

Радиолокационное зондирование лесов многочастотными РБО

В.К. Иванов, С.Е. Яцевич

*Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины
61085 Харьков, Проскуры, 12
E-mails: sey@ire.kharkov.ua*

В работе рассмотрены вопросы дистанционного зондирования лесных массивов характерных для Восточной части Украины. При анализе использована многочастотная информация, полученная синхронно самолетными радиолокаторами бокового обзора в диапазоне длин волн от миллиметров до метров на различных поляризациях излучения и приема. Для интерпретации результатов использована наземная контактная информация. Оценены статистические характеристики отраженных от леса сигналов, представлены примеры распознавания лесов по данным радиолокационного зондирования, изучен вклад рельефа местности в суммарный отраженный от поверхности покрытой лесами сигнал.

Введение

В последнее время намечается тенденция к расширению применения радиолокационных съемок в лесном хозяйстве [1]. Их преимущество перед оптическими и ИК съемками заключается в том, что они могут проводиться в любое время суток и независимо от погодных условий. Физической основой радиолокационных съемок является возможность использования характеристик отражения зондирующих сигналов, излучаемых передатчиком РЛС, от различных объектов на земной поверхности, в том числе и от лесов, обладающих различными геометрическими и физико – химическими параметрами, а также достаточно высокой проникающей способностью радиоволн в исследуемую среду.

Использование данных дистанционного зондирования Земли с помощью РЛС с синтезированной апертурой, установленных на аэрокосмических носителях, для оценки лесных ресурсов становится предметом большого количества как экспериментальных, так и теоретических работ [2-4]. Задачей таких исследований является разработка методов классификации, оценки биомассы и других параметров лесных насаждений, что играет важную роль в решении целого ряда экологических и экономических вопросов.

Исследования, проведенные с помощью SAR показали возможность использования радиолокационных методов для определения биомассы лесов [5]. Полученные данные в L - диапазоне имеют высокую корреляцию параметров сигналов с характеристиками лесных насаждений. Наиболее чувствительными и тесно коррелирующими с биомассой лесов являются наблюдения в P - диапазоне. Исследования, проведенные в [6] подтверждают, что алгоритмы определения наземной биомассы с использованием данных длинноволновых SAR достаточно простые и надежные для структурированных лесов (например, для одноярусных хвойных).

Актуальной задачей для получения качественно новых характеристик лесов представляет использование синхронных многочастотных и многополяризационных данных, дающих дополнительную качественную и количественную информацию об объекте исследования, благодаря различному обратному рассеянию и проникновению радиоволн разных диапазонов в слой растительности. Решению этой задачи и посвящена эта статья, написанной на основе обработки результатов эмпирических данных, полученных в ИРЭ НАН Украины при проведении многолетнего мониторинга природной среды широкодиапазонными РЛС бокового обзора авиационного базирования.

Эксперимент

В эксперименте использован многочастотный радиофизический комплекс самолета-лаборатории ИЛ-18Д «МАРС» [7], разработанный сотрудниками Института радиофизики и электроники Национальной Академии Наук Украины (г. Харьков).

В состав аппаратуры входят: радиолокаторы бокового обзора 3-х сантиметрового диапазона (РБО-3) и 8-ми миллиметрового диапазона (РБО-0,8) с реальной апертурой антенны; радиолокаторы бокового обзора с синтезированием апертуры 23-х сантиметрового диапазона (РСА-23) с активной фазированной антенной решеткой (АФАР), а также радиолокатор метрового диапазона (РСА-180), сканирующий радиометр миллиметрового диапазона (РМ-0,8) и аэрофотоаппарат АФА-41.

Кроме того, в бортовой комплекс входит система обработки регистрации и визуализации радиолокационной информации. Основные параметры входящих в состав самолета – лаборатории ИЛ-18Д «МАРС» систем дистанционного зондирования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры датчиков дистанционного зондирования самолета ИЛ-18Д «МАРС»

Тип радиолокатора	РБО-0,8	РБО-3	РСА-23		РСА-180		РМ-0,8
Длина волны, см	0,8	3	23		180		0,8
Поляризация	ВВ,ГГ	ВВ	ВВ,ГГ,ВГ,ГВ		ВВ,ГГ,ВГ,ГВ		ГГ
Угол падения, град	20-60	20-80	20-85		20-85		20-60
Разрешение, м ²	30-60	30-50	30-50	2,5-50	30-100	2,5-50	500x500
Обработка	борт	борт	борт	земля	борт	земля	борт
Полоса обзора, км	влево 15	2x40	влево 30		30		10*

*-для высоты полета 7000м.

Все системы комплекса МАРС имеют общую систему синхронизации и управления. Зондирующие импульсы всех систем излучаются одновременно, а частота их посылки согласована со скоростью движения самолета относительно подстилающей поверхности. Каждая из радиолокационных систем имеет индивидуальный блок обработки, сигналы, с выходов которых объединяются и преобразуются процессорной системой, с которой многочастотные радиолокационные изображения подстилающей поверхности поступают на дисплейную систему и на систему регистрации. Радиолокационная система обладает автоматической внутренней калибровкой всех радиолокаторов [8].

Все данные о режимах работы аппаратуры и траекторных изменениях в движении носителя (система GPS) использовались при бортовой и наземной обработке на IBM PC для корректировки радиометрических и геометрических искажений получаемых радиоизображений.

