

УТВЕРЖДАЮ

Директор Фрязинского филиала
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Института радиотехники и электроники им.
В.А. Котельникова Российской академии
наук (ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),
д.ф.-м.н.

 А.И. Панас

» июня 2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова Российской академии наук на диссертацию

Жарко Василя Олеговича

на тему: «Методы обработки данных спутниковых измерений спектрально-
временных характеристик отраженного излучения для дистанционной оценки
параметров лесного покрова», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — «Приборы и
методы экспериментальной физики»

Методы обработки данных спутниковых измерений характеристик
отраженного земной поверхностью излучения в разных диапазонах длин волн
позволяют определять количественные и качественные характеристики
растительного покрова, к важнейшим классам которого относятся леса,
занимающие около трети площади поверхности суши и являясь, таким образом,
наиболее распространенным типом экосистем Земли. Детальные данные об их
структуре необходимы для решения задач изучения углеродного и водного циклов,
а также оценки биофизических параметров и продуктивности растительного
покрова. Кроме того, лесной покров является одним из важнейших объектов при
проведении исследований глобальных изменений биосферы, климата и
окружающей среды. Не вызывает сомнения и экономическая ценность данных
такого рода.

Наземные обследования, очевидно, не могут служить актуальным
источником данных о структуре и состоянии лесного покрова в глобальном, а в

случае территории РФ и в национальном масштабе, что обуславливает высокий уровень актуальности решения задач развития спутниковых методов изучения лесного покрова. В то же время существующие глобальные методы дистанционной оценки лесного покрова по данным спутниковых наблюдений в основном характеризуются минимизацией объема обрабатываемых данных, связанной с необходимостью использования стратификации территории и высоким уровнем экспертного участия, в результате чего полученные результаты имеют невысокую детальность. При этом накопленные к настоящему моменту многолетние архивы данных ДЗЗ различных систем являются уникальным источником данных о динамике земного покрова, возможности которых остаются не реализованными в полной мере. В этой связи тема диссертационной работы Жарко В.О., посвященной разработке методов обработки многолетних рядов данных спутниковых наблюдений, обеспечивающих ежегодную детальную оценку параметров лесного покрова России, является чрезвычайно **актуальной**.

Целью диссертационной работы является разработка методов обработки данных многолетних спутниковых измерений спектрально-временных характеристик отраженного излучения земной поверхности, обеспечивающих возможность дистанционной оценки структуры лесного покрова на больших территориях.

Для достижения указанной цели были решены следующие **задачи**:

- Анализ физических основ и обзор методов дистанционного зондирования растительного покрова в субконтинентальном масштабе;
- Разработка и программная реализация методов предварительной обработки многолетних временных рядов спутниковых измерений параметров отраженного излучения для изучения сезонной вариабельности спектрально-отражательных характеристик лесного покрова;
- Разработка и программная реализация метода обработки данных о фенологической динамике спектральной отражательной способности лесного покрова по результатам спутниковых измерений для оценки его видовой структуры;

- Разработка и программная реализация метода обработки данных спутниковых измерений отражательной способности покрытого снегом земного покрова для дистанционной оценки объема стволовой древесины в лесах;
- Экспериментальные исследования возможностей обработки данных многолетних спутниковых измерений объема древесины лесного покрова для оценки его возрастной структуры;
- Использование разработанных методов обработки результатов спутниковых измерений для получения данных о многолетней динамике видовой структуры и объема стволовой древесины в лесах России;
- Практическая апробация разработанных методов для решения научных и прикладных задач мониторинга лесного покрова России и оценка достоверности полученных результатов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан и апробирован новый метод обработки данных о фенологической динамике спектрально-отражательных характеристик лесного покрова по результатам спутниковых измерений для дистанционной оценки его видовой структуры;

2. Разработан и апробирован новый метод обработки данных спутниковых измерений отражательной способности покрытого снегом земного покрова для дистанционной оценки объема стволовой древесины в лесах на основе локально-адаптивного статистического моделирования;

3. Предложен и экспериментально апробирован новый метод обработки результатов многолетних спутниковых измерений объема стволовой древесины для дистанционной оценки возрастной структуры лесов на основе ассимиляции обрабатываемой информации в модель их динамики;

4. На основе разработанных методов обработки данных дистанционного зондирования со спутников получены уникальные по территориальному охвату и уровню детальности многолетние данные о видовой структуре, продуктивности и спектрально-отражательных характеристиках лесов России.

