

УДК 621.396.96.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Ветлужский А.Ю., Калашников В.П.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ, Россия, vay@ipms.bscnet.ru

В работе описываются результаты экспериментальных исследований по радиопросвечиванию растительности широкополосными импульсными сигналами. Объектами исследования выступали смешанный лес и заросли кустарника ивы остролистной. Описанные результаты экспериментов демонстрируют существенное затухание исходного сигнала при прохождении через растительность, как на низких, так и на высоких частотах спектра видеоимпульсной последовательности, которое объясняется рассеянием и поглощением волн стволами деревьев и ветвями кустарника. Кроме того, при каждом типе растительности выявлены отдельные гармонические составляющие сигнала, среднее затухание которых значительно меньше затухания других гармоник. Такое влияние растительности на спектральный состав импульсного сигнала указывает на резонансный характер взаимодействия отдельных спектральных составляющих сигнала со средой распространения, который проявляется, когда среднее расстояние между деревьями оказывается сравнимо с длинами волн указанных гармоник. Полученные результаты демонстрируют существенные различия в изменении спектров прошедших импульсных сигналов в различных типах растительности. Это явление может быть использовано для разработки методов диагностики растительных сред.

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

EXPERIMENTAL STUDY OF VEGETATION ON THE PROPAGATION BROADBAND SIGNALS

Vetluzhsky A.Y., Kalashnikov V.P.

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia, vay@ipms.bscnet.ru

The paper describes the results of experimental studies on the radio sounding vegetation broadband pulsed signals. The objects of the study were mixed forest and willow bushes. These results of experiments show a significant attenuation of the original signal when it passes through the vegetation, both at low and high frequencies of the spectrum video pulse sequence is explained by the scattering and absorption by the tree trunks and branches of bushes. In addition, for each type of vegetation identified individual harmonic signal components, the average damping is significantly less attenuation of other harmonics. Such influence of vegetation on the spectral composition of the pulse signal indicates the resonant nature of the interaction of the individual spectral components of the signal propagation medium, which occurs when the average distance between trees is comparable to the wavelength indicated harmonics. These results demonstrate significant differences in the change of the spectrum passed pulse signals in different types of vegetation. This phenomenon can be used to develop diagnostic methods of plant media.

Keywords: broadband radio sounding, pulse signals, spectrum, forest vegetation.

Необходимость увеличения объема 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, 5, 6], поэтому задача изучения влияния различных природных сред на распространение широкополосных сигналов в настоящее время является актуальной в силу непосредственного практического применения результатов подобных исследований. Следует отметить, что достоверная интерпретация данных, получаемых с

помощью методов широкополосного зондирования земной поверхности, включая растительные среды, со спутников [2, 4] невозможна без проведения наземных измерений взаимодействия радиоизлучений с земными покровами. Кроме того, наземные исследования электродинамических свойств лесных сред имеют и самостоятельное прикладное значение, поскольку их результаты могут быть использованы как при разработке систем современной наземной радиосвязи, так и при построении теоретических моделей лесной среды.

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

Постановка эксперимента

Объектами исследования выступали следующие типы растительности. Первый – смешанный лес плотностью древостоя $0,05 \text{ м}^2$, состоящий преимущественно из березы, сосны, ели. Средняя высота и диаметр стволов 15 и 0,24 м соответственно, присутствовало множество молодых деревьев и кустарников высотой около 3 м. Второй – заросли ивы остролистной (верба), плотность произрастания кустарника $0,04 \text{ м}^2$, средняя высота и диаметр кроны кустов 4 м и 2,8 м соответственно.

В качестве широкополосного сигнала использовалась видеоимпульсная последовательность, параметры которой (период 40 нс, длительность 3,33 нс) были обусловлены тем, что 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 растительности при наземном расположении антенн является рассеяние на стволах деревьев, под характерным размером здесь подразумевается среднее расстояние между ними. Таким образом, часть гармоник выбранного сигнала приходилась на резонансную область частот для исследуемых в работе взаимодействий между растительностью и импульсным излучением.

В ходе экспериментальных исследований 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 располагались на высоте 2 м над землей, и их ориентация обеспечивала вертикальную поляризацию излучения. Дистанционные зависимости поля определялись перемещением приемной антенны относительно передающей на дистанции до 30 м. Для статистической обеспеченности результатов исследования измерения проводились вдоль трёх различных трасс для каждого типа растительности. 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.

