

УДК 621.396.96.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

А. Ю. Ветлужский, В. П. Калашников

Институт физического материаловедения СО РАН

Статья получена 5 августа 2014 г.

Аннотация. В работе исследовано влияние разной по структуре и видовому составу растительности на распространение широкополосного сигнала, представляющего собой последовательность видеоимпульсов наносекундной длительности. Выявлены существенные различия в изменении спектра импульсного сигнала при прохождении через различные типы лесного покрова.

Ключевые слова: широкополосное радиопросвечивание, импульсные сигналы, спектр, лесная растительность.

Abstract. In this paper the influence of different vegetation structure and species composition on the propagation broadband signal from a sequence of video pulses of nanosecond duration. Significant differences in the change of the spectrum of the pulse signal when passing through different types of forest cover.

Key words: broadband radio sounding, pulse signals, spectrum, forest vegetation.

1. Введение

Недостатком многих современных радиотехнических систем является их узкополосность, что ограничивает количество информации, передаваемой такими системами в единицу времени. В то же время необходимость увеличения объёма информационных потоков постоянно растет. Поэтому всё большее внимание уделяется повышению информативности радиоэлектронных систем за счет расширения рабочей полосы частот и использования сверхширокополосных сигналов. Такие сигналы применяются также для радиозондирования земной поверхности, атмосферы, растительных сред и т.д. [1-3], поэтому задача

изучения влияния различных природных сред на распространение широкополосных сигналов в настоящее время является актуальной в силу непосредственного практического применения результатов подобных исследований.

Целью настоящей работы является представление и анализ результатов экспериментального исследования взаимодействия широкополосного сигнала с разной по структуре и видовому составу растительностью.

2. Постановка эксперимента

В качестве объектов исследования были выбраны следующие типы растительного покрова. Первый – сосновый лес с плотностью древостоя $0,07 \text{ м}^{-2}$, средняя высота и диаметр стволов деревьев составляли 16 и 0,22 м соответственно, кроны деревьев располагались на практически вертикальных стволах на расстоянии около 3,5 м от земли, высокая трава и кустарники отсутствовали. Второй – смешанный лес, состоящий преимущественно из березы и сосны плотностью $0,04 \text{ м}^{-2}$, средняя высота и диаметр стволов 14 и 0,18 м соответственно, присутствовало множество молодых деревьев и кустарников высотой около 3 - 5 м.

В качестве широкополосного сигнала использовалась последовательность видеоимпульсов. Выбор параметров импульсов (период 40 нс, длительность 3,33 нс) был обусловлен тем, что при этом длина волны части спектральных составляющих сигнала, соответствующих низкочастотной части УКВ диапазона, была близка к характерным размерам растительной среды. Поскольку предполагается, что основным фактором влияния на сигнал со стороны леса при наземном расположении антенн является рассеяние на стволах, под характерным размером здесь подразумевается среднее расстояние между деревьями. Таким образом, часть гармоник выбранного сигнала приходилась на резонансную область частот для исследуемых в работе взаимодействий между растительностью и импульсным излучением.

Для радиопросвечивания леса использовалось следующее оборудование: передатчик - генератор наносекундных импульсов Г5-72, приемная и передающая антенны - полуволновые симметричные вибраторы, приемником являлся анализатор спектра ИТ-08 сопряженный с ноутбуком.

Антенны в ходе проведения экспериментов располагались на высоте 2 м над землей. Их ориентация обеспечивала вертикальную поляризацию излучения. Дистанционные зависимости поля определялись перемещением приемной антенны относительно передающей на дистанции до 35 м. Для статистической обеспеченности результатов исследования измерения проводились вдоль трёх различных трасс для каждого типа леса. При этом в пределах каждой трассы на каждой дистанционной отметке проводилось три измерения поперек трассы на расстоянии 1,5 м друг от друга. В свою очередь в каждой из этих точек за результат бралось среднее от 10 спектрограмм, записанных в течение некоторого интервала времени, для исключения влияния на результаты измерений ветрового воздействия на растительность. В итоге все полученные данные для каждой дистанционной отметки усреднялись.

Для выявления влияния именно растительности на прохождение сигнала проводилось сопоставление спектрограмм, полученных в лесной среде и на открытой местности (в поле). Поскольку эксперименты выполнялись на небольшом удалении от территорий, насыщенных иными радиосигналами, чтобы минимизировать влияние помех на результаты измерений все спектрограммы нормировались к уровню фоновых помеховых сигналов.

3. Результаты радиопросвечивания лесной растительности

На рис. 1 показана калибровочная спектрограмма, снятая на открытой местности (в поле, расстояние между антеннами 10 м), имеющей близкие к лесной характеристики подстилающей поверхности. На рис. 2 представлен спектр сигнала, снятый в первом типе леса.

