

Рассеивающие свойства лесных сред на частоте 10 ГГц

Б.В. Содномов, Б.Ч. Доржиев, О.Н. Очиров

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8 E-mail: anstatt@yandex.ru

На основе экспериментальных исследований и разработанной методики определения удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) получены угловые зависимости УЭПР для двух типов лесов. Измерения проведены на базе измерительной установки с несущей частотой 9,95 ГГц и длительностью импульса 9 нс. Выявлено отсутствие поляризационной зависимости УЭПР в случае сверхкороткоимпульсной радиолокации.

Based on experimental studies and developed technique of determining the specific effective radar cross-section (SERCS), angular dependences of SERCS were obtained for two types of forests. Measurements were carried out based on measuring installation with carrier frequency 9.95 GHz and pulse duration of 9 ns. The absence of polarization dependence of SEPCS in case of ultra short pulse radiolocation.

Введение

Теоретическим исследованиям по обратному рассеянию радиоволн СВЧ земной поверхностью посвящено большое количество работ. Подробный анализ электродинамических моделей рассеяния от различных поверхностей Земли приводится в [1]. Как указывается в данной работе, при решении задач в области дистанционного зондирования большое внимание уделяется вопросам дальнейшего повышения точности измерений и разрешающей способности, а также достоверности интерпретации полученных данных. Для решения задач интерпретации используются модели описания различных природных сред, формирующих случайные поля и определяющих их энергетические и статические характеристики. Принимая во внимание, что до настоящего времени пока не разработаны абсолютно корректные модели рассеяния от лесных сред, и исходя из общих тенденций дистанционного зондирования, особый интерес для практического применения представляют экспериментальные исследования отражающих и рассеивающих свойств таких сред. Необходимо развитие эмпирических моделей, основанных на экспериментальных результатах рассеяния от лесных покровов различных типов. Основанием этих моделей является статистическая обработка целенаправленных экспериментов, в результате которых устанавливаются корреляционные связи усредненных измеренных величин и искомых параметров в виде коэффициентов регрессии.

Постановка эксперимента

Для решения задачи определения угловой зависимости ЭПР от лесной среды были проведены измерения с использованием радара, установленного на высотном подъемнике на базе автомобиля. Высота подъема в рабочем положении составила 30 метров, что обеспечивало рабочий диапазон углов падения от 60° до 88°. Общий вид измерительной установки показан на рисунке 1. На рисунке 2 – компоновка радара в корзине подъемника.

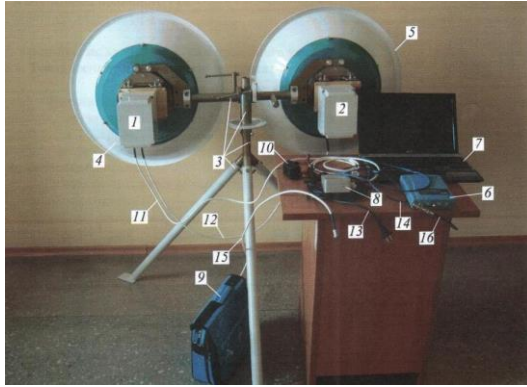


Рис. 1. Общий вид измерительной установки



Рис. 2. Компонировка радара в корзине подъемника

Наносекундный радар, разработанный Институтом сильноточной электроники СО РАН, предназначен для генерации, излучения и приема СВЧ-импульсов трехсантиметрового диапазона. В состав измерительного комплекса входят передатчик, приемник, опорно-поворотное устройство, передающая и приемная антенны, USB-осциллограф, ноутбук и аккумуляторный источник питания.

Основные технические характеристики передатчика: несущая частота 9,95 ГГц, длительность импульса – 9 нс, частота повторения импульсов – 5 кГц, номинальная пиковая мощность импульсов – 30 Вт. Питание передатчика в полевых условиях осуществляется от батареи напряжением +24 В. Приемник выполнен по схеме гетеродинного усиления с устройством защиты от высокого уровня мощности. Основные технические характеристики приемника: центральная частота полосы усиления – 9,95 ГГц, уровень собственных шумов – -110 дБ/Вт, полоса пропускания – не менее 100 МГц. Имеется ступенчатая регулировка усиления СВЧ-тракта через 10 дБ: 0, 10, 20 и 30 дБ. Динамический диапазон с регулировкой усиления – 70 дБ. Антенная система приемного узла включает передающую и приемную антенны и опорно-поворотное устройство, что дает возможность вращения антенны по азимуту и углу места. Каждая антенна включает параболическое зеркало диаметра 640 мм и облучатель. Коэффициент усиления антенны составляет 33 дБ. Передающая и приемная антенна устанавливаются на отдельных кронштейнах с горизонтальной и вертикальной поляризацией излучаемой и принимаемой волн, соответственно. Это позволяет проводить измерения с различной поляризацией, в том числе и при взаимно ортогональной поляризации этих волн.

