

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНОГО РАС- СЕЙЯНИЯ РАДИОВОЛН ОТ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ПРИ СЛОЖНОМ РЕЛЬЕФЕ МЕСТНОСТИ

д.ф.-м.н. В.К. Иванов, к.ф.-м.н. С.Е. Яцевич, Ю.В. Левадный, Е.И. Яцевич

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. Изучен вклад рельефа местности в суммарный отраженный от поверхности покрытой лесами сигнал.

Введение. В настоящее время сложившаяся на Украине экологическая обстановка достаточно сложна. В условиях высоких антропогенных нагрузок на ландшафты очень важно оперативно получать регулярно обновляемую информацию о динамике состояния лесов, позволяющую своевременно оценить возможные потери лесного хозяйства и подготовить фактографические и прогнозные материалы для принятия управляющих решений по устранению негативных явлений.

Развитие дистанционных методов зондирования Земли, вычислительной техники, современных навигационных и геоинформационных технологий создали условия для организации и проведения мониторинга лесов на принципиально новой научно-методической основе и технической базе. Дистанционная съемка может быть проведена с различных носителей: искусственных спутников Земли (ИСЗ), орбитальных станций, пилотируемых космических кораблей, самолетов, вертолетов и других летательных аппаратов.

В настоящее время для целей дистанционного зондирования (ДЗ) используются фотографические, сканерные, телевизионные, инфракрасные (ИК), сверхвысокочастотные (СВЧ) радиолокационные, радиометрические и ряд других систем различных по обзорности, масштабу, разрешению и информативности [1].

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 съе-

мок 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.

Исследования, проведенные с помощью NASA/YPL SAR, показали возможность использования радиолокационных методов для определения биомассы лесов [2]. 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 также в Северной Каролине, подтверждают, что алгоритмы определения наземной биомассы с использованием данных длинноволновых SAR достаточно простые и надежные для структурированных лесов (например, для одноярусных хвойных) [3].

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.

В представленной работе рассмотрены вопросы получения информации о вкладе рельефа местности в отраженный радиосигнал от типичных лесов произрастающих на территории Украины по данным синхронного многочастотного дистанционного радиолокационного зондирования тестовых полигонов.

Влияние рельефа местности на отраженный от лесов сигнал. В формировании исследуемых радиолокационных изображений лесных массивов участвуют в основном структура поверхности и тип леса, признаки, которых в совокупности и отдельно могут быть использованы для дешифрирования каждого из них или связанных с ними других компонентов ландшафтов. Решение этой задачи обеспечивается изучением на полигонах корреляционных связей между информативными признаками ландшафтов и различными показателями лесов, не регистрируемых или опосредственно регистрируемых на радиоизображениях. Одним из таких показателей, существенно влияющих на распознаваемые характеристики леса, является рельеф местности, вносящий определенные искажения как в геометрию изображения, так и величину отраженного сигнала.

Эксперименты проведены с помощью самолетного многочастотного радиолокационного комплекса ($\lambda = 0,8, 3,23$ и 180 см; пространственное разрешение $30 - 50$ м). Исследовался дубовый лес тестового полигона, который расположен на холмистой местности с перепадами высот до $70 - 90$ м, углами возвышения (α, β, χ) от 0 до $10 - 15^\circ$ градусов и протяженностью склонов до полукилометра и более. Район наблюдался во всех частотных диапазонах с высоты полета 7000 м под углами (ψ, ξ) $\cong 35$ и 70° от надира. Карта рельефа местности и схема условий наблюдения показана на рис. 1, 2.



Рис.1. Карта лесных полигонов с рельефом местности

В процессе дешифрирования радиолокационных изображений [4 - 5] было установлено, что форма рельефа местности на поверхности, покрытой лиственными лесами, достаточно уверенно наблюдается на радиолокационных изображениях во всех частотных диапазонах (рис. 3). Скаты холмов (А-А, Б-Б с углами наклона α и β , рис. 1, 2) обращенные к направлению

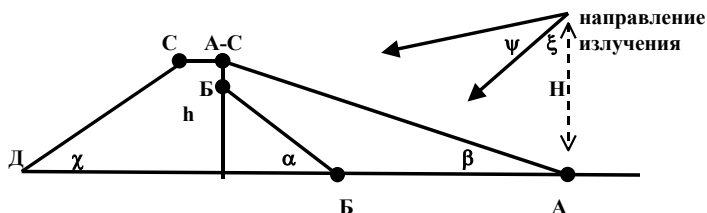


Рис. 2. Условия облучения лесного массива расположенного на холме

излучения радиолокационных систем (углы визирования от надира ξ, ψ , высота H) вносят искажения, как в амплитуду отраженного сигнала, так и в геометрию построения радиолокационного изображения. Эти эффекты, в первую очередь, зависят от крутизны ската и его протяженности, что приводит к изменению условий рассеяния радиоволн в зависимости от углов встречи радиосигнала и исследуемой поверхности.

