

Отражающие характеристики лиственного леса в X-диапазоне.

Б.Ч. Доржиев, О.Н. Очиров

*Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой 6,
1_2_z@mail.ru, oleg_och@pres.bscnet.ru*

Представлены результаты измерений отражающих характеристик лесного полога, выполненных с использованием автономного измерительного комплекса на базе наносекундного радара. Расчет коэффициентов обратного рассеяния выполнен по оригинальной методике, учитывающей геометрию задачи и характеристики радара.

Results of measurements of the wood reflecting characteristics executed with use of an autonomous measuring complex on the basis of a nanosecond radar are presented. Calculation of Backscattering coefficients is executed by the original method considering geometry of area and the characteristics of radar.

В 2005 – 2008 гг. в интересах Федерального агентства лесного хозяйства создана и введена в эксплуатацию система космического мониторинга лесов России с ежегодной съемкой высокого разрешения по всей территории интенсивного лесопользования. Для приема данных со спутников сформирована сеть наземных станций «УниСканTM» работающих в X-диапазоне (8-12,5 ГГц). В настоящее время ведется разработка и совершенствование программного обеспечения для приема, первичной обработки и архивации спутниковых данных, а также для дальнейшей углубленной тематической обработки изображений. Большую роль при решении последней задачи играют наземные подспутниковые измерения отражающих и рассеивающих характеристик исследуемой среды, обеспечивающие достоверность интерпретации полученных изображений. В настоящей работе представлены экспериментальные результаты отражающих свойств лесной среды на частоте 10 ГГц, полученные на основе оригинальной методики.

Определение коэффициента обратного рассеяния от лесного покрова.

Эксперименты проведены на базе твердотельного наносекундного радара, представляющего собой радиолокационную систему в виде передвижного лабораторного макета для полевых исследований. Радар предназначен для генерации, излучения, приёма наносекундных СВЧ - импульсов трёхсантиметрового диапазона, а также их регистрации и анализа в целях исследований в области ближней приповерхностной радиолокации.

Одним из основных параметров уравнения дальности в радиолокации является коэффициент обратного рассеяния σ^0 цели. Существует достаточно много методов расчета σ^0 элементарных объектов для узкополосных гармонических зондирующих сигналов. В связи с развитием короткоимпульсной радиолокации актуальным становится вопрос об оценке σ^0 объекта такими сигналами. Новые возможности для определения σ^0 природных объектов (березовый лес, травяной покров) с помощью наносекундного радара исследованы при проведении экспериментальных работ в условиях сильнопересеченной местности.

Измерения проведены в различные сезоны года летом (июнь), и осенью (ноябрь), т.е. когда состояния травяного и лиственного покрова резко отличаются. При проведении измерений радар был установлен на гребне горы на отметке по высоте 630 метров над уровнем моря, исследуемые объекты (лес, открытая поляна с травяным

покровом) расположены ниже в долине ручья на высоте 580 метров над уровнем моря (по данным Google Earth). Общий вид на исследуемую поверхность с точки установки радара приведен на рис.1. С этой позиции проведено 4 сеанса измерений, при этом климатические условия менялись незначительно. Для каждого сеанса проводилась дополнительная калибровка относительно свободного пространства.



Рис.1. Общий вид исследуемой поверхности.

Данные всех измерений представлены на рис.2 в виде графика зависимости уровня входного сигнала от времени в пересчете на дальность. Первые пики сигнала на расстояниях 60-90 метров соответствуют отражениям от немногочисленной группы сосен на склоне горы, далее на расстоянии 200 метров наблюдаются отраженные сигналы от отдельного участка березового леса. На рис.1 этот участок находится в левой части фотоснимка. Исследуемые объекты - открытая поляна и участок березового леса – расположены соответственно в центре фотоснимка и выше.

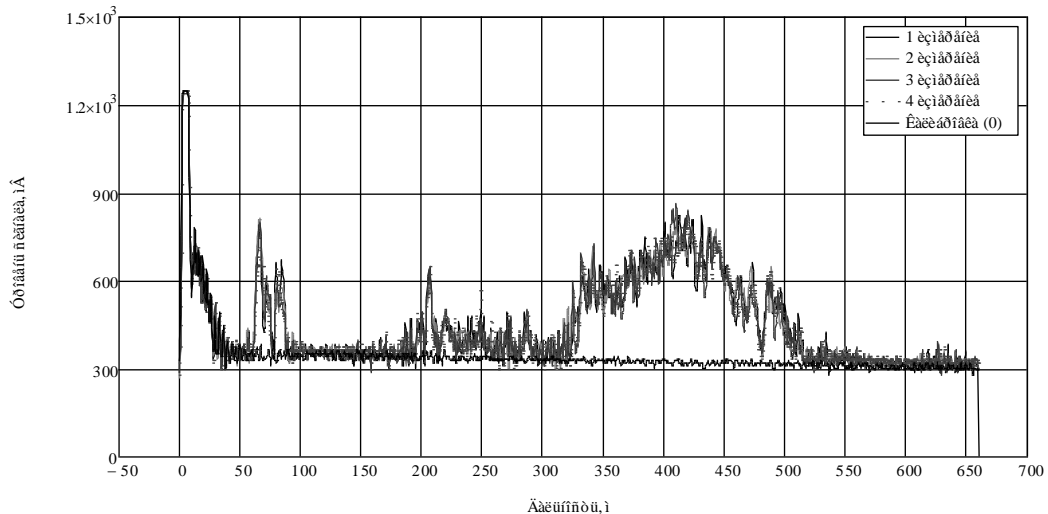


Рис.2. Графики отраженных сигналов всех регистраций.