Полученные данные демонстрируют существенную трансформацию спек-

тра исходного сигнала при прохождении через растительность, заключающуюся, в данном случае, в ослаблении как низкочастотных, так и высокочастотных гармоник в лесу в среднем на 15 – 20 дБ, которое объясняется рассеянием и – в меньшей степени – поглощением волн стволами деревьев. При этом можно отметить известную тенденцию [4] к увеличению затухания излучения в лесной среде с ростом частоты.

Однако на графиках можно выделить гармоники (на рис. 2 отмечены стрелками), соответствующие частотам 74 и 98 МГц, среднее затухание которых составляет всего около 5 дБ.

Такая же тенденция наблюдается на этих частотах и с увеличением дистанции между корреспондирующими пунктами. Так на рис. 3 и 4 показаны аналогичные спектры, полученные при пространственном разnose антенн на 30 м. Ослабление указанных гармоник по отношению к открытой местности в этом случае составляет всего лишь 2 дБ.

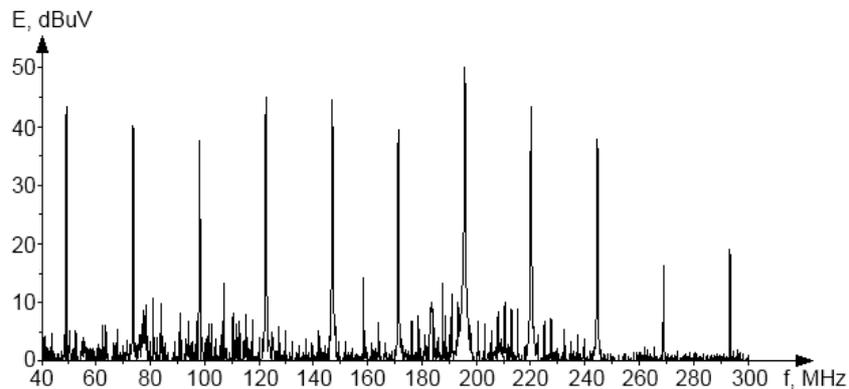


Рис. 1. Спектр сигнала, полученный на открытой местности (расстояние 10 м).

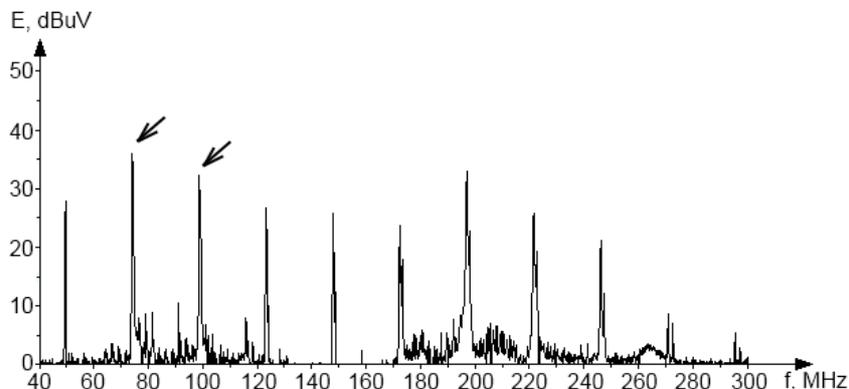


Рис. 2. Спектр сигнала, полученный в сосновом лесу (расстояние 10 м).

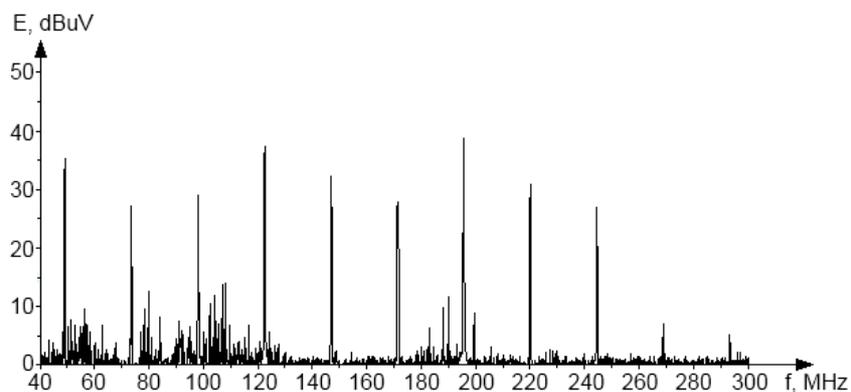


Рис. 3. Спектр сигнала, полученный на открытой местности (расстояние 30 м).

