

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертацию Мателенка Игоря Владимировича

«Мониторинг мёрзлых грунтов Арктики спутниковым СВЧ радиометрическим методом»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

В последние десятилетия дистанционные методы зондирования Земли, основанные на приёме и анализе собственного радиоизлучения земных покровов, развивались столь стремительно, что сформировались такие новые научные направления, как аэрокосмическое ледоведение, океанология, земледование. Это в первую очередь связано с возможностью получения дистанционными методами информации оперативно с больших регионов, в том числе при обследовании труднодоступных районов земного шара. Последнее в полной мере относится к исследованиям изменчивости многолетнемёрзлых грунтов в Арктике, учитывая наблюдающуюся тенденцию потепления климата Земли и расширение хозяйственной деятельности в российском секторе Арктики. Успешное и безопасное освоение этой территории требует разработки методов мониторинга и прогноза состояния грунтов для предотвращения возможных негативных последствий для эксплуатации инженерных объектов, связанных с возможной деградацией многолетнемёрзлых грунтов при потеплении климата и переходом их в категорию сезонно-мёрзлых грунтов существенно отличающихся по своим физико-механическим, теплофизическим и радиофизическим свойствам.

В этом плане диссертация И. В. Мателенка, посвящённая разработке метода оценки изменчивости состояния мёрзлых грунтов Арктики по спутниковым СВЧ радиометрическим данным, может быть признана актуальной и своевременной. Это связано также с тем обстоятельством, что, не смотря на существенное развитие методологии исследования грунтов при отрицательных температурах с использованием СВЧ радиометрических методов, в современных системах мониторинга земной поверхности спутниковая СВЧ аппаратура практически не применяется для получения информации о состоянии грунтов.

Несомненным достоинством рецензируемой работы является единство рассмотрения вопросов теоретических и экспериментальных исследований включающих:

- усовершенствование теоретической модели собственного СВЧ излучения многослойной среды «грунт-снег-атмосфера» путём использования в модели векторно-координатного подхода для учёта макрорельефа земной поверхности;
- получение необходимых исходных параметров, требуемых для проведения расчётов: термодинамической температуры поверхностного слоя грунтов и их объёмной влажности, температуры воздуха, высоты снежного покрова, информации о погодных условиях, а также комплексной диэлектрической проницаемости слоёв среды с учётом её предыдущего состояния;
- разработку метода оценки изменчивости состояния мёрзлых грунтов Арктики по спутниковым СВЧ радиометрическим данным;
- создание программно-алгоритмического и методического обеспечения автоматического определения, на основе спутниковых данных, временных границ перехода мёрзлых грунтов из одного условно устойчивого состояния к другому, температуры верхнего слоя грунта и определения состояния грунта (мёрзлое/талое);
- валидацию разработанного метода для ключевых районов в российском секторе Арктики.

Совокупность этих исследований позволяет говорить о том, что в диссертации И. В. Мателенка решена задача создания технологии спутникового СВЧ мониторинга мёрзлых грунтов Арктики для оперативной оценки и прогнозирования изменчивости их состояния. В этой связи и название диссертационной работы правильнее было бы определить как: «Технология мониторинга мёрзлых грунтов Арктики спутниковым радиометрическим методом», что полностью соответствовало бы положениям, выносимым на защиту. Название же диссертации, предложенное автором, в большей степени соответствует исследованиям самих процессов изменчивости состояния мёрзлых грунтов по данным спутниковой СВЧ радиометрии, как индикаторов изменений климата Земли.

Разработанный метод предусматривает использование находящихся в открытом доступе многоканальных данных СВЧ радиометров AMSR-E и AMSR-2, установленных на искусственных спутниках Земли США и Японии, что определяет возможности практической применимости результатов работы.