Как следует из экспериментальных осциллограмм отраженные сигналы от травяного покрова, наблюдаются на расстояниях от 220 до 320 метров, что соответствует реальной протяженности поляны в этом направлении. Сильные флуктуации отраженного сигнала объясняются местными неровностями с высокими травяным покровом (разнотравье со средней высотой покрова около 40 см). Далее идет рассеянный сигнал от леса, причем огибающая имеет достаточно сложный вид. Это объясняется следующим. С краю поляны вдоль ручья проходит полоса березового леса с высокой плотностью $\sim 0,2$ дер./м², затем идет участок разреженного леса и далее березовый лес со средней плотностью $\sim 0,1$ дер./м². Необходимо отметить наличие

сильного подроста и кустарника, особенно с краю леса. Исходя из этих условий для определения усредненного значения σ^0 леса взят участок осциллограммы от 370 до 450 метров. Здесь также наблюдается сильная изрезанность, обусловленная переотражением от отдельных деревьев. Из множества пространственных масштабов когерентности наиболее характерным является размер кроны деревьев. Отметим, что лес расположен на относительно ровной поверхности. Характерной особенностью данного сигнала является «подъем» уровня сигнала с одновременным уменьшением флуктуаций

Экспериментальные осциллограммы представляют значения рассеянного сигнала в каждый момент времени. Используя вольт-ваттную характеристику приемника радара, можно перевести эти значения в уровень мощности входного сигнала в дБ/Вт, которая соответствует энергии рассеянного сигнала.

Для определения величины σ^0 исследуемых участков используем следующее соотношение:

$$\sigma^0(\theta), \text{дБ} = 10 \lg [S_{np}(\theta) / \sigma_M \times P_{np}(\theta) / P_M], \quad (1)$$

где $S_{np}(\theta)$ - площадь облучаемого участка поверхности,

σ_M - ЭПР калибровочной мишени,

P_{np} - усредненная мощность принятого сигнала от участка поверхности,

P_M - мощность принятого сигнала, отраженного от калибровочной мишени.

Площадь облучаемого участка с учетом угла θ определяется известным выражением [2]:

$$S_{np}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{c\tau_u}{2} \theta_r R \frac{1}{\cos \theta}, \quad (2)$$

где $\theta_r, \text{рад}$ - ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости по уровню половинной мощности,

$R, \text{м}$ - расстояние до центра участка,

$\theta, \text{град}$ - угол места,

τ_u - длительность импульса.

Ширина диаграммы направленности приемо-передающей параболической антенны с диаметром зеркала 600 мм равна 5^0 по уровню 3 дБ. Это определяет пространственное разрешение в поперечном направлении: порядка 9 метров на удалении 100 метров и 17,5 метров на удалении 200 метров.

Для определения параметра P_M , входящего в выражение (1), проведены дополнительные калибровочные измерения. Калибровочная мишень представляет собой трехгранный уголкового отражатель с размером каждого ребра 90 см. Методика калибровочных измерений состояла в следующем. Радар устанавливался на высоте 4 метра, а уголкового отражатель соответственно на высоте 0,5 метра от относительно ровной поверхности земли. При этом уголкового отражатель ориентировался максимумом своей диаграммы обратного рассеяния на радар, а уровень отраженного сигнала определялся по его максимальному значению. Значения уровня отраженного сигнала от уголкового отражателя регистрировались на расстояниях 50, 100, 150, 200 и 300 метров (рис.3). Точками на графике обозначены результаты других независимых экспериментов. Здесь же приведены значения уровней отраженных сигналов от поверхности земли, в общем случае представляющих фоновый сигнал. Таким образом, уровень отраженного сигнала от уголкового отражателя определяется линейной

зависимостью от расстояния (на рис.3 показан пунктирной линией). ЭПР уголкового отражателя σ^0 рассчитывается по известной формуле и составляет 3052 м^2 при длине волны 3 см. Для расчета ЭПР исследуемых участков используем средние значения уровней отраженного сигнала, которые составляют 387 мВ для травяного покрова и 682,8 мВ – для березового леса соответственно при средних дальностях 260 метров и 410 метров. Согласно выражению (1) по результатам измерений для травяного покрова $\sigma^0 = -11,4 \text{ дБ}$ и для лиственного леса $-9,3 \text{ дБ}$.