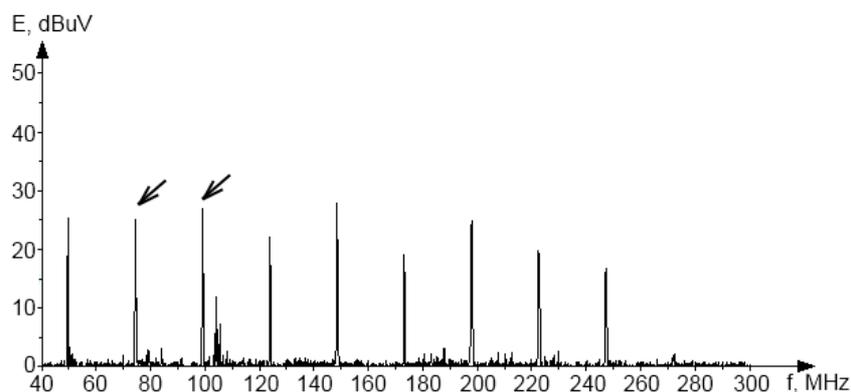


Рис. 4. Спектр сигнала, полученный в сосновом лесу (расстояние 30 м).

Такое влияние растительности на спектральный состав широкополосного сигнала указывает на резонансный характер взаимодействия отдельных спектральных составляющих сигнала с лесными средами, который проявляется, когда среднее расстояние между деревьями (около 3,5 м) оказывается сравнимо с длинами волн указанных гармонических составляющих.

Похожая ситуация наблюдалась и при радиопросвечивании импульсным сигналом смешанного леса на протяжении всей экспериментальной трассы, но в отличие от предыдущих результатов, меньшее затухание относительно открытой местности происходило на частотах 48 и 148 МГц. В качестве примера, на рис. 5 – 8 показаны аналогичные спектрограммы, которые были сняты на открытой местности и в смешанном лесу, при расстоянии между корреспондирующими пунктами 10 и 30 м. Такое влияние растительности на широкополосный сигнал объясняется преимущественно двухкомпонентным составом среды рас-

пространения. Здесь, как и в предыдущем типе леса, длина волны первой из указанных гармоник соответствует среднему расстоянию между стволами взрослых деревьев (около 6 м). Незначительное затухание высокочастотной гармоники ($\lambda = 2$ м) объясняется переотражением сигнала множеством низкорослых молодых деревьев, плотность произрастания которых ($0,2 - 0,25 \text{ м}^{-2}$) вновь позволяет говорить о близости длины волны к среднему расстоянию между рассеивателями.

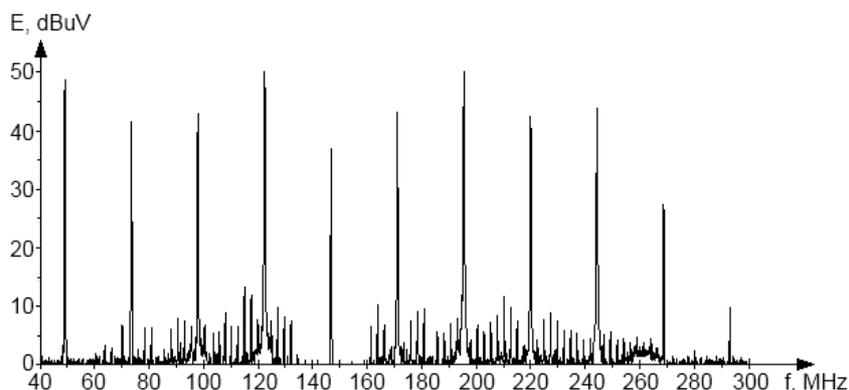


Рис. 5. Спектр сигнала, полученный на открытой местности (расстояние 10 м).

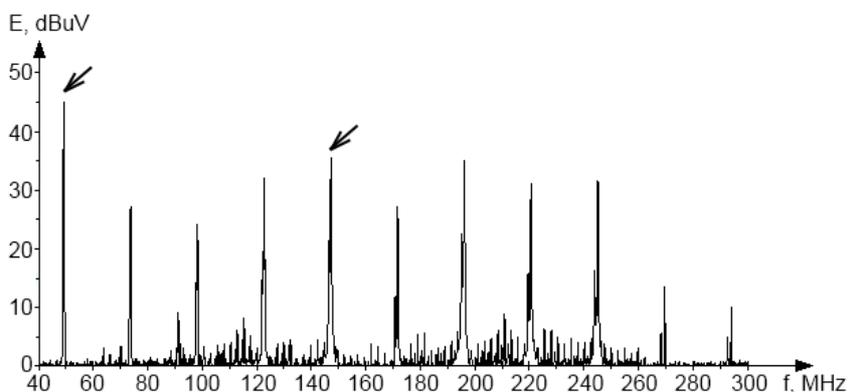


Рис. 6. Спектр сигнала, полученный в смешанном лесу (расстояние 10 м).