Принципиальное значение для решения поставленных в работе задач имеет использование так называемых индикаторов изменчивости состояния мёрзлых грунтов в

межгодовом цикле, значение которых восстанавливаются по СВЧ данным. В качестве таких индикаторов, учитывая сложность зависимости радиояростной температуры от физических, физико-химических, радиофизических свойств грунтов и сопряжённых природных сред (растительности, снежного покрова) и границ раздела между ними, приняты следующие:

- термодинамическая температура, усреднённая за полные календарные месяцы года со стабильно мёрзлым состоянием грунтов – январь и февраль;
- продолжительности периода стабильно мёрзлого состояния грунтов;
- продолжительности периода интенсивных фазовых переходов грунтовой влаги.

Их использование, по оценке автора, обеспечивает повышение точности определения значений температуры поверхностного слоя грунтов по СВЧ радиометрическим данным на 15-30 % по сравнению с существующими методами, основанными на регрессионных моделях. Данное обстоятельство свидетельствует о целесообразности расширенного применения спутниковой СВЧ радиометрии для мониторинга состояния грунтов Арктики.

Одним из несомненных достоинств рассматриваемой работы можно считать учёт влияния макрорельефа земной поверхности на её СВЧ излучательные свойства путём коррекции коэффициентов Френеля и удельного поглощения в слоистых средах по полученным значениям эффективных углов визирования и углов поворота плоскостей поляризации для элементарной площадки в пределах области обзора СВЧ радиометра. Эти исследования, выполненные на основе разработанного автором векторно-координатного подхода к определению геометрии визирования, могут быть положены в основу новых моделей радиоизлучения системы «Земля-атмосфера».

Логическим завершением метода мониторинга мёрзлых грунтов по данным спутниковой СВЧ радиометрии является разработанное автором программно-алгоритмическое и методическое обеспечение. При этом для распознавания границ между выделенными автором 4 временными периодами, не совпадающими с традиционными сезонами и отличающимися своеобразием изменчивости радиояростных температур, используется разность радиояростных температур в каналах 36,5 ГГц и 6,9 ГГц на V-поляризации. Для выявления границы между летним (вегетативным) периодом и периодом осеннего промерзания грунтов использована первая производная от стандартного отклонения в 30-дневных выборках радиояростных температур на частоте 6,9 ГГц и H-поляризации. Такой выбор информативных признаков обоснован

результатами сравнительных испытаний на тестовых участках двух подходов по распознаванию границ, основанных на использовании одноканальных и двухканальных СВЧ радиометрических измерений. Эффективность предложенного автоматизированного распознавания оценена путём сравнения полученных данных с данными контактных измерений на сети геокриологических стационаров (ГКС) и гидрометеорологических станций (ГМС), подкреплённых результатами визуального дешифрирования космических снимков спектрорадиометра MODIS в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра частот. Эти сравнения, выполненные для периода СВЧ наблюдений 2005-2008 гг. и различных тестовых полигонов, выбранных в ключевых районах северо-востока территории России, позволяют говорить о надёжности оценок изменчивости состояния мёрзлых грунтов с использованием разработанной технологии. К указанным районам относится север Западной Сибири, где грунты наиболее чувствительны к изменениям климата, и северо-восток Восточной Сибири с наименьшей чувствительностью грунтов к климатическим изменениям.

Результаты восстановления значений термодинамической температуры для трёх тестовых участков хорошо согласуются с данными контактных измерений температуры поверхностного слоя грунтов (среднеквадратичные ошибки восстановления составляют 2,72 К для периода стабильно мёрзлого состояния грунтов и 2,78 К для периода циклического повторения процессов оттаивания грунтов). Эффективность распознавания границ периодов внутригодовой изменчивости состояния грунтов для тестовых участков составляет 83-100 %. Но подобные валидационные измерения было бы целесообразно провести для данных полигонов в периоды, не совпадающие с периодами СВЧ измерений, используемыми для разработки предложенного метода мониторинга (2002-2011 гг.). Это, несомненно, повысило бы достоверность полученных результатов.