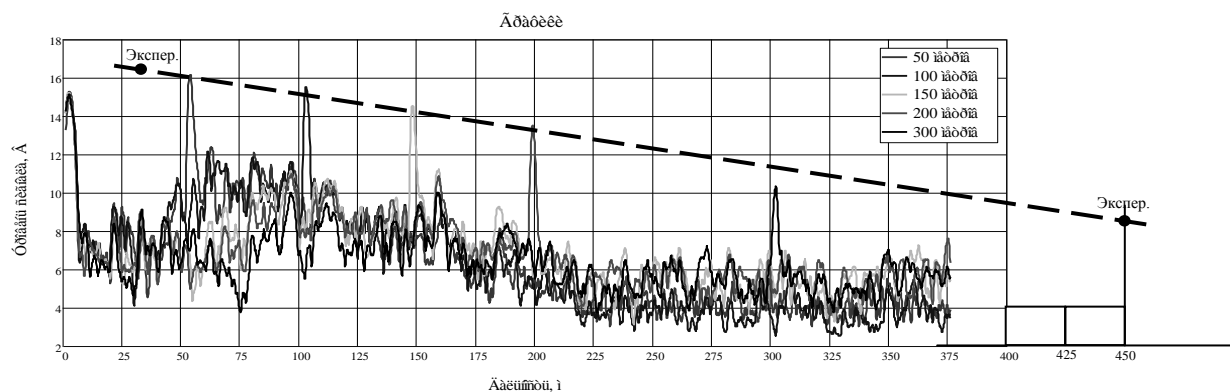


Рис.3. Данные калибровочных измерений.

Результаты измерений проведенных в этой же местности в осеннее время, но под другим ракурсом, представлены на рис.4. При измерениях дополнительно использован уголкового отражателя ($l=0,9 \text{ м}$) для калибровки сигнала. Аналогично определялся средний уровень сигнала от поверхности земли в отсутствие травяного покрова и от леса (деревья без листвы).

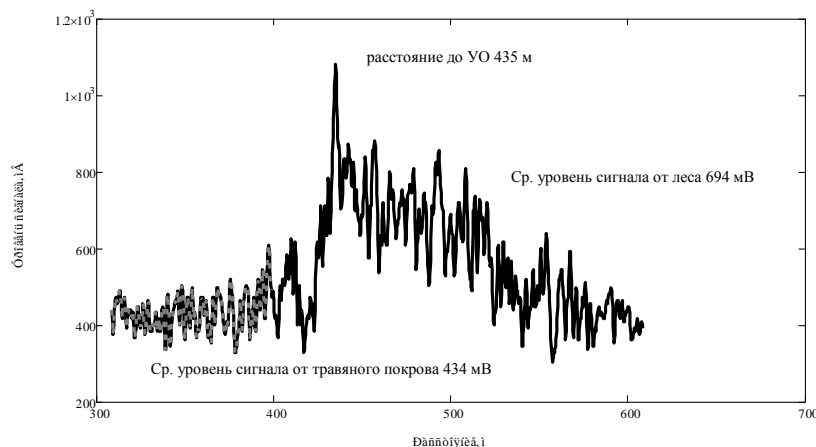


Рис.4. Калибровка сигнала с использованием уголкового отражателя

Коэффициент обратного рассеяния определялся по методике описанной выше. Выявлено, что σ^0 для леса составил $-7,7 \text{ дБ}$, а для поверхности земли $-9,4 \text{ дБ}$ соответственно. Таким образом, в обоих случаях наблюдается увеличение обратного отражения, по сравнению с данными летних измерений, т.е. наличие листвы и травяного покрова приводит к уменьшению величины отраженного сигнала.

Полученные результаты качественно согласуются с известными литературными данными. Так, в работе [3] приведены коэффициенты рассеяния леса, полученные с помощью калиброванной цифровой РЛС с синтезированной апертурой на длине волны 3 см. Для смешанного лиственного леса значение коэффициента рассеяния равно $-7,5 \text{ дБ}$. В работе [4] моделировалось обратное рассеяние от березового леса в

возрасте ~ 60 лет со средней высотой 10-12 метров и средним диаметров стволов 15-17 см. Эти параметры близки к исследуемому участку леса. Рассчитывались коэффициенты σ^0 отдельно для веток, листвы, сухой и влажной почвы и суммарный коэффициент в зависимости зеленой фитомассы. Общий вывод работы [4] заключается в том, что с уменьшением длины волны значение коэффициента обратного рассеяния возрастает. Здесь наименьшая рассматриваемая длина волны составляла 20 см, а $\sigma^0 = -8$ дБ. Сделано заключение, что вклад веток в общее отражение не велик и при объединении с листьями общее обратное отражение становится меньше. Подчеркивается, что этот эффект существенен на более коротких волнах вследствие большего поглощения в листве.

Литература

1. Скосырев В.И., Осипов М.С., Особенности и свойства короткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение- 1999. - №4. – с.21-30.
2. Теоретические основы радиолокации /Под ред. Я.Д. Ширмана. М.:Сов. Радио, 1970,- 560с.
3. E.S. Kasichke, R.W. Larson. Calibrated X- and L-band scattering coefficient from a southern US forest // Proc. IGARSS'86, Zurich, 8-11 Sept., 1986, P.895-901
4. Козырев В.В., Косолапов В.С. Определение биомассы лесной растительности по радиолокационным измерениям со спутников // Исследование Земли из космоса. 2005. №3. с.73-85.