Выносимые на защиту результаты диссертационной работы:

1. Сформированы полученные по результатам спутниковых измерений и очищенные от влияния мешающих факторов наборы данных о сезонной и

многолетней изменчивости спектрально-отражательных характеристик земного покрова России;

2. Разработан метод обработки многолетних временных рядов данных спутниковых измерений параметров отраженного излучения земного покрова для оценки видовой структуры лесов на основе анализа сезонной динамики их спектрально-отражательных характеристик;

3. Разработан метод обработки данных спутниковых измерений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности для оценки объема стволовой древесины в лесах;

4. Получены экспериментальные оценки видовой структуры и продуктивности лесов России на основе обработки данных спутниковых измерений спектрально-временных характеристик отраженного излучения земного покрова с использованием разработанных методов.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, библиографического списка и двух приложений, в которых перечислены основные публикации по теме диссертации и научные конференции и семинары, на которых докладывались результаты работы.

Во введении анализируется актуальность темы исследования, поставлена цель и сформулированы задачи диссертационной работы, отмечены научная новизна и значимость проведенных исследований, перечислены положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации и применении результатов работы.

Первая глава посвящена анализу методов обработки данных спутниковых измерений параметров отраженного излучения для дистанционной оценки характеристик лесного покрова. В частности, описаны механизмы влияния атмосферы на распространение излучения; также рассмотрены особенности взаимодействия излучения различных длин волн с растительностью и ее компонентами. Дан обзор оптических спутниковых систем дистанционного зондирования, используемых или являющихся перспективными в задачах крупномасштабных исследований лесного покрова. Описаны подходы к предварительной обработке результатов спутниковых измерений, направленные на формирование с заданной регулярностью наборов информативных данных о спектрально-отражательных характеристиках земного покрова, не подверженных

влиянию шумов и мешающих факторов. Выполнен анализ методов тематической обработки данных спутниковых наблюдений, используемых для дистанционной оценки таких характеристик лесного покрова, как его видовая и возрастная структура, биомасса и связанные с ней показатели. Отмечены ограничения существующих тематических продуктов и методов обработки результатов спутниковых измерений, обеспечивающих получение данных об указанных характеристиках лесного покрова России.

Во второй главе описан предложенный метод обработки информации о сезонной динамике спектрально-отражательных характеристик лесного покрова по данным спутниковых измерений для дистанционной оценки его видовой структуры. Наличие облачного покрова не позволяет сформировать временные ряды спутниковых измерений в оптическом и ИК диапазонах с периодичностью в одну неделю по данным, полученным в течение одного года, даже при использовании космических систем, обеспечивающих ежедневное проведение измерений. Поэтому в рамках работы развита технология обработки результатов многолетних спутниковых измерений прибором MODIS для подготовки данных о динамике спектральной отражательной способности суши с временным разрешением в одну неделю; обоснована корректность применения разработанной технологии при изучении стабильных участков лесного покрова. Выполнен совместный анализ данных различных источников о динамике пространственного распределения лесного покрова. По результатам анализа рассчитаны априорные вероятности и сформированы эталонные данные для классов лесного покрова, отражающих его видовую структуру. Реализована технология классификации подготовленных по результатам многолетних спутниковых измерений данных для оценки видовой структуры лесного покрова, причем использование локально-адаптивного подхода позволило учесть пространственную вариабельность спектрально-отражательных характеристик классов на территории РФ. Разработаны методы постобработки результатов классификации, направленные на оценку видовой структуры нестабильных участков лесного покрова и фильтрацию ошибок. Разработанные методы использованы для формирования данных о многолетней динамике видовой структуры лесного покрова России. Проведена оценка достоверности полученных результатов; сравнение результатов расчета площадей,

занятых лесами различных преобладающих пород на уровне субъектов РФ, на основе полученных данных с показателями государственного учета лесов демонстрирует значения R^2 от 0,81 до 0,98.