В процессе обработки результатов исследования 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. Затем из спектра, полученного при радиопросвечивании растительности, вычитался спектр, полученный на открытой местности. Таким образом, достигалось выявление влияния именно растительности на прохождение импульсной последовательности.

Результаты радиопросвечивания растительности

На рис. 1, 2 представлены примеры спектрограмм широкополосного сигнала, полученные при радиопросвечивании смешанного леса на расстояниях 10 и 30 м соответственно. На этих и всех последующих рисунках малая амплитуда гармоники соответствует малому затуханию сигнала на данной частоте и наоборот. Следует отметить, что отсутствие гармоники на одной из частот спектра говорит только о том, что при радиопросвечивании растительности амплитуда сигнала в указанном диапазоне частот была сравнима с уровнем шума, и говорить о слабом затухании при прохождении отдельной гармоники здесь было бы некорректно.

Из анализа представленных данных видно, что на протяжении всей дистанции эксперимента происходило неравномерное затухание спектральных составляющих широкополосного сигнала. Существенное затухание исходного сигнала при прохождении через растительность можно отметить как на низких, так и на высоких частотах в лесу в среднем на 10–15 дБ, которое объясняется рассеянием и, в меньшей степени, поглощением волн стволами деревьев.

Однако на рис. 1 можно выделить гармоники, соответствующие частотам 48, 73 и 148 МГц, среднее затухание которых составляет всего около 3 дБ. Такая же тенденция наблюдается на этих частотах и с увеличением дистанции до 30 м (рис. 2) между корреспондирующими пунктами. Среднее затухание сигнала на указанных частотах по отношению к открытой местности в этом случае составляет всего лишь 6 дБ.

Такое влияние растительности на спектральный состав импульсного 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. Кроме того, сказался и двухкомпонентный состав среды распространения. Так, незначительное затухание высокочастотной гармоник ($\lambda=2$ м) объясняется переотражением сигнала множеством низкорослых молодых деревьев, плотность произрастания которых ($0,2 \text{ м}^{-2}$) также позволяет говорить о близости длины волны к среднему расстоянию между рассеивателями.

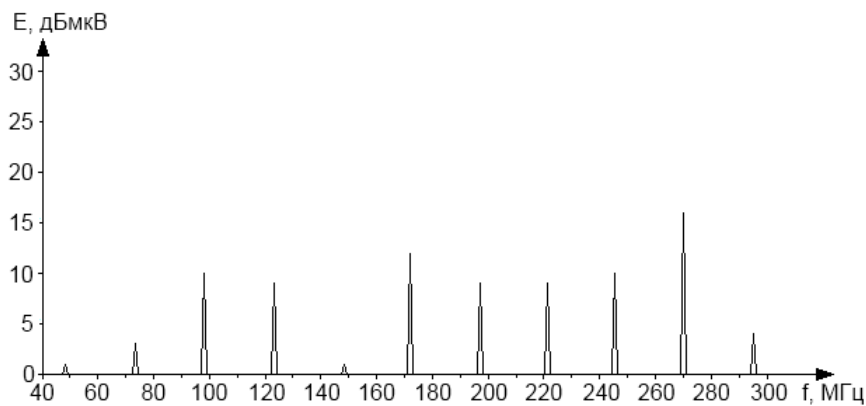


Рис. 1. Спектр сигнала, полученный в смешанном лесу (расстояние 10 м)

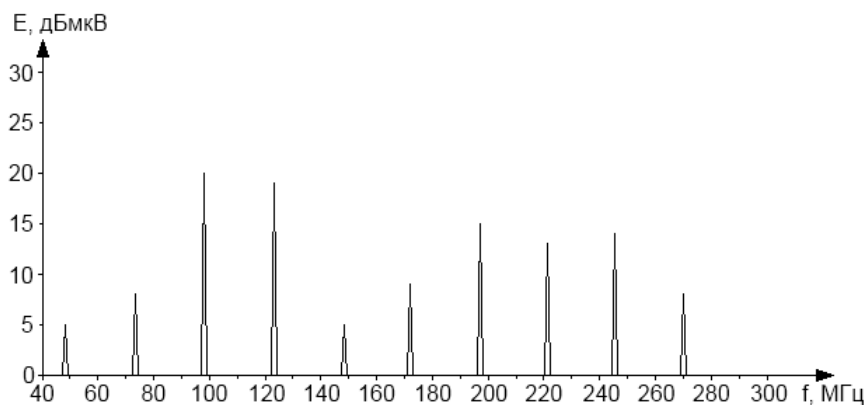


Рис. 2. Спектр сигнала, полученный в смешанном лесу (расстояние 30 м)

Похожие результаты были получены и при радиопросвечивании зарослей кустарника ивы (рис. 3, 4). Здесь, как и в предыдущем типе растительности, можно выделить гармонику частотой 48 МГц, затухание которой в спектре минимально. Среднее расстояние между кустарниками, как и в предыдущем случае, было сопоставимо с длиной волны указанной гармонической составляющей. В отличие от предыдущих результатов, здесь можно отметить существенное возрастание затухания спектральных составляющих во всём рассматриваемом диапазоне частот, что объясняется значительным рассеянием излучения ветвями кустарника.