Принципиальное значение для определения границ географической области, в которой разработанный метод оценки изменчивости состояния мёрзлых грунтов по данным спутниковой СВЧ радиометрии может быть использован, имеют исследования, направленные на создание методики автоматизированной классификации ландшафтов. В рецензируемой работе выбор алгоритмов классификации для сопоставления участкам суши типов ландшафтов, а также информативных признаков, на основании которых производится идентификация этих типов, выполнен по результатам тестовых испытаний для трансектов, пересекающих территорию Сибири и акватории морей Северного Ледовитого океана от 50° с.ш. до 80° с.ш. по меридианам 70° в.д. и 130° в.д. соответственно. Испытаны алгоритмы последовательной пороговой классификации и классификации по методу наименьшего евклидова расстояния. Выделено 14

информативных признаков в результате анализа временных рядов радиоярких температур эталонных участков размером 25x25 км, каждый из которых представляет один из 9 генеральных типов ландшафтов. Эффективность решения задачи идентификации при различных сочетаниях алгоритмов и набора информативных признаков оценивалась путём сравнения полученных результатов с картой традиционного ландшафтного районирования атласа СССР, картой земных покровов Бостонского университета, созданной по данным спектрорадиометра MODIS, и картой наземных экосистем Евразии TerraNorte.

Как следует из материалов диссертации, наибольшую эффективность показало сочетание алгоритма классификации по методу наименьшего евклидова расстояния и набора из 4 признаков, характеризующих изменчивость радиояркой температуры на частоте 6,9 ГГц: среднегодовые многолетние значения радиояркой температуры на V-поляризации, средние январские многолетние значения радиояркой температуры на V-поляризации, стандартное отклонение в рядах значений радиояркой температуры с марта по июнь на H-поляризации, усреднённые за периоды март-июнь многолетние значения радиояркой температуры на H-поляризации. Для этого сочетания алгоритма и набора признаков получена минимальная ошибка идентификации 11,6 % относительно карты TerraNorte (см. таблицу 23 диссертации).

Апробация методики показала, что в евразийском секторе Арктики по данным спутникового СВЧ радиометра AMSR-E распознаются три генеральных типа ландшафтов: тундра, тундролесье и водно-болотные комплексы. При этом разработанный метод оценки изменчивости состояния мёрзлых грунтов, по мнению автора, может быть использован без дополнительных мероприятий по валидации только для областей Арктики, классифицированных как тундровые. Для других ландшафтных зон метод может быть использован после дополнительных испытаний с привлечением опорных данных наземных измерений.

Другой важный методический вывод данного раздела диссертации – выявленная по картам круглогодичная стабильность коэффициента излучения лесного полога хвойных лесов южнее 61° с.ш., позволяющая рекомендовать территории этой ландшафтной зоны в качестве абсолютно чёрного тела для внешней калибровки спутниковых СВЧ радиометров.

С точки зрения оценки потенциальных глобальных изменений климата представляет интерес выполненный в диссертации анализ положения границ периодов внутригодовой изменчивости состояния грунтов на п-ове Ямал по данным спутниковой съёмки СВЧ радиометром AMSR-E за период 2003-2010 гг. Результаты этих исследований

не выявили значимых трендов изменения температуры мёрзлых грунтов, но была отмечена слабо выраженная тенденция к более раннему началу весенних процессов оттаивания грунтов. В этой связи совершенно оправдан вывод автора о том, что для более надёжных оценок указанных изменений требуется анализ более длинных рядов спутниковых СВЧ измерений на частоте 6,9 ГГц, а также на более низких частотах, что позволило бы увеличить толщину исследуемого скин-слоя.

Несмотря на полноту и логичность изложения материалов, рецензируемая диссертация, к сожалению, не лишена и некоторых недостатков (помимо отмеченных выше).