Во время проведения экспериментальных полетов проводилось синхронное наземное обследование лесных насаждений на двух отобранных тестовых полигонах в различных лесничествах на Восточной части Украины. Территориальное расположение полигонов определялось возможностью подбора на нем различных типов насаждений, отличающихся породным составом, условиями местопрорастания, возрастом, полнотой и другими лесоводственно-таксационными показателями.

В лесном фонде первого тестового лесничества доминируют сосновые насаждения, произрастающие в свежих сосново-дубовых суборях и судубравах на дерновых супесчаных и песчаных почвах. Леса второго тестового лесничества представлены, в основном дубовыми насаждениями, произрастающими в свежих дубравах на серых лесных почвах.

В качестве опытных объектов на полигоне были подобраны участки, позволяющие максимально охватить породный состав, возрастной ряд (от молодняков до спелых и перестойных), условия местопрорастания и производительность насаждений.

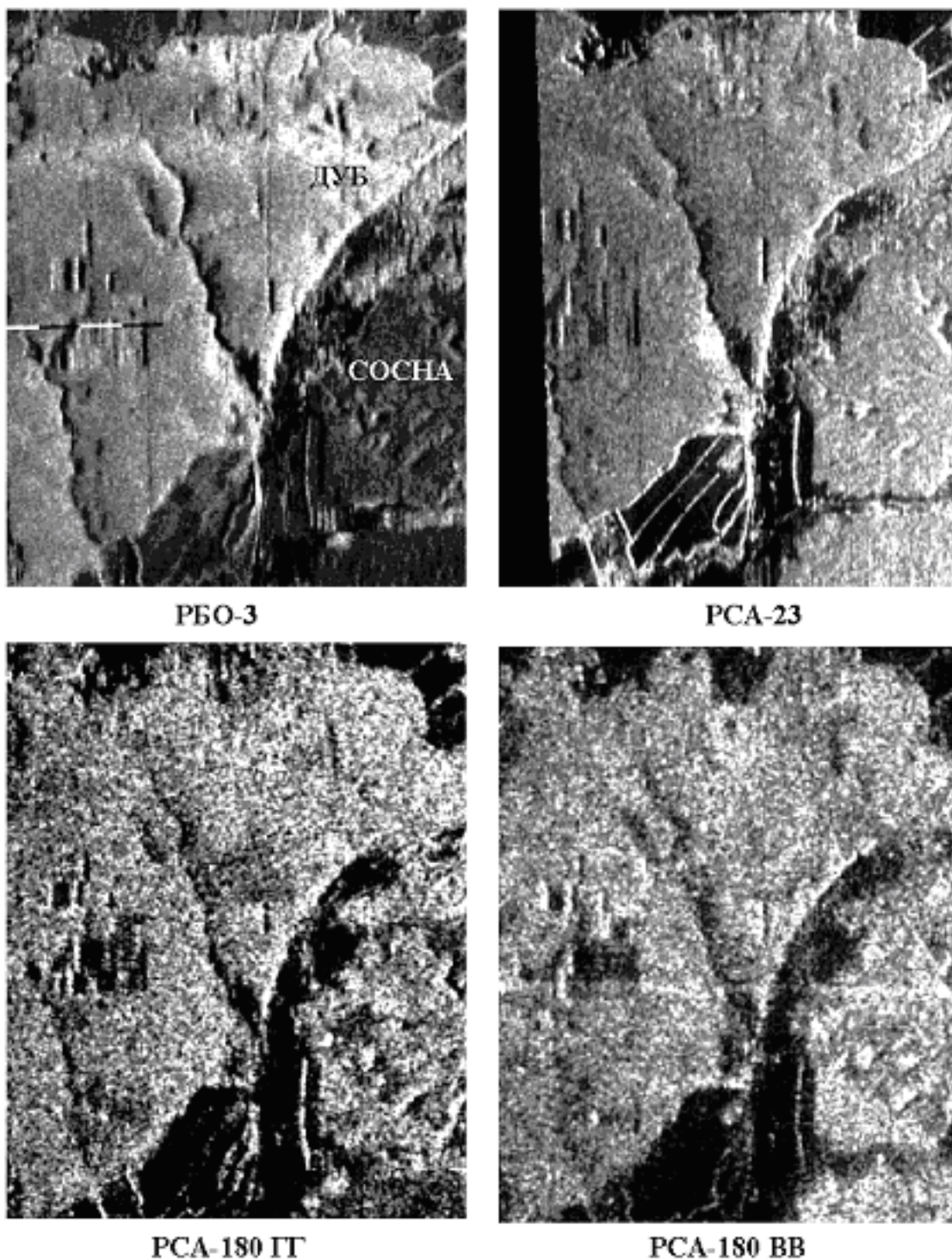


Рис. 1. Радиолокационные изображения тестового полигона в различных диапазонах радиоволн

На рис. 1 приведены синхронные радиоизображения радиолокаторов РБО-3, РСА-23 и РСА-180 тестового лесничества, полученные в X, L и в VHF диапазонах радиоволн. Данные в сантиметровом и дециметровом диапазонах радиоволн получены на вертикальной поляризации излучения и приема радиолокатора, а в метровом диапазоне на горизонтальной и вертикальной поляризациях. На радиоизображениях визуально отчетливо видны исследуемые леса, овраги, выруб-ки. Изменение интенсивности тона изображения на лесных массивах определяется их состоянием

