

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИСТВЕННЫХ И ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

к.ф.-м.н. С.Е. Яцевич  
(представил д.ф.-м.н. В.К. Иванов)

*Проведен анализ данных, полученных при дистанционном зондировании с борта самолета в широком диапазоне частот радиолокаторами бокового обзора. Осуществлена классификация лесов на тестовых полигонах.*

**Введение.** В последнее время намечается тенденция к расширению применения радиолокационных съемок в лесном хозяйстве. Их преимущество 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.

Большой интерес для исследователей лесов представляют одновременные многочастотные радиолокационные измерения, благодаря различному проникновению и обратному рассеянию радиоволн разных диапазонов лесными покровами, дающие дополнительную информацию об объекте исследования.

Моделирование радиолокационных отражений от лесных массивов рассматривалось в работах [1 – 3]. Как правило, эти модели достаточно сложны, и для точных прогнозов требуют большого числа входных параметров. Так, при моделировании отражений от леса в качестве входных параметров необходимы данные измерений высоты и диаметра деревьев, плотности их насаждения; знание распределений листьев и веток по размерам и угловой ориентации, диэлектрической проницаемости стволов деревьев, шероховатости и диэлектрической проницаемости почвы. Использование этих моделей для получения единственного решения обратной задачи весьма затруднено, из-за того, что количество входных параметров прямой задачи намного больше количества выходных параметров (радиолокационных измерений).

Перспективным в исследовании растительного покрова является

анализ статистических характеристик радиолокационного изображения. Структура статистически однородных участков изображения достаточно полно характеризуется распределением вероятностей амплитуд и корреляционной функцией анализируемого участка радиолокационного изображения. Поэтому **актуальной задачей** при дешифрировании радиолокационных изображений является получение устойчивых эмпирических зависимостей, основанных на получении статистических отражательных характеристик от различных лесных насаждений.

**Решению этой задачи** и посвящена настоящая статья, написанная на основе обработки результатов эмпирических данных, полученных в ИРЭ НАН Украины при проведении многолетнего дистанционного мониторинга природной среды широкодиапазонными (миллиметрового, сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов) РЛС бокового обзора авиационного базирования [4].

**1. Проведение эксперимента.** Во время проведения экспериментальных полетов самолета-лаборатории ИРЭ НАНУ проводилось синхронное наземное обследование лесных насаждений на двух отобранных тестовых полигонах в различных лесничествах восточной части Украины. Территориальное расположение полигонов определялось возможностью подбора на нем различных типов насаждений, отличающихся породным составом, условиями местопроизрастания, 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 местопроизрастания и производительность насаждений [5].

На рис. 1 приведены синхронные радиоизображения радиолокаторов РБО-3, РСА-23 и РСА-180 тестового лесничества, полученные в сантиметровом, дециметровом и в метровом диапазонах радиоволн.

Данные в сантиметровом и дециметровом диапазонах 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, вырубки. Изменение интенсивности тона изображения на лесных массивах определяется их состоянием на момент съемки, вызывающим вариации отраженного радиосигнала. В сантиметровом диапазоне хорошо ин-

терпретируются 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 дециметровом и в метровом 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 конфигурацию, направленность и шероховатость, а также влияния их взаимного переотражения.

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. Углы визирования тестовых лесных массивов с борта самолета составляли для данных s16, d16, MN: 73 – 75° от надира, а для s17, d17, MV, mm17: 37 – 49°.

**Обработка экспериментальных данных.** Для более 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 отраженного сигнала от дубового и хвойного лесов в разных частотных диапазонах. Выполненные вычисления экспериментальных функций плотности распределений по выборкам представленных радиолокационных многочастотных

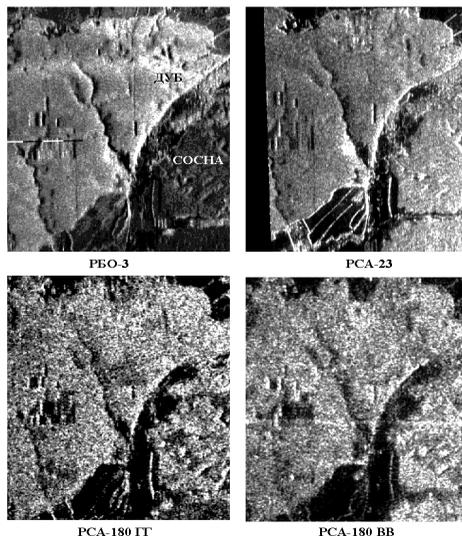


Рис. 1. Радиолокационные изображения тестового полигона в различных диапазонах радиоволн