Третья глава посвящена разработанным автором методам обработки данных спутниковых измерений отражательной способности покрытого снегом лесного покрова для дистанционного изучения продуктивности лесов. Предложен набор критериев для отбора безоблачных измерений спектральной отражательной способности покрытой снегом земной поверхности. Совокупность предложенных критериев легла в основу автоматизированной технологии предобработки результатов ежедневных измерений прибором MODIS, полученных в зимний период, для формирования данных о многолетней динамике характерных значений отражательной способности покрытой снегом поверхности Земли. Приведено обоснование зависимости отражательной способности покрытого снегом лесного покрова от величины объема стволовой древесины. Реализован автоматизированный метод параметризации модели указанной зависимости для различных типов лесного покрова и разных географических условий на территории РФ. Набор полученных моделей был использован для оценки многолетней динамики объема стволовой древесины в лесах России на основе сформированных данных о характерных значениях отражательной способности покрытого снегом лесного покрова, с учетом его типа и географического положения. Выполнена оценка достоверности полученных результатов, продемонстрировавшая их согласованность как с данными официальной статистики, так и с продуктами обработки данных спутниковых наблюдений более высокого пространственного разрешения. Кроме того, проведены экспериментальные исследования возможностей дистанционной оценки возрастной структуры лесного покрова на основе использования многолетних спутниковых измерений объема стволовой древесины для параметризации модели динамики лесов.

В заключении делается вывод о создании автоматизированных технологий, основанных на разработанных и реализованных методах предварительной и тематической обработки данных многолетних спутниковых измерений спектрально-временных характеристик отраженного излучения, для ежегодной оценки параметров лесного покрова России.

Полученные в работе данные о структуре лесного покрова используются в составе Информационной Системы Дистанционного Мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Разработанный метод предобработки спутниковых данных, полученных в зимний период, позволил оценить деградацию сенсора прибора MODIS.

Библиографический список включает 114 литературных источников, что свидетельствует о значительной аналитической работе, проделанной автором.

Наиболее существенные замечания, касающиеся недостатков диссертационной работы, приведены ниже:

1. В обзорной части работы, и в особенности при анализе методов тематической обработки данных спутниковых измерений для оценки параметров лесного покрова, большинство рассматриваемых литературных источников являются зарубежными публикациями, в то время как российским литературным источникам уделяется явно недостаточное внимание.

2. Формирование эталонных данных для классификации лесного покрова на основе динамики его спектрально-отражательных характеристик по результатам спутниковых измерений выполнялась на основе анализа существующих картографических продуктов, которые сами являются результатом интерпретации некоторых исходных данных, что может служить источником ошибок. На этой стадии работы более целесообразно было бы использовать наземные данные; то же замечание касается валидации полученных данных на этапе оценки достоверности результатов.

3. Выбор вида функциональной зависимости отражательной способности покрытого снегом лесного покрова от объема стволовой древесины может являться предметом дополнительных исследований. В частности, представляется, что использование различных зависимостей для вечнозеленых и лиственных лесов потенциально позволит получить более детальные результаты.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Публикации Жарко В.О. соответствуют теме диссертационной работы. Диссертация написана развернуто и правильно оформлена. Совокупность полученных результатов и их изложение в настоящей диссертационной работе

можно квалифицировать как решение актуальной научной проблемы – разработку методов обработки многолетних временных рядов данных спутниковых измерений спектрально-временных характеристик отраженного излучения для дистанционной оценки структуры лесного покрова на больших территориях, что определяет важное научное значение представленной работы. Автореферат отражает содержание диссертации.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические и практические решения и разработки, имеющие существенное значение для совершенствования методов дистанционного мониторинга лесного покрова, что, несомненно, значимо для развития страны. Она полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Жарко В.О. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Отзыв составлен по результатам доклада Жарко В.О. и обсуждения работы на научно-квалификационном семинаре ФИРЭ им.В.А.Котельникова РАН по направлениям «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы» и «Статистическая радиофизика».

Председатель научно-квалификационного семинара ФИРЭ им.В.А.Котельникова РАН по направлениям «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы» и «Статистическая радиофизика», зам. директора ФИРЭ им.В.А.Котельникова РАН
Ученый секретарь научно-квалификационного семинара ФИРЭ им.В.А.Котельникова РАН по направлениям «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы» и «Статистическая радиофизика», к.ф.-м.н.



В.И.Каевицер

А.Б.Аквилонова