на момент съемки, вызывающим вариации отраженного радиосигнала. В X диапазоне хорошо интерпретируются дубовые и сосновые насаждения, имеющие различную интенсивность отражения от кроны деревьев и имеющих в качестве основных отражателей листья и иголки, сравнимые с длиной волны и вносящие основной вклад в обратное рассеяние в этом диапазоне радиоволн. В L и в VHF диапазонах это различие значительно меньше, ввиду сильного проникновения радиоволн через кроны, где основным вкладом в обратное рассеяние радиоволн становится отражения от веток, стволов, подлеска и земного покрова, имеющих различную конфигурации, направленность и шероховатость, а также влияния их взаимного переотражения.

Обработка данных

Одной из задач стоящих перед исследователями являлась задача определения статистических характеристик обратного рассеяния радиоволн в широком диапазоне частот от леса с различным содержанием пород деревьев. Обработка результатов проведена с помощью стандартного пакета статистических программ на персональном компьютере. Вводимые многочастотные радиолокационные данные синхронно привязаны к однородным опорным участкам дубового и хвойного лесов тестовых лесничеств и содержат выборку из 300-400 элементов разрешения для конкретных пород деревьев.

Для наглядного представления поведения обратного рассеяния радиоволн различных диапазонов от лиственных и хвойных пород деревьев на рис. 2 представлены графические статистические данные о средних значениях и размахе, дисперсии отраженного сигнала (в машинных уровнях) от дубового и хвойного лесов в разных частотных диапазонах. Углы визирования с борта самолета составляли для данных s16, d16, MH: 73° – 75° от надира, а для s17, d17, MV, mm17: 37° – 49° .