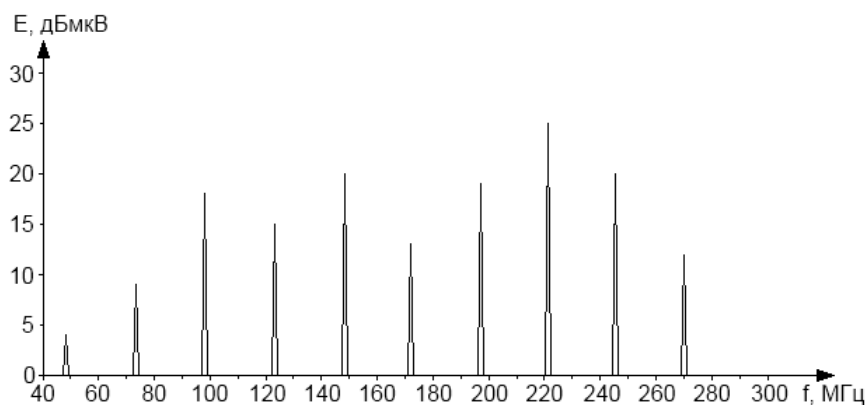


Рис. 3. Спектр сигнала, полученный в зарослях кустарника ивы (расстояние 10 м)

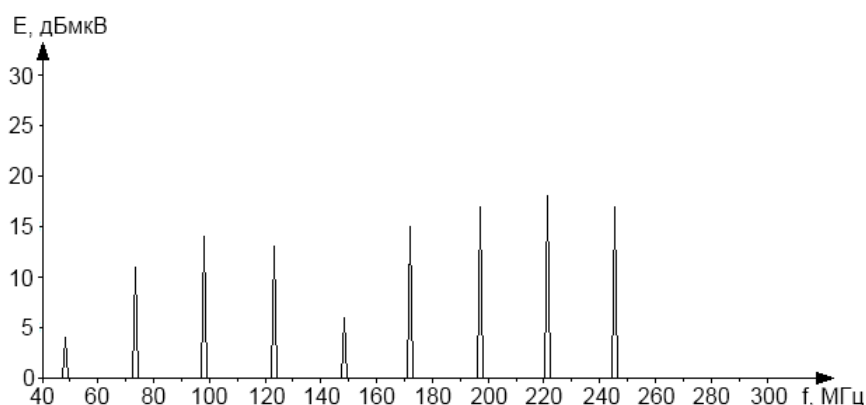


Рис. 4. Спектр сигнала, полученный в зарослях кустарника ивы (расстояние 30 м)

Возникновение подобных эффектов, на наш взгляд, может происходить по следующим причинам. 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 растительности, т.к. в природе даже на расстояниях порядка сотни метров структура растительности часто существенно меняется

Выводы

Описанные результаты экспериментов демонстрируют существенные различия в изменении спектров импульсных сигналов при распространении в различных типах 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.

Список литературы

1. 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>.
2. Жарко В.О., Барталев С.А. Оценка распознаваемости древесных пород леса на основе спутниковых данных о сезонных изменениях их спектрально-отражательных характеристик // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2014. – Т. 11, № 3. – С. 159-170.
3. Зеркаль А.Д., Вопросы практического использования системы ближней радиолокации на основе сверхкоротких импульсов с малым энергопотреблением // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – №1. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jan12/3/text.html>
4. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Ершов Д.В. и др. Спутниковый мониторинг лесов России. // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20, № 5. – С. 443-447.
5. Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Миронов В.Л. и др. Векторное радиопросвечивание лесного полога // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2002. – № 1. URL: <http://jre.cplire.ru/win/jan02/1/text.html>.
6. 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.

Рецензенты:

Ломухин Ю.Л., д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией радиозондирования природных сред, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ;

Чимитдоржиев Т.Н., д.т.н., зам. директора по научной работе, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии, г. Улан-Удэ.