **8** работ – в трудах международных и отечественных конференций, **2** препринта - в архиве Корнельского университета, общим объемом 12,9 печатных листов, из них 5,8 печатных листов принадлежат соискателю лично.

Вклад соискателя в опубликованные работы является значительным, как в теоретическом, так и в экспериментальном отношении.

К наиболее значительным работам соискателя можно отнести следующие:

1. Fedichev, P.O. Experimental evidence of the ferroelectric nature of the  $\lambda$ -point transition in liquid water / P.O. Fedichev, L.I. Menshikov, G.S. Bordonskiy, A.O. Orlov // Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (JETP Letters). – 2011. – Т. 94, № 5. – С. 401-405.

2. Орлов, А.О. Свойства переохлажденной воды при температуре ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  / А.О. Орлов, Г.С. Бордонский // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского. – 2013. – № 3. – С. 83-88.

3. Бордонский, Г.С. Исследование сегнетоэлектрических фазовых переходов воды в нанопористых силикатах при совместных электрических шумовых и калориметрических измерениях / Г.С. Бордонский, А.О. Орлов // Физика твердого тела. – 2014. – Т. 56, Вып. 8. – С. 1575-1582.

4. Орлов, А.О. Исследование микроволновых свойств переохлажденной воды в пористых средах на частотах 34 и 94 ГГц / А.О. Орлов // Вестник ЗабГУ. – 2016. – Т. 22, № 8. – С. 14-20.

5. Бордонский, Г.С. Диэлектрические потери в переохлажденной поровой воде на частоте 34 ГГц / Г.С. Бордонский, А.О. Орлов, К.А. Щегрина // Известия вузов. Радиофизика. – 2016. – Т. 59, № 10. – С. 906-915.

**На автореферат диссертации** поступили положительные отзывы из:

- ФГБУН Института физического материаловедения СО РАН от зам.дир. института д.т.н. Чимитдоржиева Тумэна Намжиловича (замеч.: в автореферате приведены результаты измерений диэлектрических свойств на шести частотах. Можно ли на основе полученных данных судить о поведении диэлектрических свойств воды при отрицательных температурах во всем исследованном диапазоне частот  $11 \div 140$  ГГц?).

- ФГБУН Байкальского института природопользования СО РАН от к.т.н., ст.н. сотр. Цыдыпова Баира Зугдыровича (замеч.: отсутствие проверки полученных формул, например, при радиозондировании атмосферы).

- ФГБУН Института космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г.Шафера СО РАН от к.ф.-м.н., ст.научн.сотр. Козлова Владимира Ильича (замеч.: в автореферате приведены результаты измерений диэлектрических свойств моделей грунта и природных материалов, таких как цеолит, древесина сосны и песчаный грунт. Но остается вопрос, насколько можно распространить полученные выводы на другие реальные мерзлотные почвы, суглинки супеси и ледники?)

- ФГБОУ ВО «Владимирский гос. университет им. А.Г. и Н.Г.Столетовых» от к.ф.-м.н. Садовского Ильи Николаевича, доцента каф. радиотехники и радиосистем (замеч.:

В качестве замечания по составлению автореферата можно отметить следующее, часть экспериментальных результатов сравнивается с данными моделирования, полученными в соответствии с [ Meissner, T/ The complex dielectric constant of pure and water from microwave satellite observation/T.Meissner, F.J.Wentz//IEEE Trans Geosci. Rem.Sens.-2004.-Vol.42,№9.-P.1836-1849.] При этом из текста автореферата невозможно выделить ответы на следующие вопросы: 1. Не совсем очевиден выбор в качестве «опорных» результатов вычислений по указанной модели комплексной диэлектрической проницаемости, базирующейся, в основном, на результатах обработки данных спутниковых наблюдений. 2. Насколько корректно сравнение результатов моделирования с данными измерений (рис 2 и 3 автореферата) при участии факта, что в экспериментах определялось затухание ЭМИ не в водной среде, а в сложной системе, частично увлажненных образцов, изменение электромагнитных свойств которых может быть обусловлено не столько диэлектрическими свойствами воды, а их структурой и иными причинами, сформулированными автором в гл.2?).