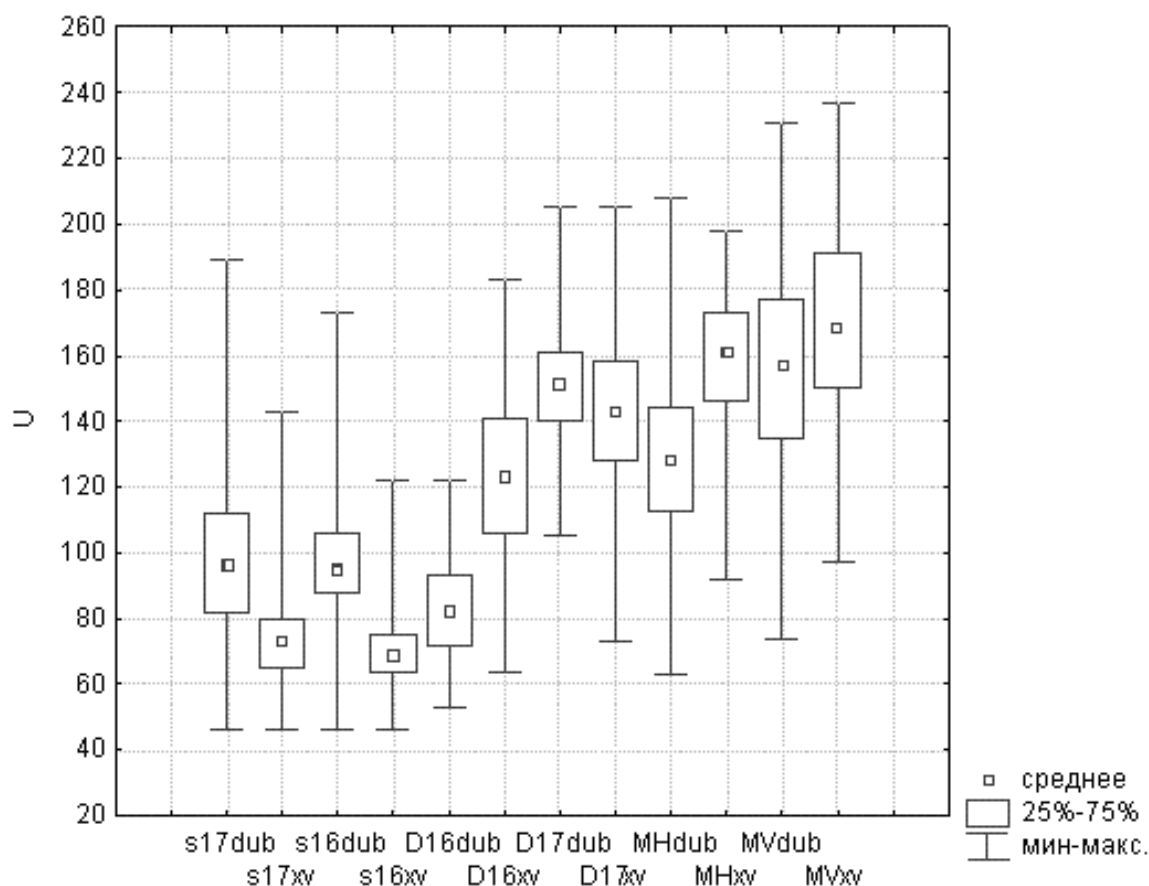
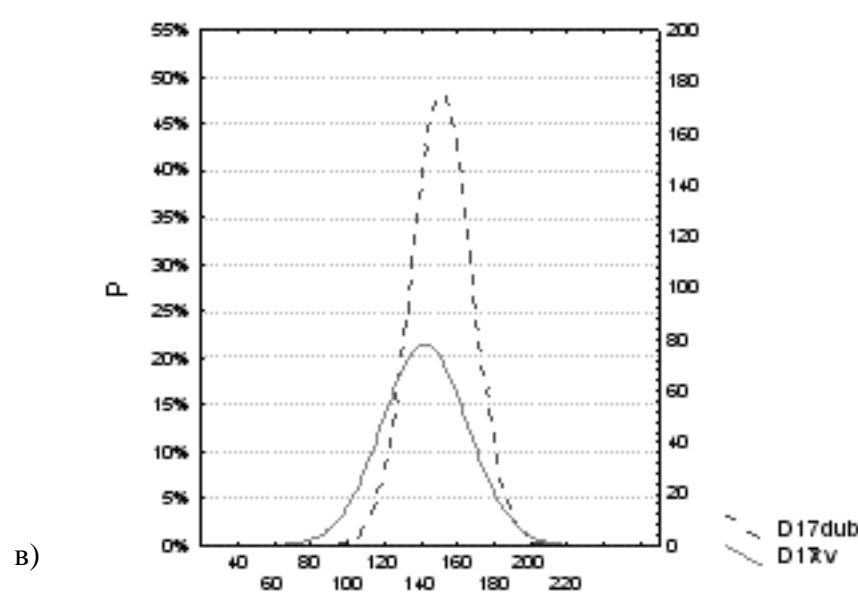
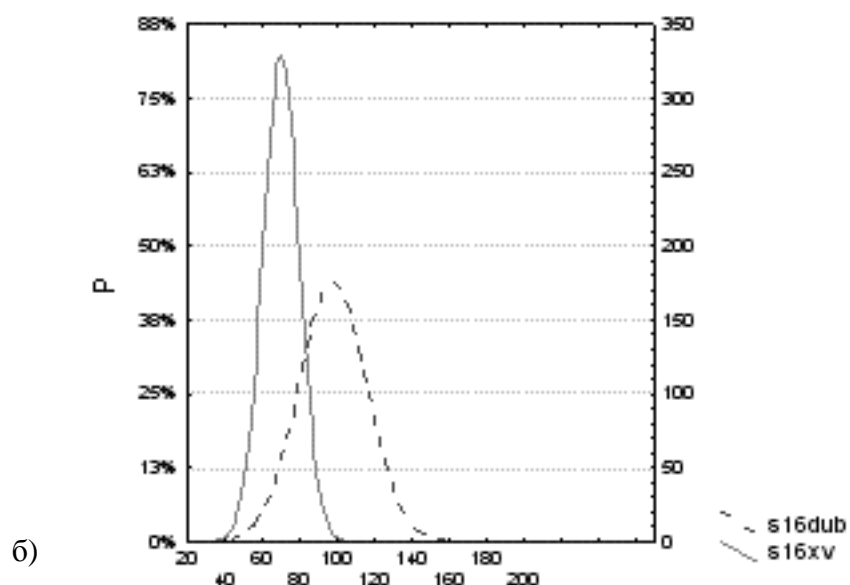
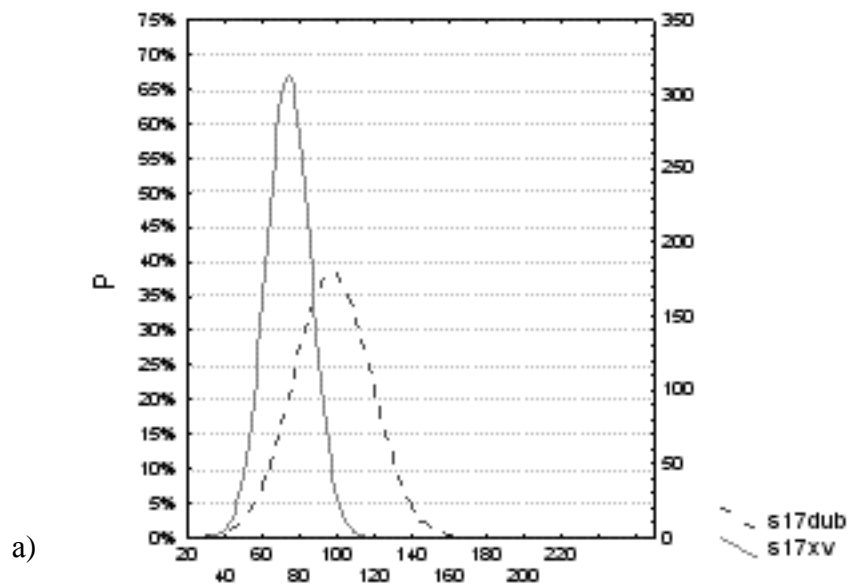
