УДК 629.79.087

Е.Д.Тельпуховский, В.П.Якубов

Томский университет

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ПОЛОГА

В настоящее время отмечается все возрастающая роль аэрокосмических информационных технологий, основанных на применении радиотехнических систем в микроволновом диапазоне радиоволн, в решении задач охраны окружающей среды, в частности, в оценке биологического и экологического состояния бореальных лесов планеты. Для адекватной оценки состояния лесного покрова по данным аэрокосмического зондирования необходима электрофизическая модель лесного полога. Описаны экспериментальные результаты сверхширокополосного радарного зондирования «эталонной сцены» лиственничного полога, которые могут стать исходными данными для построения электрофизической модели лесного полога.

At present the all-increasing role of aerospace informational technologies, based on the application of microwave radio systems to solve environmental protection problems and to estimate biological and ecological state of boreal forests in particular is noted. For the forest cover state adequate estimation, based on aerospace probing data the electro physical model of forest massif is required. The experimental results of larch forest "standard scene" ultra wideband radar probing are presented hereinafter. The experimental data can be used as a basis for the forest cover electro physical model construction.

Лесная среда в общем случае представляет собой сложную для распространения радиоволн неоднородную среду, стандартные подходы к описанию которой не вполне приемлемы. Лесной полог является композиционной средой, включающей в себя как непрерывные, так и дискретные образования, взаимодействие электромагнитного излучения с которыми существенно различно.

Описание лесного полога как слоистой случайно-неоднородной среды, характеризующейся эффективной диэлектрической

проницаемостью, хотя и дает достаточно точные решения прямой задачи дистанционного зондирования и обратной задачи определения средней высоты древостоя, представляет определенные трудности для практического использования. Эти трудности связаны с методическими возможностями установления функциональной (статистической) связи диэлектрической проницаемости с биометрическими (лесотаксационными) параметрами лесного покрова для больших территорий, что обусловлено слабым пространственно-временным разрешением узкополосных радаров. Поэтому было решено использовать сверхширокополосное радарное зондирование лесного полога, при котором исключаются практически все трудности в интерпретации результатов зондирования, присущие зондированию узкополосными системами. Сверхширокополосные радары в микроволновом диапазоне радиоволн позволяют получать разрешение по дальности в несколько сантиметров и по азимуту в несколько метров. Таким образом, область формирования отклика лесного полога на зондирующий импульс сужается по площади до нескольких квадратных метров с точностью пространственной привязки самой области формирования отклика в несколько сантиметров. Определение биометрических (лесотаксационных) параметров древостоя на указанных площадях не представляет трудностей. Это позволяет получить необходимый набор параметров для разработки адекватной электрофизической модели лесного полога и, в конечном счете, решения обратной задачи дистанционного зондирования – восстановления биометрических (лесотаксационных) параметров лесного полога.

Был разработан и изготовлен действующий макет сверхширокополосного радара с длительностью импульса $\tau_и = 1{,}5$ нс и длительностью фронтов $\tau_ф = 0{,}1$ нс, что позволило сформировать спектр зондирующего сигнала с шириной полосы частот $\Delta f = 2{,}5$ ГГц. Испытания сверхширокополосного радиолокатора проведены в августе 2002 г. на полигоне Института леса им. В.Н.Сукачева Красноярского научного центра СО РАН.

Радиолокационный комплекс располагался на металлической вышке на высоте 25 м над поверхностью земли. Передающая и приемная антенны параболического типа имели диаметр 1,6 м. в качестве облучателей использовались сверхширокополосные излучатели собственного изготовления с полосой пропускания 1-12 ГГц при обеспечении КСВН не выше 1,2. Выбранное расположение приемопередающих антенн обеспечивало полную имитацию аэрокосмической схемы зондирования. Для зондирования был выбран однородный лиственничный лес высотой около 18 м. Для проведения калибровочных измерений использовался уголковый отражатель размером 1 × 1 × 1 м.

В ходе проведенных экспериментов были получены радиолокационные отклики лесного покрова на наносекундные импульсные сигналы (рис.1). Разностный сиг-

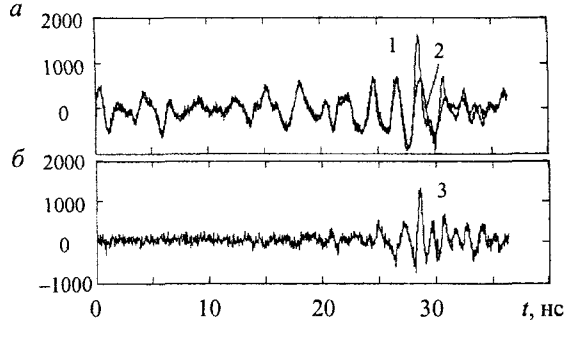


Рис.1. Радиолокационные отклитки лесного полога (*а*) и разностный сигнал (*б*) в относительных единицах

1 и 2 - с уголковым отражателем и без него

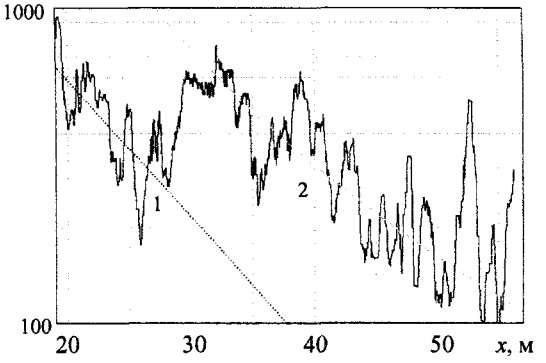


Рис.2. Рассчитанная амплитуда сигнала (скользящее ускорение 5 нм)

нал может быть соотнесен с вкладом в общую картину только уголкового отражателя. Видно, что сигнал от сосредоточенной цели (уголкового отражателя) отчетливо выделяется в шумах измерений, имеет характерную структуру знакопеременного уравновешенного сигнала. Этот сигнал характеризует собой форму инвертированного зондирующего импульса. Длительность сигнала 2-3 нс, что соответствует протяженности импульсного объема в 60 см. При таком разрешении окружающие уголковый отражатель отклики лесного полога могут быть отнесены к вкладам, вносимым отдельными деревьями.

Для оценки ослабления излучения по мере погружения импульса в лесной полог были проведены измерения импульсного отклика по всей его толще до уголкового отражателя. Для оценки амплитуды сверхширокополосного рассеянного сигнала была использована теория аналитического сигнала с пересчетом временного запаздывания в радиолокационную дальность x (рис.2). Видно, что в среднем можно выделить два участка. На первом участке (до 27 м) ослабление носит преимущественно экспоненциальный характер. В полулогарифмическом масштабе этому соответствует прямая 1. Ослабление оценивается в 20 дБ на 100 м. Физически этому соответствует ослабление излучения при прямом прохождении лесной толщи как поглощающей и рассеивающей среды.

Второй участок (после 37 м) описывается степенным законом ослабления с показателем степени –3 (кривая 2). Такому характеру изменения, как ранее показано теоретически и экспериментально подтверждено другими данными, соответствует распространение сигнала через вершины крон деревьев, когда излучение до очередного отражающего дерева доходит за счет боковой волны.

Между первым и вторым участками (от 27 м до 37 м) работают оба механизма распространения волн и сигналы интерферируют. Возникает сильно изрезанная картина ослабления, имеющая множество пространственных масштабов когерентности, наиболее характерным их которых является размер кроны деревьев (около 2-4 м в диаметре).

Полученные результаты имеют принципиальное значение для обработки и интерпретации данных аэрокосмомониторинга.