

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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»

Диссертационная работа направлена на развитие общего подхода к изучению электромагнитных свойств воды и льда на основе современных достижений в области физико-химии воды, в котором холодная вода рассматривается как общий объект, связывающий электрофизические параметры переохлажденной воды от -70°C до 0°C и воды выше температуры фазового перехода в диапазоне от 0°C до 4°C . При этом вода рассматривается, как образование, состоящее из двух видов кластеров LDL (низкой плотности) и HDL (высокой плотности). Данный подход позволил исследовать радиофизические эффекты и характеристики переохлажденной воды и льда, что способствует развитию ряда радиотепловых и радиолокационных методов дистанционного зондирования природной среды.

Актуальность темы исследования.

Исследование диэлектрических характеристик воды при температурах от -70°C до $+4^{\circ}\text{C}$ представляет интерес для развития радиофизических методов дистанционного изучения природных объектов, особенно криосферных образований.

В последние два десятилетия была разработана новая физическая модель воды, основанная на ее микроскопических особенностях. Согласно современным представлениям, структура воды определяется существованием двух видов кластеров: низкой и высокой плотности (LDL – low density liquid и HDL – high density liquid), соотношение которых зависит от температуры. Взаимодействие этих кластеров на пикосекундных временах обуславливает аномальные свойства воды.

В связи с этим актуальной становится задача разработки единого подхода к исследованию электромагнитных характеристик воды, льда и увлажненных дисперсных сред. Это необходимо для анализа радиотепловых и радиолокационных данных, используемых при изучении гидросферы, криосферы, атмосферы и биосферы.

Основные результаты:

1. На основе роли LDL и HDL кластеров в воде впервые выделен физически обоснованный объект гидросферы – «холодная вода» (вода при температурах от -70 до $+4^{\circ}\text{C}$), которая определяет особенности электромагнитных характеристик природных образований в гидросфере.

2. Опираясь на экспериментальные результаты по измеренным значениям диэлектрических характеристик холодной воды в поровом пространстве, близкой по свойствам к объемной метастабильной воде, усовершенствована двухчастотная модель Дебая, ее диэлектрической проницаемости в диапазоне частот 1-300 ГГц и температур от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Предложены новые методики микроволновых измерений характеристик искусственных увлажненных образцов и природных объектов, содержащих холодную воду.

4. С помощью предложенной методики микроволновых исследований дисперсных сред в области температур холодной воды впервые экспериментально обнаружена новая метастабильная кристаллическая модификация льда – сегнетоэлектрический лед 0. Установлено, что поверхностные слои льда 0 на диэлектрических частицах обладают плазмонными свойствами из-за образования нанометровых контактных слоев с высокой электропроводностью. Предложена гипотеза, что данный эффект определяет рассеяние мезосферными серебристыми облаками солнечного излучения на частотах ниже плазменной частоты носителей заряда в контактных слоях.

5. В пресном льду с помощью микроволновой спектроскопии обнаружены автоволны пластического течения в данной среде при механических воздействиях. Методика исследования основана на измерениях экстинкции в полосе $\sim 0,5$ ГГц вблизи частоты 13 ГГц. Автоволны пластического течения – чередование кристаллического и аморфного состояния (т.е. твердого и жидкого) – позволяют дистанционно регистрировать механические подвижки больших масс льда, в том числе в начальной стадии «ползучести» ледников.

6. Впервые с использованием микроволновых измерений при температуре $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении показано существование второй критической точки воды по проявлению вариаций экстинкции на линии Видома, где наблюдается сосуществование двух видов кластеров воды LDL и HDL, предсказанное в физико-химии

7. На основе обширного массива экспериментальных данных в микроволновом диапазоне, сформулированы новые задачи дистанционного зондирования, связанные с особенностями характеристик холодной воды:

- исследование плазмонных эффектов, существенно влияющих на электромагнитные характеристики дисперсных сред;
- выявление начальной стадии схода горных ледников по возникновению медленных волн пластической деформации;
- измерение диэлектрической проницаемости холодной воды при глубоком переохлаждении в терагерцовом диапазоне;

- развитие радиометрии и спектроскопии дисперсных сред, содержащих холодную воду.

Научная новизна работы.

Все представленные выше результаты являются новыми (обоснование нового физического понятия «холодная вода»; ее радиофизическая модель в области температур $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ на основе усовершенствованной двухчастотной модели диэлектрической проницаемости Дебая; методики микроволновых измерений характеристик объектов, содержащих холодную воду; экспериментальное подтверждение существования второй критической точки воды; экспериментальное обнаружение кристаллического состояния лед 0, образующего нанометровые контактные слои с высокой электропроводностью; основанная на измерениях гипотеза, о том что данный эффект определяет рассеяние серебристых мезосферных облаков в микроволновом диапазоне; обнаружение автоволн пластического течения в пресном льду при механических воздействиях с помощью микроволновой спектроскопии, постановка новых задач радиофизического дистанционного зондирования и неинвазивной диагностики, связанных с обнаруженными особенностями характеристик холодной воды – облаков, увлажненных пористых сред, растительных покровов, ледников).

Практическая значимость.