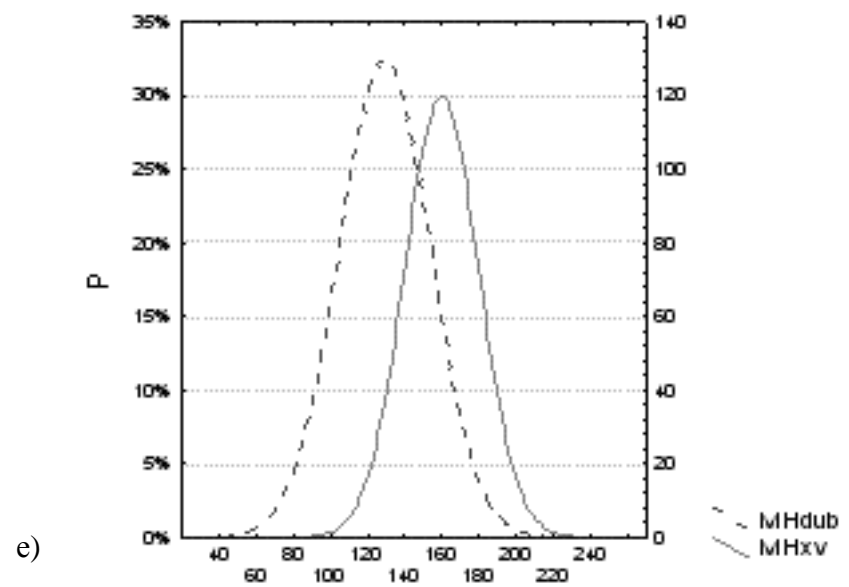
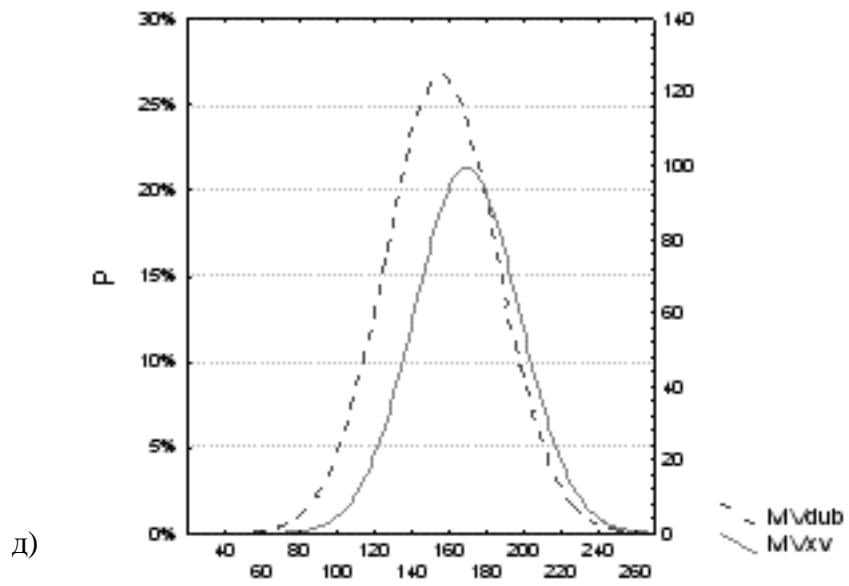
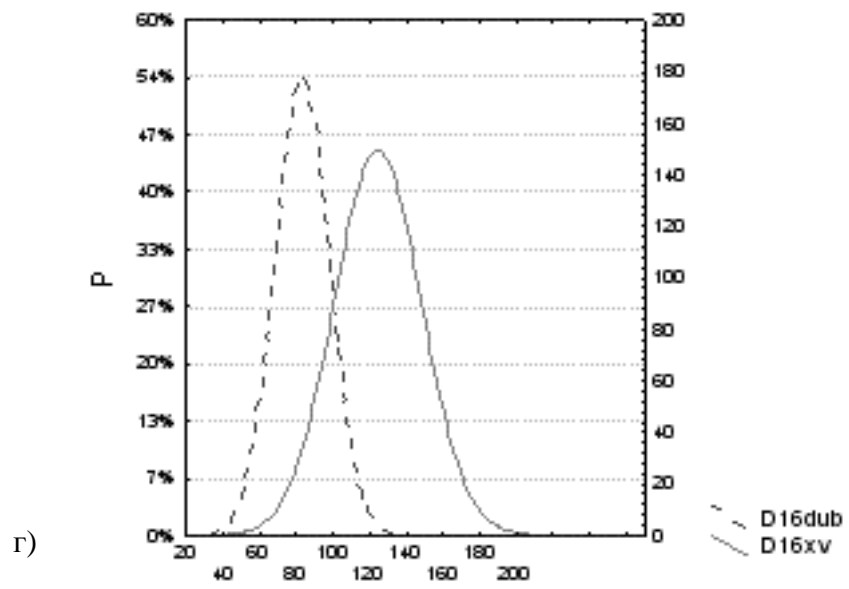