На рис. 3 представлен геометрический профиль исследуемого холма с находящимся на нем однородным дубовым лесом и соответствующие данному рельефу строчные разрезы изображений в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах радиоволн, а также их усредненные значения. Съемка проведена с двух разных встречных направлений полета со смещением трасс, так что исследуемый холм облучался под разными углами визирования в начале и в конце полосы обзора ($\xi = 37 - 40^\circ$; $\psi = 73 - 75^\circ$).

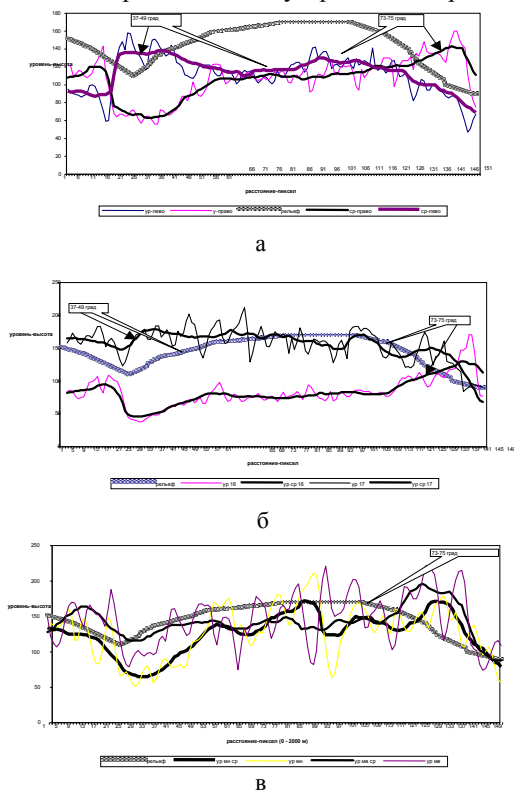


Рис. 3. Профиль рельефа местности и отраженного сигнала в см (а), дм (б) и метровом (в) диапазонах волн

Б-Б с углами наклона α и β достаточно плохо коррелируют с синхронно отраженным в пространстве сигналом (коэффициент корреляции 0,3 – 0,45). Противоположный облучению скат холма (С-Д под углом χ) не вносит значительных искажений в отраженный лесом пространственный сигнал и достаточно хорошо коррелирует (0,8 – 0,85) с формой геометрии поверхности.

В процессе изучения отражения радиоволн от ската холма А-А, Б-Б и пологого участка С-С был исследован эффект увеличения интенсивности отраженного сигнала, меняющийся с изменением углов α , β и χ

всплеск сигнала и его пространственная деформация на склонах обращенных к направлению облучения и достаточно хорошее соответствие на склонах противоположного направления (углы визирования показаны стрелками, а направление обзора – стрелками сноски). Данный эффект сохраняется как в начале полосы обзора, так и в ее конце.

Авторами были рассчитаны корреляционные характеристики параметров геометрии поверхности (формы холма) и отраженного от расположенного на нем однородного дубового леса. Разрезы по высоте холма по трассам А-А,

(2 – 15°) склонов холма. Эффект выражен появляющимся во всех частотных диапазонах пиком интенсивности на участке соответствующему увеличению принятого сигнала в районе ската холма (рис. 3). В результате сравнения данных рельефа местности (углов наклона) и максимальных значений интенсивности отраженного сигнала в пределах максимума склона и перехода его на пологий участок в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах радиоволн на двух поляризациях излучения и приема были получены уравнения регрессии и построены соответствующие им регрессионные зависимости, приведенные на рис. 4.