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 – 5 представлены некоторые распределения плотности вероятности радиолокационных данных в различных диапазонах волн на разных углах наблюдения и разных поляризациях для сосновых и дубовых насаждений, представленных на тестовых полигонах.

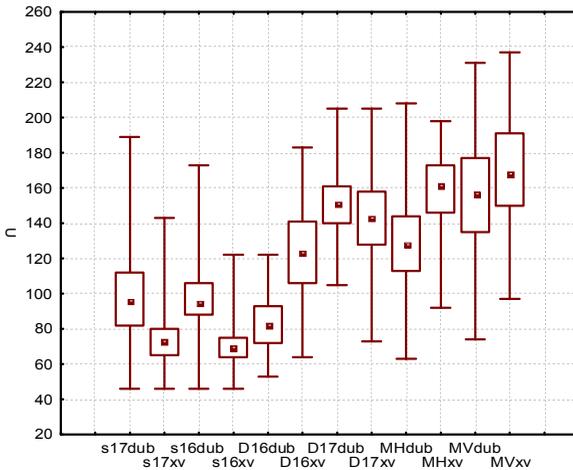


Рис. 2. Средние значения и размах сигналов отраженных от леса в сантиметровом s16, s17, дециметровом D16, D17, и метровом диапазонах волн МН, МV

лесов с использованием методики аналитической аппроксимации отношения правдоподобия [6]. Использование этого метода позволяет проводить классификацию объектов при негауссовских законах распределения признаков. Анализу подверглись данные сантиметрового диапазона радиоволн.

При вычислениях использовались только типы леса, без их детальных характеристик. Были отобраны участки 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. 4, 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

ятности радиолокационных данных в различных диапазонах волн на разных углах наблюдения и разных поляризациях для сосновых и дубовых насаждений, представленных на тестовых полигонах. Для определения видового состава и возрастных характеристик представленных лесных массивов использован метод определения состояния

дубовых насаждений разделяются по математическим ожиданиям.