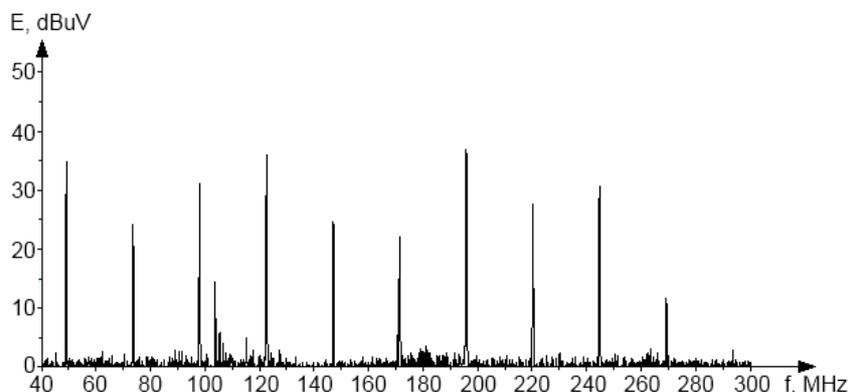


Рис. 7. Спектр сигнала, полученный на открытой местности (расстояние 30 м).

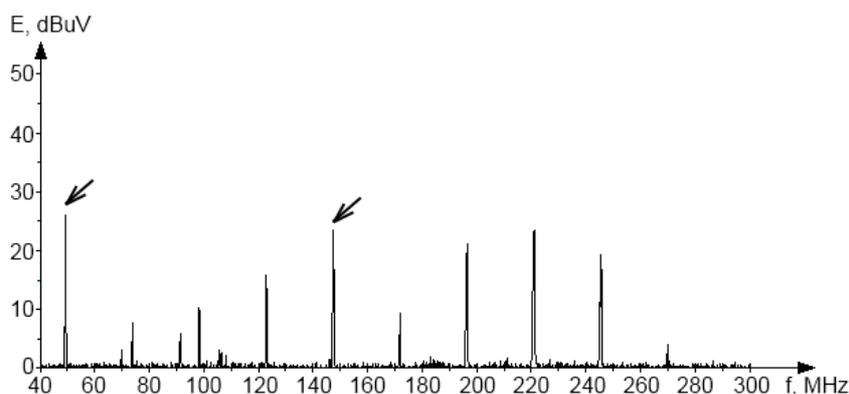


Рис. 8. Спектр сигнала, полученный в смешанном лесу (расстояние 30 м).

Причина возникновения подобных эффектов, по-видимому, заключается в следующем. Система случайно распределенных в пространстве рассеивателей, окружающих излучатель, в приближении однократного рассеяния в среднем всегда будет выступать в качестве фактора, препятствующего прохождению излучения вглубь среды. Именно такой тип рассеяния превалирует при крайне малых расстояниях между антеннами в лесу. Однако с увеличением дистанции двукратно рассеянные на стволах деревьев волны также начинают влиять на результат измерений. При этом именно в резонансной области частот и становится возможным возникновение каналов прохождения, в которых однократно рассеянные компоненты излучения частично компенсируются двукратными, приводя к уменьшению степени затухания излучения по сравнению с другими частотами. Действительно, допуская, что однократно рассеянная волна противофазна прямым волнам, при прохождении дополнительного расстояния, близкого к длине волны и выполнении еще одного акта отражения ее фаза, скорее всего, окажется близка к первичной волне. Разумеется, подобные эффекты могут проявляться на сравнительно небольших дистанциях распространения сигналов в лесу. При этом весьма важным оказывается и структурный состав растительности. В частности, в лесах с существенно искривленными стволами деревьев, с крупными низко расположенными ветвями малого затухания отдельных гармонических составляющих сигналов авторами не наблюдалось.

4. Выводы

Описанные результаты экспериментов демонстрируют существенные различия в изменении спектров импульсных сигналов при распространении в различных типах лесной растительности. Этот факт, на наш взгляд, может быть использован для разработки методов радиопросвечивания лесных покровов для выявления их внутренней структуры.

Работа поддержана грантом РФФИ №14-08-31447.

Литература

1. Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Миронов В.Л., Кашкин В.Б. Векторное радиопросвечивание лесного полога // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2002. №1. URL: <http://jre.cplire.ru/win/jan02/1/text.html>.
2. Болтинцев В.Б., Ильяхин В.Н., Безродный К.П. Метод электромагнитного импульсного сверхширокополосного зондирования подстилающей среды // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2012. №1. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jan12/14/text.html>.
3. Santos T., Karedal J., Almers P. et al. Modeling the ultra-wideband outdoor channel: measurements and parameter extraction method // IEEE Transaction on wireless communications. 2010. Vol. 9. №1. P. 282-290.
4. Рекомендация МСЭ-R P.833-5. Ослабление сигналов растительностью (Вопрос МСЭ-R 202/3). 2005. 13 с.