Рис. 2. Средние значения и размах сигналов отраженных от леса в сантиметровом s16, s17, дециметровом D16, D17, и метровом диапазонах волн MH, MV





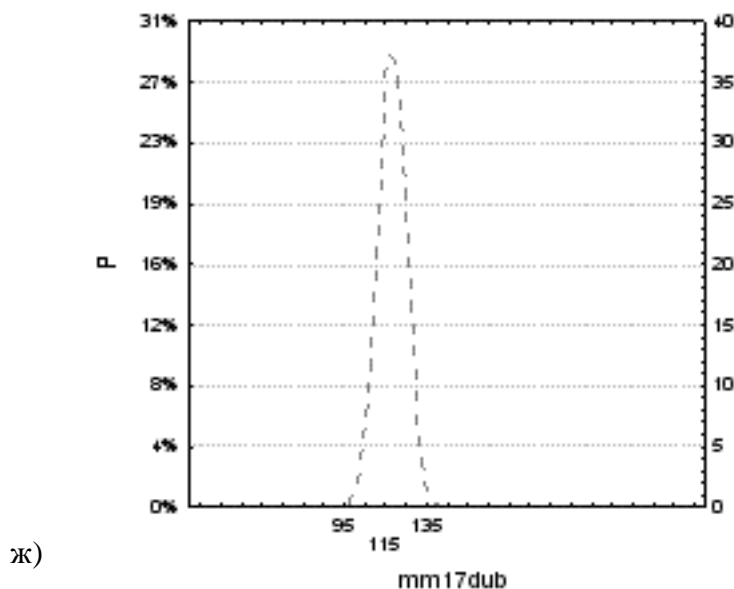


Рис. 3. Графики плотности распределения (P) радиолокационных отражений от сосновых и лиственных лесов в сантиметровом ($s16, s17$), дециметровом ($D16, D17$), метровом (MH, MV) и миллиметровом ($mm17$) диапазонах волн

Выполненные вычисления экспериментальных функций плотности распределений по выборкам представленных радиолокационных многочастотных данных показали, что с достаточно большой степенью вероятности данные всех частотных диапазонов подчиняются нормальному закону распределения (80% для метрового, 90% и более для коротковолновых диапазонов). На рис. 3 представлены некоторые распределения плотности вероятности (P) радиолокационных данных в различных диапазонах волн на разных углах наблюдения и разных поляризациях для сосновых и дубовых насаждений.

Анализ графика рис. 2 и данных рис. 3 показывает, что можно проводить процедуру распознавания типов лесов с учетом их статистических отражательных характеристик во всех рассматриваемых диапазонах волн. Следует отметить, что средние уровни отраженного сигнала для дециметрового и метрового диапазонов волн выше для хвойных лесов по сравнению с отражением от дубовых. В сантиметровом диапазоне радиоволн средние уровни отраженных сигналов от дубового леса превосходят по значению уровни сигналов от хвойных лесных насаждений. Дисперсия отраженных сигналов увеличивается по мере увеличения длины волны радиолокатора.

Распознавание типов леса по РЛ данным базировалось на использование метода иерархического кластерного анализа. Вычисления проводились по алгоритму Уорда в Евклидовом пространстве [9].

Результаты кластерного анализа представлены на дендрограммах рис. 4-6. На горизонтальной оси отложены характеристические признаки объектов (в данном случае тип леса), а по вертикальной - значение меры схожести между этими объектами. Выделение количества классов объектов проводилось по методу Трондайка.

Обработка данных кластерным анализом показала, что для всех радиодиапазонов объекты четко разделяются на два кластера, т.е. происходит разделение на хвойный и дубовый лес. Для оценки точности использован критерий χ^2 . Сопоставление фактического и теоретического значений χ^2 дает основание считать полученную классификацию достоверной при 90% уровне вероятности.

Для сантиметрового диапазона радиоволн угол визирования не влияет на распознавание лесов, а в дециметровом диапазоне радиоволн происходит деление дерева распознавания для разных углов наблюдения (35° и 70°) еще на два класса для дубовых насаждений. При этом хвойный лес при разных условиях наблюдения относится к одному кластеру.

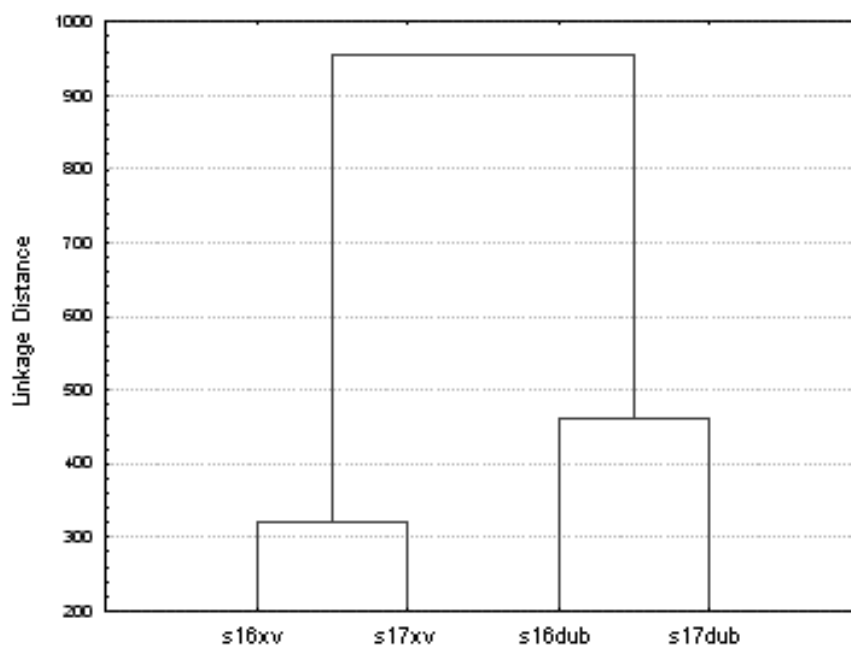


Рис. 4. Распознавание типов леса по данным РЛ съемки в сантиметровом диапазоне радиоволн