Уравнения регрессии демонстрируют подобранную линейную зависимость, показывающую изменение пика уровня рассеянного сигнала от однородного леса в зависимости от угла наклона холма на котором он находится:

$$U_{cm} = 100,214 + 6,7075 \cdot x, \quad r = 0,9826, \quad p = 98\%; \quad (1)$$

$$U_{dm} = 95,1721 + 11,3085 \cdot x, \quad r = 0,9647, \quad p = 96\%; \quad (2)$$

$$U_{Mh} = 117,8681 + 8,6458 \cdot x, \quad r = 0,9551, \quad p = 80\%; \quad (3)$$

$$U_{Mv} = 94,7639 + 8,7083 \cdot x, \quad r = 0,8824, \quad p = 70\%; \quad (4)$$

где U – интенсивность принятого сигнала в различных частотных диапазонах; x – угол наклона холма (α); r – коэффициент корреляции; p – вероятность правдоподобия принятой гипотезы.

Заключение. Проведенные исследовательские работы показали, что многочастотное, многополяризационное синхронное радиолокационное зондирование может использоваться для решения задач дистанционного мониторинга лесов. При дешифрировании радиолокационных съемок в разных диапазонах волн для адекватного распознавания необходимо учитывать релье-

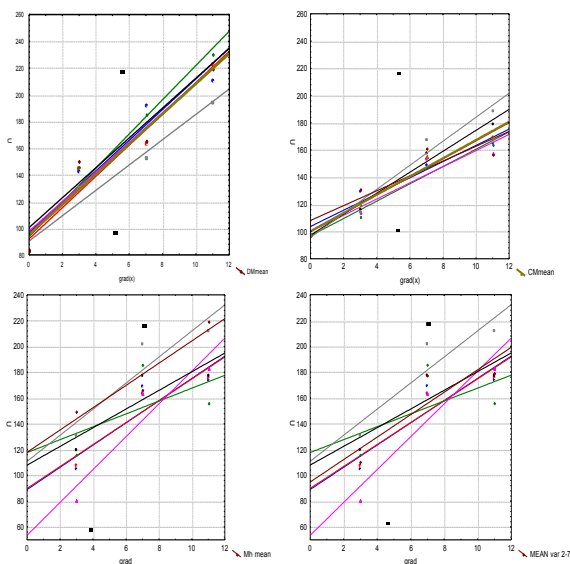


Рис. 4. Зависимости уровня отраженного сигнала в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазоне радиоволн от угла наклона поверхности, покрытой однородным дубовым лесом

еф 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 планам работы по проекту №Ф7/354-2001, а также в рамках НИР «Океан», выполняемой совместно с коллегами из Харьковского военного университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волошин В.І., Драновський В.Й., Бушуєв Є.І. Стан, перспективи та проблеми ринку послуг дистанційного зондування Землі з космосу // *Космічна наука і технологія*. – К., 2002. – Т. 8, № 2/3. – С. 41 – 51.
2. Toan T. Le, Beaudoin A., Riou J. and Guyon D. Relating Forest Biomass to SAR Data // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – March 1992. – Vol.30, № 2. – P. 132 – 137.
3. M. Craig Dobson, Fawwaz T. Ulaby, Thuy LeToan and oth. Dependence of Radar Backscatter on Coniferous Forest Biomass // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. . – March 1992. – Vol.30, № 2. – P. 211 – 220.
4. Бычков Д.М., Гавриленко А.С., Егорова Л.А. и др. Дистанционные исследования растительных покровов и лесов радиолокационными методами // Доклады 13-й Международной Крымской конференции КрыМиКо '2003 «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, Крым. – 8 – 12 сентября 2003. – С. 750 – 752.
5. Іванов В.К., Стадник О.М, Яцевич С.Є. и др. Ефект рельєфу місцевості при дистанційному дослідженні лісів // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вип. 6. – С. 193 – 200.

Поступила 29.07.2004

ИВАНОВ Виктор Кузьмич, доктор физ.-мат. наук, ст. научн. сотр., зав. отд. ИРЭ НАНУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей, радиолокация, радиотеплокация, обработка информации.

E-mail: ivanov@ire.kharkov.ua

ЯЦЕВИЧ Сергей Евгеньевич, кандидат физ.-мат. наук, научн. сотр. ИРЭ НАНУ. В 1981 году окончил ХГУ. Лауреат премии им. Ленинского комсомола. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей.

E-mail: sey@ire.kharkov.ua

ЛЕВАДНЫЙ Юрий Владимирович, инженер ИРЭ НАНУ. Окончил ХНУ радиотехники в 2004 году. Область научных интересов – радиотехника СВЧ.

ЯЦЕВИЧ Елена Игоревна, мл. научн. сотр. ИРЭ НАНУ. В 1998 году окончила механико-математический факультет ХГУ. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли с аэрокосмических носителей, обработка информации.

E-mail: yal@ire.kharkov.ua