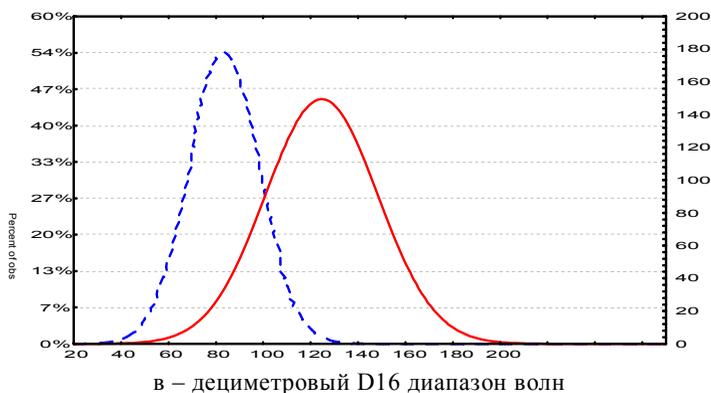
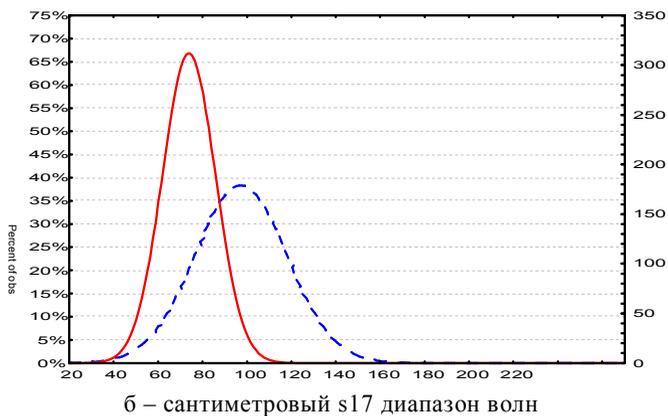
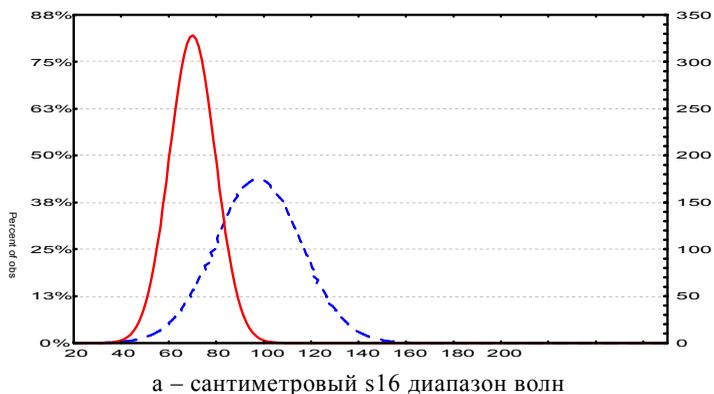
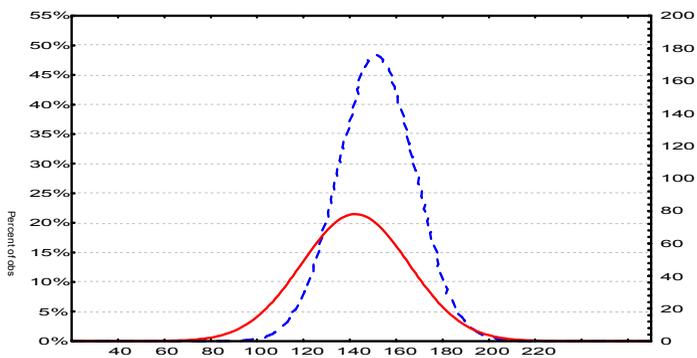
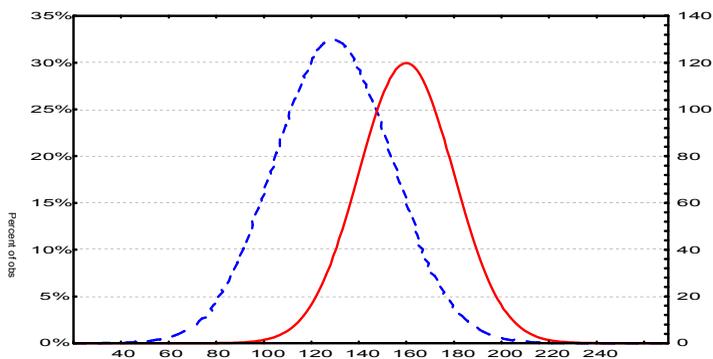


Рис. 3. Графики плотности распределения радиолокационных отражений от

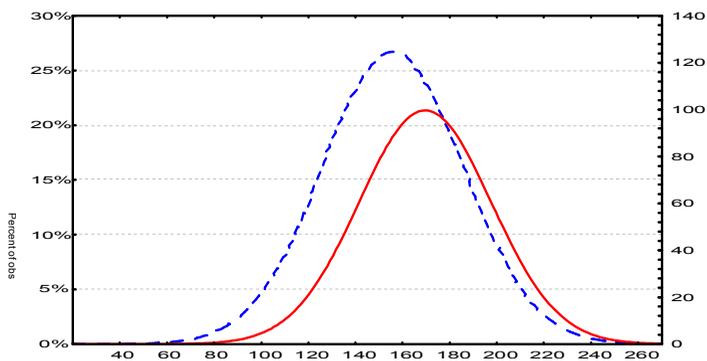
сосновых (сплошная линия) и лиственных (пунктирная линия) лесов