- ФГБУН Института прикладной физики РАН от Паршина Владимира Владимировича, старшего научн.сотр. (замеч.нет).

- ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет» от д.ф.м.н., проф. Ильина Вадима Алексеевича, профессора каф. общей и экспериментальной физики (замеч.: в автореферате отсутствуют сведения об учете изменения плотности переохлажденной воды в зависимости от температуры).

- ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН от д.т.н., доц. Романова Андрея Николаевича, зав.лаб физики атмосферных и гидросферных процессов (замеч.: 1. Непонятно каким образом вторая критическая точка воды влияет на возрастание магнитных потерь в области  $-45^0$  С ? 2. На стр.4 указано, что объектом исследования являются нонопористые силикаты. Есть ли данные о распределении пор в исследованных материалах по размерам. Имелись ли в образце более крупные поры, микропоры, ультрапоры? Учитывалось ли влияние сорбированной воды, связанной на поверхности образца? 3. Учитывалось ли (и нужно ли учитывать) влияние шероховатости подложки при измерениях на высоких частотах?).

ФГБУН Тихоокеанского океанологического института им. В.И.Ильичева Дальневосточного отделения РАН от д.ф.м.н., проф., главного научн.сотр. Митника Леонида Моисеевича (замеч.нет).

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский гос. университет» от к.ф.м.н. Суслеева Валентина Ивановича, доцента каф. радиоэлектроники (замеч.: 1. В 1-м защищаемом положении утверждается, что с твердой поверхностью связан только первый слой молекул воды, а остальные слои близки к свойствам объемной воды. Какая объемная вода имеется в виду, слоистая, что в пористых структурах или объемная в общем случае? Если это слоистая, то каково отличие её электрофизических характеристик от не текстурированной воды? 2. В положении 2 автор предлагает способ устранения неоднородных образцов, что очень важно для создания условий переохлаждения воды, т.к. неоднородности поверхности могут играть роль зародыша новой фазы, т.е. привести к льдообразованию. Однако автор предлагает усреднение по частоте и пространству, т.е. устранять неоднородности поверхности расчетным методом? 3. В обосновании достоверности измерений указано, что автор использовал различные методы для проведенных измерений, но в описании 3-ей главы говорится о том, что различные методы только рассмотрены, а выбран один метод – метод свободного пространства. 4. В работе, которая носит экспериментальный характер, не уделено внимания оценке погрешности измерения).

**Обоснование назначения оппонентов и ведущей организации:**

Назначенные советом официальными оппонентами по кандидатской диссертации А.О. Орлова ученые являются специалистами, широко известными своими достижениями в области исследования диэлектрических свойств мерзлых сред и зондирования Земных покровов из космоса, имеющими научные труды в рецензируемых научных журналах в соответствующей сфере исследования, способными определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) - головной академический институт по исследованию и использованию космического пространства в интересах фундаментальных наук. ИКИ выполняет экспериментальные научные работы по таким направлениям, как астрофизика, физика планет и малых тел Солнечной системы, дистанционного зондирования Земли в широком частотном диапазоне. ИКИ поручены также подготовка программ научных космических исследований, разработка и испытания комплексов научной аппаратуры по проектам, принятым Российской академией наук и Федеральным космическим агентством.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

1. Предложена модель микроволновых диэлектрических свойств поровой воды, на основании которой разработан метод измерения параметров переохлажденной объемной воды.

2. Установлено, что при замерзании среды в ней возникали неоднородности (текстура), приводящие к эффектам пространственной дисперсии, появлялись плёнки с высокой проводимостью, наблюдался эффект перколяции. В диссертационной работе предложены способы устранения эффектов пространственной дисперсии. С этой целью использовали относительно широкополосные шумовые излучения, измерения в свободном пространстве и измерения на образцах с невысокой влажностью.

3. По результатам измерений было установлено, что имеется значительное дополнительное поглощение в поровой воде при температурах  $-30...-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  во всем частотном диапазоне, в котором проводили измерения (от 11 до 140 ГГц).