Большим достоинством диссертации является демонстрация возможностей применения полученных фундаментальных результатов в приложении к радиофизическим методам дистанционного зондирования и неинвазивной диагностики различных сред, что определяет практическую значимость работы:

1. Автором не только предложена гипотеза рассеяния солнечного СВЧ излучения серебристых мезосферных облаков на основе механизма плазмонного резонанса в частицах, покрытых льдом 0, но и выполнены исследования их вклада в принимаемое СВЧ излучение.
2. Результаты исследования автором медленных волн пластического течения в пресном льду положены в основу его предложения дистанционно регистрировать механические подвижки больших масс льда, в том числе в начальной стадии «ползучести» ледников.
3. Обнаруженные автором особенности распространения излучения в увлажненных пористых средах, связанные со спецификой диэлектрических параметров холодной воды, позволяют реализовать новые методы их неинвазивной диагностики.
4. Выполненные автором измерения прохождения СВЧ излучения через растительные покровы хвойных деревьев и их интерпретация на основе специфики

параметров холодной воды позволяет развить методы диагностики критического состояния их обморожения.

Достоверность полученных результатов. Результаты диссертационной работы представляются обоснованными и достоверными, что обусловлено соответствием современным теоретическим общефизическим представлениям о воде; достаточным объемом и воспроизводимостью экспериментальных данных; результатами лабораторных и полевых экспериментальных исследований с применением современных методов анализа; использованием стандартных и специальных методик измерений микроволновых диэлектрических характеристик вещества; совпадением результатов с данными других исследователей; применением современного аттестованного измерительного оборудования. Основные результаты диссертации многократно обсуждались на международных и всероссийских конференциях по тематике исследований, а также опубликованы в более чем 80 статьях в реферируемых научных журналах.

Оформление и структура диссертации. Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК РФ, а автореферат достаточно полно отражает ее содержание. Несомненным достоинством работы является обширный обзор современного состояния исследуемой проблемы. Диссертация состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, шести глав, заключения, основных результатов и выводов, списка основных работ по теме диссертации и списка литературы из 262 источников. Объем диссертации 285 страниц, включая 4 таблицы и 123 рисунка.

Замечания:

1. В диссертации не приведены сведения о том, как при натурных измерениях микроволновых параметров ледяных покровов изменяются во времени физико-химические параметры среды, такие как минерализация, температура, модуль Юнга. Данные характеристики могут существенно влиять на интерпретацию экспериментально полученных микроволновых данных. По этой же причине сведения о минерализации (или деионизации) воды следовало бы привести для всех рассмотренных экспериментов.
2. Для более убедительного обоснования обнаруженного автором чрезвычайно больших приращений яркостных температур от рассеяния солнечного СВЧ излучения серебристыми мезосферными облаками (которые сравнимы с эффектом мощных тропосферных облаков) и интерпретации эффекта на основе механизма плазмонного резонанса в частицах, покрытых льдом O , следовало бы выполнить численное моделирование на реалистичной модели редких маленьких рассеивателей – для начала, например, металлических.

3. Аналогичное замечание относится к наблюдениям на двух частотах вариаций яркостной температуры СВЧ излучения от льда под снегом (под углом 45°) в дневные часы (рис. 4.10 на стр.154). Значительную величину этих вариаций (около 10 и 20 градусов) радиофизики объяснили бы попаданием облаков в диаграмму антенн или плавлением снега под солнцем, поскольку температура днем в воздухе доходила до нуля. Автору следовало бы прояснить эти условия наблюдения и численно смоделировать предполагаемую им слоистую структуру среды, способную реализовать наблюдаемые эффекты. Кроме того, на этом рисунке не определены яркостные температуры, от которых отсчитываются вариации ΔT_j на двух частотах, и, тем самым, их знак, что затрудняет интерпретацию наблюдаемой динамики.
4. Специалистам было бы интересно объяснение выбора верхнего предела частоты в двухчастотной модели диэлектрической проницаемости холодной воды.

Имеются также непринципиальные недостатки оформления:

1. Имеет место неполнота информации в подписях ко многим рисункам, и, хотя чаще всего она содержится в окружающем тексте, это затрудняет чтение.
2. Стр.139. Раздел «Наиболее интересные результаты». Из 9 пунктов в 5-и последних сформулированы не результаты, а нерешенные проблемы. В п. 4 не указано, какими именно аномальными свойствами обладает вода.
3. Стр.171. Измерения в микроволновом диапазоне для обнаружения льда 0 недостаточно ясно описаны. В подписи на рис. 5.1a не расшифрованы представленные на нем линии, отсутствуют указанные в подписи стрелки (зато есть нерасшифрованные значки, по-видимому планки погрешностей).
4. Автореферат, стр.34. Коэффициенты в формуле 2 и Табл.1 приведены с заведомо избыточными десятичными знаками.

Перечисленные замечания не меняют общую положительную оценку выполненной весьма масштабной работы, которая представляет собой законченное научное исследование. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация «Аномальные радиофизические характеристики различных фазовых состояний воды» по объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям пп.9-14. «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор, Гурулев Александр Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. - Радиофизика.

Официальный оппонент:

Гайкович Константин Павлович,

Доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела физики полупроводников Института физики микроструктур РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

К. П. Гайкович

«17» февраля 2026 г.

Контактные данные:

тел.: Рабочий телефон: +7 (831)417-94-68, e-mail: gai@ipmras.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук: 01.04.03 – «Радиофизика».

Адрес места работы:

603087, Нижегородская область, Кстовский район, д. Афоново, ул. Академическая, д. 7

Институт физики микроструктур РАН (ИФМ РАН)

Тел.: +7 (831) 417-94-65, e-mail: anov@ipmras.ru

Подпись официального оппонента

Гайковича Константина Павловича УДОСТОВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН», к. ф.-м. н.



И. В. Корюкин

«17» февраля 2026 г.