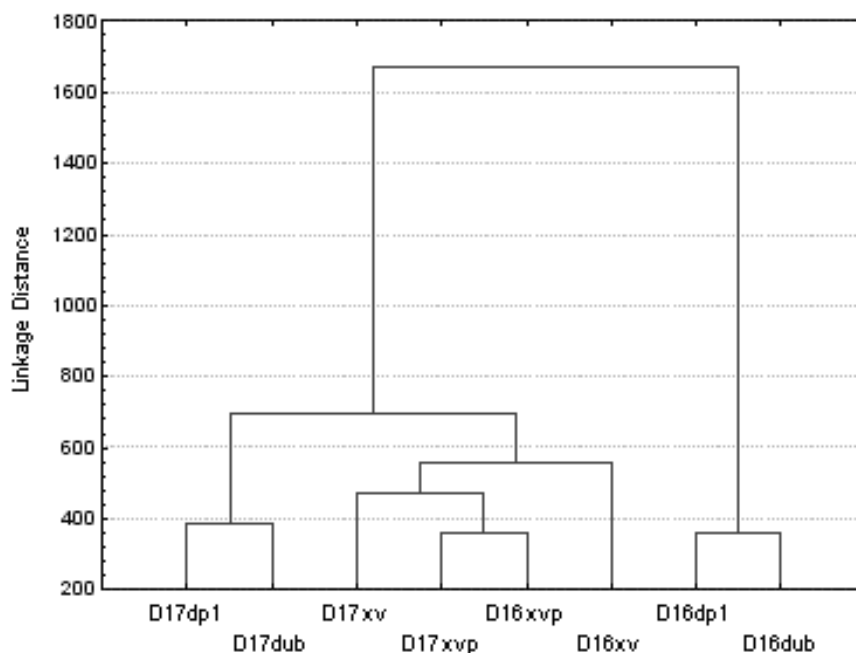


Рис. 5. Распознавание типов леса по данным РЛ съемки в дециметровом диапазоне радиоволн

Такое же разделение на 3 кластера происходит и для поляризационных измерений в метровом диапазоне радиоволн. Хвойный лес не разделяется на вертикальной и горизонтальной поляризациях и объединяется в один кластер. Дубовый лес на разных поляризациях образует два не пересекающихся кластера.

Для определения видового состава и возрастных характеристик лесных массивов представленных на изображениях использован метод определения состояния лесов с использованием методики аналитической аппроксимации отношения правдоподобия [9]. Использование этого метода позволяет проводить классификацию объектов при негауссовских законах распределения признаков. Анализ подверглись данные сантиметрового диапазона радиоволн.

При вычислениях использовались только типы леса, без их детальных характеристик. Были ото-

браны участки леса с однородным лесостоем (дуб, сосна). На данном этапе исследований были выбраны следующие участки сосновых и дубовых насаждений: 5,7 – сосна (45 - 50 лет), 18, 19 - дуб1 (100 - 120 лет), 16, 17 - дуб2 (170 лет). Результаты показаны на рис. 7, где представлены вероятности правильного распознавания (ВПР) для контрольных участков леса в сантиметровом диапазоне радиоволн. Установлено, что участки сосновых насаждений (5,7) не различаются между собой. Не разделяются также и участки дубовых насаждений и дубово-ясеневых одного возраста (16,17), где ВПР находится на уровне 0,6. Лучше распознаются (ВПР=0,7) дубовые насаждения разного возраста (16,19), которые существенно отличаются лесотаксационными показателями. Наиболее существенно разделяются между собой (ВПР около 1) участки сосновых и дубовых насаждений (5,19;7,19 и 7,16). При проведении вычислений, очевидно, что участки сосновых и дубовых насаждений разделяются по математическим ожиданиям. Различие в математических ожиданиях внутри класса дуб2 вероятно связано с различием в рельефе местности (участки 16, 17 выбраны на склоне).

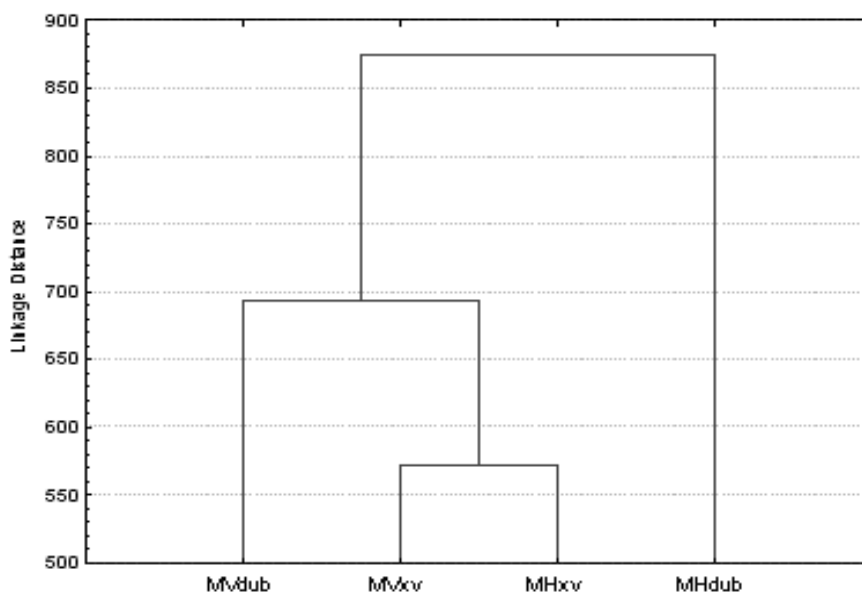


Рис. 6. Распознавание типов леса по данным РЛ съемки в метровом диапазоне радиоволн

