

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Меньшикова Леонида Иеронимовича на диссертацию

Гурулева Александра Александровича

«Аномальные радиофизические характеристики различных фазовых состояний воды», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «Радиофизика»

Общая характеристика работы. Диссертация посвящена развитию общего подхода к изучению электромагнитных свойств воды и льда. В основу этого подхода легли современные достижения в области физики воды. В нем холодная вода выделена как общий объект, связывающий электрофизические параметры переохлажденной воды (температуры $-70...0$ °C) и воды вблизи температуры фазового перехода ($0...+4$ °C). При этом вода рассматривается как образование, состоящее из двух кластеров LDL и HDL (легкая и тяжелая вода), находящихся в процессе быстрой перестройки, и существенным их изменением в зависимости от температуры среды. Важным аспектом исследования является рассмотрение физических особенностей холодной воды и изучение связи термодинамических ее аномалий с электромагнитными характеристиками, включая вопросы переноса и взаимодействия электромагнитных волн с данной средой. Этот подход дополняет существующее направление изучения воды на основе компьютерного моделирования, что позволяет более эффективно развивать, как физику воды, так и электромагнитные методы дистанционного зондирования земных оболочек.

Диссертация включает в себя шесть глав, основные результаты и выводы, список использованной литературы, насчитывающий 262 источников. Общий объем диссертации составляет 285 страниц, 123 рисунка, 4 таблицы и список литературы из 343 наименований.

Диссертация соответствует формуле специальности 1.3.4. – «Радиофизика» и относится к области под номером 5 паспорта специальности в части «Разработка новых методов и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач. Создание систем дистанционного мониторинга геосферы, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы».

Актуальность темы исследования определяется важностью знаний характеристик воды и практически полным отсутствием исследования электромагнитных, в том числе микроволновых ее свойств в области температур ниже ее точки замерзания. Для развития таких исследований необходимо изучение и разработка единого подхода к исследованию электромагнитных характеристик воды, льда и мерзлых дисперсных сред.

Научная новизна работы заключается в получении следующих научных результатов.

1. Холодная объемная вода обладает не только аномальными термодинамическими характеристиками, но также и особыми электрофизическими, в том числе микроволновыми, что обосновывает ее выделение в особый объект гидросферы.
2. Уточнена электродинамическая модель Дебая относительной комплексной диэлектрической проницаемости воды, основанной на представлении о ее микроскопическом строении в виде кластеров LDL и HDL, и выполнены ее измерения по усовершенствованной методике для диапазона $1 \dots 300$ ГГц и температур до -70 °C .
3. Исследованы ранее неизвестный фазовый переход при температуре -23 °C (при давлении $0,1$ МПа) и аномалии воды вблизи -45 °C на линии Видома, спутнике критической точки, для недавно открытой второй критической точки. При этом впервые экспериментально при использовании электромагнитных измерений показано образование льда 0 – переходной метастабильной формы льда от жидкой воды ко льдам Ih и Ic.
4. Впервые экспериментально обнаружены автоволны пластического течения в пресном льду с характерной длиной ~ 1 см при микроволновой спектроскопии образцов льда, подвергающихся термической деформации.
5. Предложены новые методики дистанционного зондирования на основе регистрации различных фазовых состояний воды. В частности, при образовании сегнетоэлектрического льда 0 и возникновении поверхностных плазмонных мод колебаний.

Теоретическая и практическая значимость исследования определяется представленными теоретическими обобщениями физических характеристиками холодной воды и развитием новых методик спектроскопии и радиолокации ледяных структур. Существенные изменения состояния гидросферы при изменении климата ставят задачи развития более эффективных методов контроля земных оболочек, содержащих, именно, холодную воду в разнообразных природных образованиях, в том числе в атмосфере,

криосфере и биосфере. Новые результаты исследования электромагнитных характеристик позволяют развить эти методы для внедрения в практику аэрокосмических исследований. Особо значимыми являются результаты измерений динамических процессов вызванных эволюцией льда 0, при образовании которого в дисперсной среде возникают сильные рассеяния и поглощения излучения при плазмонном резонансе. Ранее эффекты, связанные с плазмонным резонансом в ледяных природных образованиях в дистанционном зондировании не были известны. Предполагается, что эти эффекты определяют, например, свечение мезосферных облаков, в том числе и на холодных планетах (Марс). Другой результат – обнаружение и исследование напряженных состояний льдов по возникновению волн течения. По данному направлению получен патент по индикации начала схода горных ледников при спутниковых радарных измерениях.