При проведении измерений подъемник был поднят на максимальную высоту 30 метров. Механический поворот угла наклона корзины позволил обеспечить диапазон углов падения от 60° до 88°, т.е. практически до области скользящих углов. Регистрация отраженного сигнала проводилась при определенных углах падения 4 раза и проводилось его усреднение.

Измерения проводились над участком смешанного леса, с преобладающими породами – береза, ель. На рисунке 3 показан общий вид на исследуемый объект. Верхний полог леса представляет сильно шероховатую поверхность, обусловленную строением леса. Параметр шероховатости для березового леса оценивается как $\pm 0,5$ м относительно средней высоты леса, в то время как для ели этот параметр достигает больших величин.

Аналогичные измерения проведены на другом участке, поросшим редким сосновым подлеском (рисунок 4). Высоты деревьев меняются от одного до двух

метров, плотность варьируется в широких пределах из-за сильной неоднородности покрова от 0,04 до 0,6 дер./м².



Рис. 3. Общий вид первого тестового участка



Рис. 4. Общий вид второго тестового участка

Экспериментальные результаты

Экспериментальные результаты, полученные при данных измерениях, представлены на рис. 5. Отдельная осциллограмма представляет график зависимости отраженного сигнала от времени его прихода. Значения уровня сигнала в мВ отложены по вертикальной оси, по горизонтальной оси – время отклика сигнала. По третьей оси – те же осциллограммы при указанных углах падения. Как следует из приведенных графиков до углов падения порядка 80°, наблюдается достаточно высокий уровень отраженного сигнала, локализованный в области, ограниченной острой диаграммой направленности приемной антенны. При углах падения более 80° форма отраженного сигнала начинает изменяться, что обусловлено большей освещаемой площадью. Для определения УЭПР использовано следующее соотношение [3]:

$$\sigma^0(\theta), dB = 10 \cdot \lg[S_{av}(\theta) / \sigma_c \times P_{av}(\theta) / P_c], \quad (1)$$

где $S_{av}(\theta)$ – площадь облучаемой поверхности;

σ_c – ЭПР калибровочной мишени;

$P_{av}(\theta)$ – усредненная мощность принятого сигнала;

P_c – мощность принятого сигнала от калибровочной мишени.

В качестве калибровочной мишени были использованы трехгранные уголкового отражатели, имеющие широкую диаграмму обратного рассеяния.

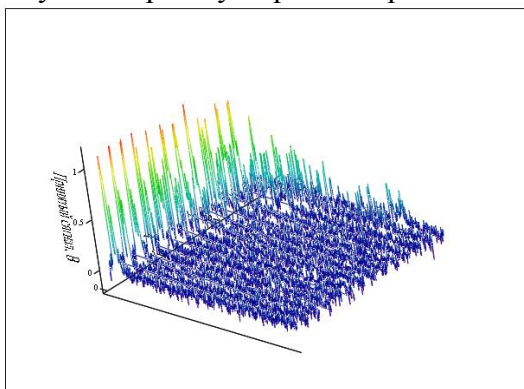


Рис. 5. Графики отраженного сигнала всех измерений при углах падения от 60° до 88°

Площадь облучаемого участка с учетом угла падения θ определяется известным выражением [4]:

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

где θ_r , рад – ширина диаграммы направленности антенны по уровню 3 дБ;

τ_i – длительность импульса;

R – расстояние до центра участка.

Для перевода уровня принятого сигнала в вольтах в уровень входного сигнала по мощности использована вольт-ваттная характеристика приемника радара.

На рисунках 6,7 показаны угловые зависимости УЭПР, полученные от смешанного леса и подлеска при различных поляризациях, а также от почвенного покрова (рисунок 8), состоящего, в основном, из смеси песка и суглинка.