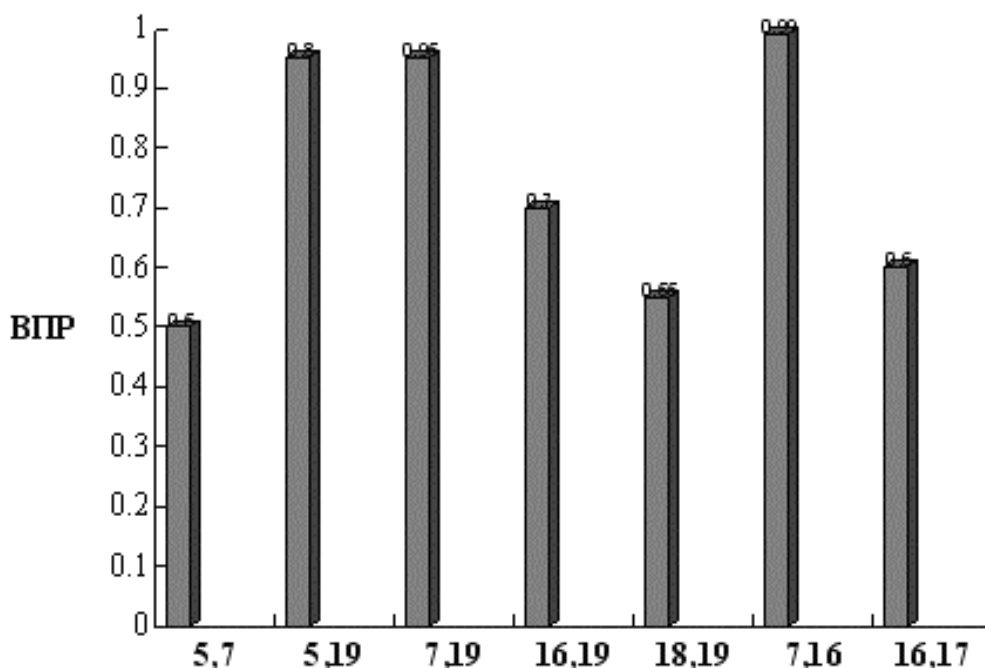


Рис. 7. Определение качества распознавания лесов

Заклучение

Проведенные экспериментальные работы показали, что многочастотное, многополяризационное синхронное радиолокационное зондирование может использоваться для решения задач дистанционного мониторинга лесов. Рассмотренные в статье методы дешифрирования позволяют разделять лесные участки с разными лесоводственно - таксационными показателями.

По результатам анализа радиолокационных изображений получен набор статистических характеристик (математические ожидания, дисперсии, функции плотности распределения) для различных лесных насаждений в широком диапазоне частот.

При дешифрировании радиолокационных съемок в разных диапазонах волн для адекватного распознавания необходимо учитывать рельеф местности.

Литература

1. Волошин В.И., Драновський В.Й., Бушуев С.И. Стан, перспективи та проблеми ринку послуг дистанційного зондування Землі з космосу // Космічна наука і технологія, Київ, 2002р, Т8, №2/3, - С. 41-51.
2. Волосяк В.К., Кравченко В.Ф. Математические методы моделирования физических процессов в задачах дистанционного зондирования Земли. - Успехи зарубежной радиоэлектроники, 2000, №8, с. 3-80.
3. Melon P., Martinez J.M., Le Toan T., Ulander L.M.H., and Beaudoin A. On the retrieving of forest stem volume from VHP SAR data: Observation and modeling. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2001, vol. 39, pp. 2364–2372.
4. Manninen A.T. and Ulander L.M.H. Forestry Parameter Retrieval From Texture in CARABAS VHP-Band SAR Images. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2001, vol. 39, pp. 2613–2624.
5. Le Toan T., Beaudoin A., Riom J., and Guyon D. Relating Forest Biomass to SAR Data. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1992, vol. 30, no. 2, pp. 403-411.
6. Dobson M.C., Ulaby F.T., LeToan T. et al. Dependence of Radar Backscatter on Coniferous Forest Biomass. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1992, vol. 30, no. 2, pp. 412-415.
7. Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Курекин А.С. и др. Многоцелевой радиолокационный комплекс исследования Земли "МАРС" // Радиофизика и радиоастрономия, 1998, Т3, №2.- С.119-129.
8. Яцевич С.Е., Курекин А.С., Уваров В.Н., Левда А.С. Автоматическая внутренняя калибровка радиолокационных систем дистанционного зондирования // Космічна наука і технологія, Київ, 1998р. Т4, N2/3, -С.34-39.
9. Факторный дискриминантный и кластерный анализ. / Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. и др.: Пер. с англ.- М.: Финансы и статистика. 1989. 215 с.