Следует отметить, что ряд выполненных экспериментов вносит существенный вклад в различные направления изучения физики воды. Примером является изучение и выполнение измерений диэлектрической проницаемости глубоко переохлажденной воды в более широком интервале частот и температур. Достигнутый ранее прогресс был ограничен температурой $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и частотой 9,6 ГГц. Выполненные измерения позволили получить данные до температуры $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в частотном интервале 1...300 ГГц, что имеет важное практическое значение для микроволновых измерений.

Результаты работы могут быть использованы в институтах РАН - ИКИ РАН, ИРЭ РАН, ИПФ РАН, ТОИ ДВО РАН, ИФА РАН, Институте мерзлотоведения СО РАН; а также в организациях, занимающихся измерениями ледяных покровов, например, ААНИИ, при мониторинге мерзлоты (Институт криосферы СО РАН) и в других организациях при исследовании электрофизических, геологических и биологических характеристик увлажненных сред при температурах ниже $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Достоверность и апробация работы заключается в использовании современных знаний о физикохимии воды, в том числе радиофизических данных, и выполнении значительного объема экспериментов за 20 лет исследований в лабораторных и натурных условиях. Основные результаты докладывались и обсуждались на десятках российских и международных конференциях. Автор имеет 82 публикации, из них 33 проиндексированы в системе WOS и 48 – в Scopus. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, **представляются полностью обоснованными.**

Можно высказать следующие замечания:

1. Мало приведено результатов для температур на границах области холодной воды (+4; –70 °C). Желательна была оценка того, что можно было бы ожидать для электромагнитных характеристик в этих областях температур.

2. Недостаточно исследована область температуры на линии Видома (что выполнено только для нормального атмосферного давления и температуры вблизи –45 °C), но и для более высоких давлений, а также для случая отрицательных давлений, что имеет место для пористых сред.

3. Не рассмотрен вопрос о возможности возникновения криогенных активных сред в микроволновом и ИК диапазонах в атмосферных дисперсных средах и в неравновесных структурах.

4. Не исследован вопрос о радиозондировании холодных планет и их спутников, для которых характерными являются температуры, выделенного в работе объекта «холодная» вода.

Высказанные замечания не влияют на значимость работы и не снижают ее общий высокий научный уровень. Диссертация Гурулева Александра Александровича обладает новизной и научной значимостью. Основные результаты многократно доложены на российских и международных конференциях и достаточно полно отражены в 81 статье из списка ВАК. Диссертация является научно-квалификационной работой, где изложены научно обоснованные технические, технологические и иные решения, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие страны в области дистанционного зондирования.

Заключение. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 1.3.4. – «Радиофизика» под номером 5 в части «Разработка новых методов и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач. Создание систем дистанционного мониторинга геосферы, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы», а также Постановлению Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 – Положению о порядке присуждения ученых степеней. Соответственно, соискатель – Гурулев Александр Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «Радиофизика».

Официальный оппонент

Меньшиков Леонид Иеронимович,
доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный

исследовательский центр «Курчатовский институт», подразделение – Курчатовский комплекс промышленной безопасности.

Адрес места работы: 123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Рабочий телефон: 8(499)1967615

E-mail: mleonid1954@mail.ru

Я, Меньшиков Леонид Иеронимович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Дата 17 ноября 2025г. Меньшиков Л.И. Меньшиков

Подпись Меньшикова Л.И. удостоверяю:

Заместитель директора, главный учёный секретарь НИЦ «Курчатовский институт»



/Алексеева Ольга Анатольевна/