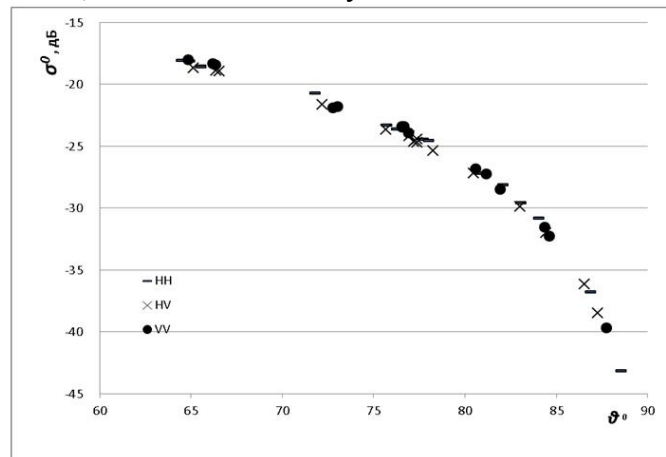


Рис. 6. Угловая зависимость σ^0 для смешанного леса

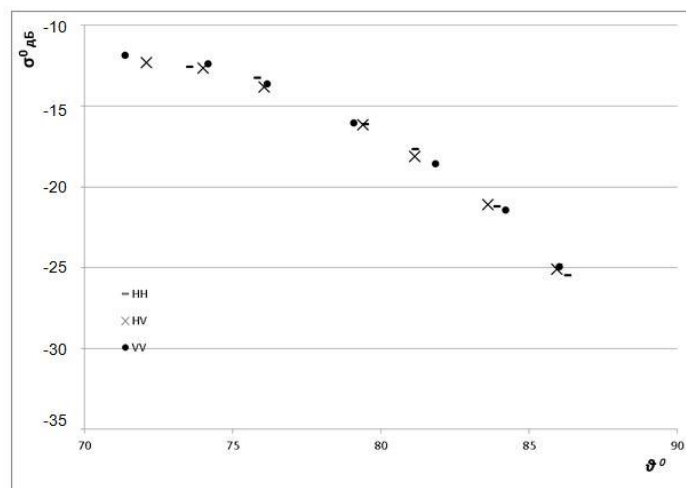


Рис. 7. Угловая зависимость σ^0 для соснового подлеска

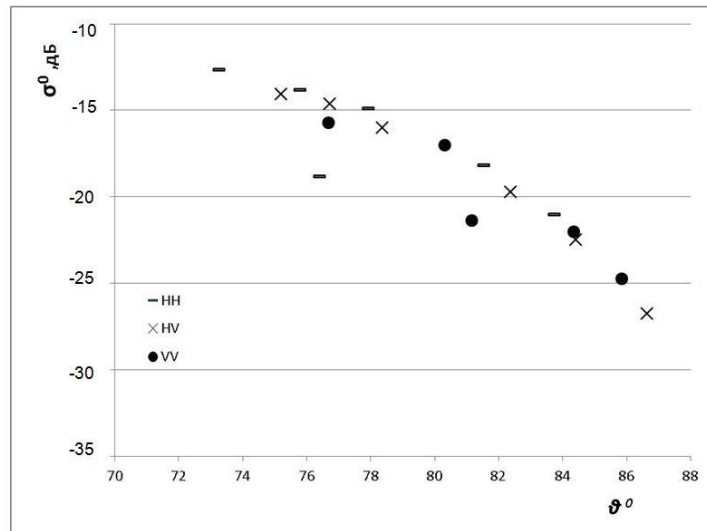


Рис. 8. Угловая зависимость σ^0 для почвенного покрова

Особенностью зондирования лесов в случае сверхкороткоимпульсной радиолокации является то, что для обоих типов лесов поляризационные свойства лесов выражены весьма слабо. Для земных поверхностей, покрытых растительностью, меньшую удельную ЭПР имеют слабые растительные покровы, для которых отражение главным образом обусловлено поверхностью почвы. При этом, как указано в [1], при углах скольжения более 50° - 60° удельная ЭПР таких поверхностей сравнима с σ^0 полей без растительности. Однако полученные данные показывают, что при углах скольжения менее 20° вклад даже такого растительного покрова как редкий подлесок более существенен и удельное ЭПР увеличивается примерно на 4 дБ по сравнению с той же поверхностью без растительности.

Вывод

Предложенный метод позволяет рассчитать УЭПР лесного и почвенного покровов для углов падения более 60° , в том числе и при подспутниковых измерениях. Угловые зависимости качественно совпадают с ранее предложенными эмпирическими моделями.

Литература

1. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации : [монография] / В. К. Волосюк, В. Ф. Кравченко ; под ред. В. Ф. Кравченко. – М. : Физматлит, 2008. – 704 с.
2. Радиолокационные методы исследования Земли / Под. ред. Ю.А. Мельника. – М.: Сов. радио, 1980. – 262 с.
3. Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н., Климов А.И. Метод оценки УЭПР природных объектов в X-диапазоне // Ползуновский вестник, 2012. – №2/1. – с.200-203.
4. Теоретические основы радиолокации: [монография] / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.