а – дециметровый D17 диапазон волн



б – метровый МН диапазон волн



в – метровый MV диапазон волн

Рис. 4. Графики плотности распределения радиолокационных отражений от

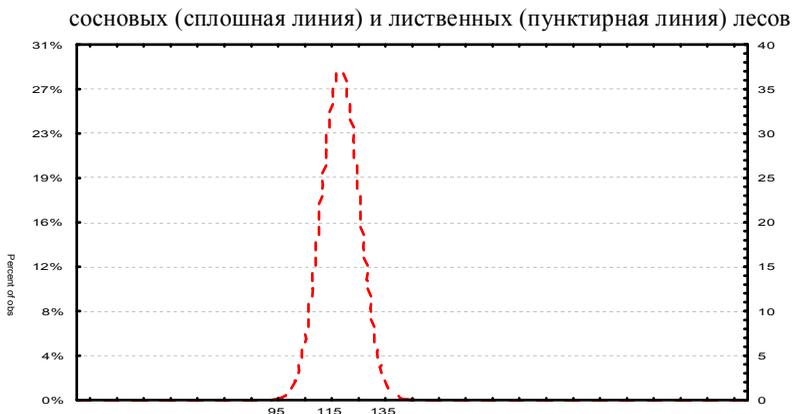


Рис. 5. Графики плотности распределения радиолокационных отражений от сосновых (сплошная линия) и лиственных (пунктирная линия) лесов в миллиметровом диапазоне волн для лиственного леса

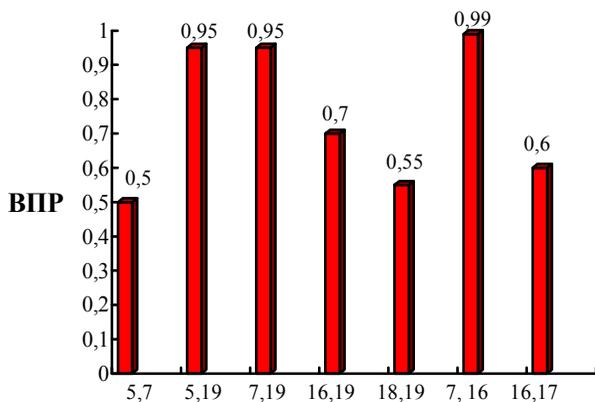


Рис. 6. Определение качества распознавания лесов

Различие в математических ожиданиях внутри класса дуб2 вероятно связано с различием в рельефе местности (участки 16,17 выбраны на склоне).

**Заключение.** Анализ графика (рис. 2) и данных (рис. 3 – 6) 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, а в сантиметровом диапазоне 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.

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. Для этого необходимо провести дополнительные эксперименты с целью установить устойчивые статистические связи между пространственными характеристиками рельефа поверхности с отраженным от него сигналом под разными углами наблюдения.

*Исследования, представленные в публикации, выполнены при частичной поддержке ДФФД Украины по плану работы по проекту № 7/354-2001.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Durden S.L., van Zyl J.J., Zebker H.A. Modeling and observation of the radar polarization signature of forested areas // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.* – May 1989. – Vol. 27. – P. 290 – 301.
2. Moghaddam M., Saatchi S. Analysis of scattering mechanisms in SAR imagery over boreal forest: Results from BOREAS'93 // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.* – Sept. 1995. – Vol. 33. – P. 1290 – 1295.
3. Ulaby F.T., Sarabandi K., McDonald K.C., Whitt M., Dobson M.C. Michigan microwave canopy scattering model (MIMICS) // *Int. J. Remote Sensing.* – 1990. – Vol. 11, no. 7. – P. 1223 – 1253.
4. Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Курекин А.С. Многоцелевой радиолокационный комплекс исследования Земли “МАРС” // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 1998. – Т. 3, № 2. – С. 119 – 129.
5. Иванов В.К., Стадник А.М., Яцевич С.Е. Идентификация лесов радиолокационными методами // *Системы обработки інформації.* – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 4. – С. 3 – 7.
6. Бычков Д.М., Гавриленко А.С., Егорова Л.А. Дистанционные исследования растительных покровов и лесов радиолокационными методами // *Доклады 13<sup>й</sup> междунар. НТК КрыМиКо'2003 «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии».* – Севастополь. – 8 – 12 сентября 2003. – С. 750 – 752.

Поступила 24.11.2004

**ЯЦЕВИЧ Сергей Евгеньевич**, канд. физ.-мат. наук, старший научн. сотр. ИРЭ НАНУ. Область научных исследований – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей, радиолокация, радиотеплокация, обработка информации.

E-mail: sey@ire.kharkov.ua .