4. Обнаружение дополнительного микроволнового поглощения с экстремумом при  $\sim -45\text{ }^{\circ}\text{C}$  совпадает с данными других исследователей о влиянии на свойства воды при атмосферном давлении второй её критической точки.

5. Для аналитического описания  $\epsilon''$  переохлажденной поровой воды при невысокой влажности среды (менее 10%) в известные соотношения для объемной переохлажденной воды добавлено слагаемое  $\Delta\epsilon''(T)$ , найденное из измерений диэлектрических параметров воды в нанопористых силикатах.

#### **Научная значимость работы.**

- Метод измерений диэлектрических параметров переохлажденной воды в нанопористых силикатах, позволяющий получить данные о микроволновых свойствах переохлажденной объемной воды, так и воды в порах при температуре ниже температуры гомогенной нуклеации ( $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

- Обнаружение более значительного микроволнового поглощения воды в порах, чем это представлено в существующих моделях переохлажденной воды, при температурах ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и появление особой неавтономной фазы воды. Эта фаза не существует самостоятельно, она возникает при температурах ниже  $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обладает заметным поглощением на длинах волн микроволнового диапазона.

- Экспериментальное подтверждение влияния второй критической точки воды на ее электромагнитные свойства, которое проявилось при  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (предсказанная по данным

зарубежных авторов вторая критическая точка воды имеет температуру  $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$  при давлении  $30\text{ МПа}$ ).

• Возможность усовершенствования существующих моделей диэлектрических свойств переохлаждённой объёмной воды, находящейся в порах, путём введения дополнительных членов в формулы для  $\epsilon''$ , для интервала температур  $-30\text{...}-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Практическая значимость** диссертации заключается в усовершенствовании методики измерений охлажденных дисперсных сред. Был выбран специальный силикатный материал, для которого диэлектрические свойства поровой воды близки к свойствам объёмной воды. При этом появилась возможность получения новой информации о внутренней структуре и состоянии воды при температурах от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и для более низких температур при микроволновых измерениях. Установлена необходимость учета особенностей гетерогенных увлажненных сред, а именно, появления в них неоднородностей и самоорганизации при замерзании воды, механических напряжениях, миграции влаги, химических превращениях, что справедливо для любых дисперсных сред (почв, грунтов, гелеобразующих сред). Практическая значимость работы состоит также в обнаружении радиофизическим методом нового возможного механизма фазовых превращений вблизи  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так как при этой температуре теоретически предсказано резкое возрастание флуктуаций энтропии и плотности воды (при давлении  $0,1\text{ МПа}$ ). Новое знание микроволновых свойств увлажненных материалов, находящихся при экстремально низких температурах, может быть использовано при радиозондировании регионов Арктики и Антарктиды, а также холодных планет Солнечной системы, их спутников, комет, астероидов.

**Достоверность полученных результатов** определяется совпадением температурного хода  $\epsilon''$ , полученных при измерениях для температур переохлаждения в области  $(0 \div -20\text{ }^{\circ}\text{C})$ , с результатами ранее опубликованных экспериментальных данных, полученных иными методами, а также с результатами расчётов других исследователей свойств структур воды, захваченной в поры нанометровых размеров, с использованием методов молекулярной динамики. Достоверность выбранной методики измерений основывается на данных авторских измерений различными способами, в том числе с использованием низкочастотных измерений и разнообразных исследуемых материалов.

#### **Личный вклад автора**

Автор в составе коллектива «Лаборатории геофизики криогенеза» ИПРЭК СО РАН принимал непосредственное участие в создании экспериментальных установок, разработке методик, проведении экспериментов и обсуждении результатов измерений. Автором выполнен весь объем измерений увлажненных пористых дисперсных сред. Все расчёты по восстановлению диэлектрических параметров поровой воды были выполнены соискателем самостоятельно.

На заседании 21 апреля 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить **Орлову** Алексею Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени — 16, против присуждения учёной степени — 0, недействительных бюллетеней — 1.

Председатель диссертационного

Ученый секретарь диссертационного



**Черепенин**

Владимир Алексеевич

**Потапов**

Александр Алексеевич

« 4 » мая

2017 г.