1. В разделе 1.7, а также в результатах работы декларируется, что в диссертации обоснована целесообразность использования определённых частот для определения состояния мёрзлых грунтов. На самом деле автором выполнен выбор частот зондирования из имеющихся наборов для конкретных спутниковых СВЧ радиометров. Обоснование же оптимальных частот для зондирования грунтов было представлено ранее в работе [23, по списку литературы диссертации], что и подтверждается автором на стр. 29.
2. Недостаточно чётко определены преимущества разработанного векторно-координатного подхода к определению геометрии визирования по сравнению с используемым при авиационных и спутниковых съёмках векторно-угловым подходом.
3. В разделах, посвящённых комплексному анализу данных спутниковых и контактных измерений, выводы по ряду рисунков не содержат информации, которая бы непосредственно использовалась на последующих этапах анализа (см. рисунок 11).
4. Из текста (стр. 57) не удаётся понять, каким образом по данным СВЧ радиометрических измерение в период интенсивных фазовых переходов грунтовой влажности (область В на рисунке 17) предполагается определять максимальную влажность грунта и шероховатость его поверхности.
5. Вместо количественных оценок изменчивости радиояркостной температуры в ряде случаев использовано её словесное описание, отличающееся субъективностью (см. стр. 58).

6. Нет ссылок на литературные источники заимствования терминов мало употребляемых в технической литературе: «инструменты математической статистики» (стр. 60) и «дизельно-температурные зависимости» (стр. 69).
7. Вместо общепринятого термина «высота снежного покрова» используется термин «толщина снежного покрова».
8. В работе используются разные варианты буквенного обозначения термодинамической температуры, различия между которыми не оговорены особо: $T_{гр}$ - на стр. 13; T - на стр. 17; $T_{ин}$ - на стр. 17, 143 (рисунок 52); $T_{ик}$ - на стр. 27, 142.

Однако, указанные недостатки не относятся к принципиальным выводам диссертации и не умаляют общего благоприятного впечатления от рецензируемой работы.

В целом диссертационная работа написана литературным языком, хорошо оформлена и иллюстрирована. Диссертант показал умение широкого привлечения современных физических представлений для решения поставленных задач.

Можно констатировать, что разработанная теоретическая модель, методы и программно-алгоритмическое обеспечение являются новыми, что позволяет считать обоснованность положений выносимых на защиту.

Научные результаты и практические выводы, полученные диссертантом, представляют новый вклад в теорию и практику спутниковой микроволновой диагностики параметров состояния мёрзлых грунтов.

Исследования, представленные в диссертации, тесно связаны с «критическими технологиями Российской Федерации», утверждёнными Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899: технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения; технологиями предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Отдельные результаты диссертации использованы в работах по Государственному контракту № 14.578.21.0900 («Разработка научно-технических решений и методов создания аппаратно-программного комплекса для дистанционного мониторинга и экологического контроля состояния объектов добычи и переработки нефти и газа на основе технологий фотоники»).

Основные научные результаты и практические рекомендации работы в полной мере опубликованы, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, трудах 5-х Международных симпозиумов и 9-и Всероссийских конференций. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации, которая соответствует

специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Ввиду важности проблемы мониторинга состояния мёрзлых грунтов Арктики как в плане оценки возможных климатических изменений, так и для осуществления хозяйственной деятельности в арктических регионах, разработанную в диссертации технологию целесообразно использовать в оперативной практике мониторинга природных сред, осуществляемого территориальными управлениями Росгидромета и специализированными организациями, выполняющими исследования в области климатологии, экологии и геокриологии.

Диссертация Игоря Владимировича Мателенка является завершённой научно-квалификационной работой, в которой разработана новая технология мониторинга мёрзлых грунтов Арктики спутниковым СВЧ радиометрическим методом, содержащая новые научно обоснованные технические и технологические решения спутникового мониторинга природных сред для оперативной оценки и прогнозирования состояния мёрзлых грунтов.

Диссертация удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Игорь Владимирович Мателенок заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Официальный оппонент
профессор кафедры физики
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Г. А. Лебедев

«19» марта 2015 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»
(СПбГМТУ)

Подпись *Г. А. Лебедев* _____ заверяю.

Зак Начальник отдела ка *М. С. Кузнецова*

19



Лебедев Герман Андреевич
190008, Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., дом 3, ФГБОУ ВПО СПбГИТУ
Кафедра физики, (812) 757-10-55

ГИАИ	Документ зарегистрирован
	23.03.2015
	Входящий № 72-470/15
	Документовед
	<u>ОДОУ Кузнецова Ч.Д.</u>
	20