

in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2010. Vol. 3, Iss. 1. Part 2. P. 100–110.

3. Can we measure snow depth with GPS receivers? / K. Larson et al. // Geophysical Research Letters. 2009. Vol. 36, Iss. 17. GL039430.

4. Soil Moisture Retrieval Using GNSS-R Techniques: Experimental Results Over a Bare Soil Field / N. Rodriguez-Alvarez et al. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing. 2009. Vol. 47, № 11. P. 3616–3624.

5. Чухланцев А. А., Шутко А. М., Головачев С. П. Ослабление электромагнитных волн растительными покровами // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48, № 11. С. 1285–1311.

6. Доржиев Б. Ч. Очиров О. Н. Определение эффективной проводимости леса в УКВ диапазоне // Известия вузов. Физика. 2010. № 11. С. 3–8.

References

1. M. Martín-Niera – ESA J., 1993, Vol. 17, pp. 331–355.
2. Zavorotny V. et al. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2010, vol. 3, no. 4, part 2, pp. 100–110.
3. Larson K. et al. Geophysical Research Letters, 2009, vol. 36, L17502, doi:10.1029/2009 GL039430.
4. Rodriguez-Alvarez N. et al. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2009, vol. 47, no. 11, pp. 3616–3624.
5. Chukhlansev A. A., Ghutko A. M., Golovachev S. P. Radiotekhnika I Electronika. 2003, vol. 48, no. 11, pp. 1285–1311.
6. Dorzhev B. Ch., Ochirov O. N. Izvestiya vuzov. Fizika. 2010, no. 11, pp. 3–8.

© Миронов В. Л., Михайлов М. И., Сорокин А. В., Музалевский К. В., Фомин С. В., 2013

УДК 621.396.96.01

ШИРОКОПОЛОСНОЕ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ*

А. Ю. Ветлужский, В. П. Калашников

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: vay@ipms.bscnet.ru

Описываются результаты экспериментов по радиопросвечиванию лесной растительности широкополосными импульсными сигналами. Отмечаются существенные отличия в изменениях спектров сигналов при взаимодействии с разными типами лесов.

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

WIDEBAND RADIO SOUNDING OF VEGETATION COVERS OF THE EARTH SURFACE

A. Yu. Vetluzhsky, V. P. Kalashnikov

Institute of Physical Materials Science of the Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
6 Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russia. E-mail: vay@ipms.bscnet.ru

The article describes the results of experiments on radio sounding of forest vegetation with wideband pulse signals. The authors give notice to significant differences in changes of spectra of signals at interaction with different types of forests.

Keywords: wideband radio sounding, pulse signals, spectra, forest vegetation.

В настоящее время методы радиопросвечивания широко используются при изучении физических свойств различных природных сред. Это относится к исследованиям атмосферы Земли и других планет, а также околосолнечной плазмы [1], к различным методам георазведки [2] и к определению электродинамических характеристик земных покровов, например, ледовых [3] или растительных [4]. Радиопросвечивание является весьма эффективным инструментом опреде-

ления химического состава среды распространения зондирующих сигналов, а также ее внутренней структуры, особенно при наличии резких границ, характерных для слоистых и многокомпонентных гетерогенных сред.

В данной работе рассматриваются результаты экспериментов по наземному радиопросвечиванию лесной растительности широкополосным излучением. Основной задачей, решаемой при проведении экспе-

*Работа поддержана грантом РФФИ №12-02-98010.

риментов, являлось изучение влияния видового состава и структуры леса на изменение спектральных характеристик зондирующих сигналов с целью выявления закономерности таких спектральных деформаций и разработки методики восстановления основных структурных характеристик растительности при ее радиопросвечивании.

В измерениях в качестве зондирующих сигналов использовались последовательности видеоимпульсов длительностью 3,3 нс и периодом 40 нс. Выбор параметров определялся тем, что основная часть спектра сигнала в этом случае приходилась на резонансный диапазон частот, в котором длина волны гармонических составляющих оказывалась близка к среднему расстоянию между деревьями в большинстве типов лесов (обычно, 2–4 м). Антенны, представляющие собой полуволновые вибраторы, погружались в лесную среду и располагались на высоте 2 м над землей и на расстоянии 20 м друг от друга. Их ориентация обеспечивала вертикальную поляризацию излучения. Полученные в ходе проведения экспериментов спектрограммы нормировались к уровню фоновых помеховых сигналов. Одна из таких приведенных спектрограмм, описывающая результат радиопросвечивания хвойного (соснового) леса с низкой ($0,08 \text{ м}^{-2}$) плотностью древостоя, представлена на рис. 1. Калибровочная спектрограмма, снятая на открытой местности,

имеющей близкие к лесной характеристики подстилающей поверхности, изображена на рис. 2.

Представленные данные демонстрируют существенную трансформацию спектра исходного сигнала при прохождении через растительность, заключающуюся, в данном случае, в существенном ослаблении низкочастотных гармонических составляющих. Это связано с тем, что в редком лесу на малых дистанциях ослабление сигнала происходит, в основном, за счет рассеяния излучения стволами деревьев, усиливающегося с увеличением длины волны колебаний. Аналогичная спектрограмма, полученная в хвойном лесном массиве значительно большей плотности – $0,15 \text{ м}^{-2}$ приведена на рис. 3, внутренняя структура которого отличалась большим количеством низкорасположенных ветвей и наличием подлеска. Здесь очевидным является ослабление гармоник во всем анализировавшемся диапазоне, свидетельствующее о значительном усилении процессов рассеяния с увеличением плотности растительности, в том числе и на мелкомасштабных неоднородностях. Интересным представляется не убывание, а даже некоторое увеличение амплитуды отдельных спектральных составляющих (170 и 193 МГц), которую можно рассматривать как локализацию излучения в отдельных распространяющихся модах в дискретной случайной среде, указывающую на резонансный характер взаимодействия волн с лесными средами.

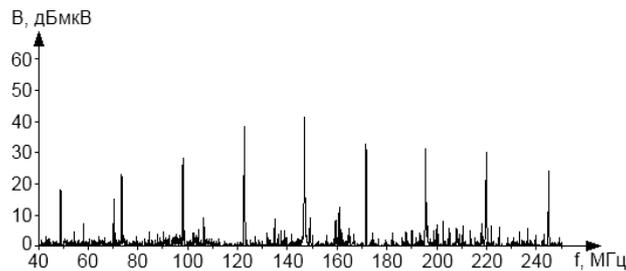


Рис. 1. Спектр сигнала, полученный в сосновом лесу

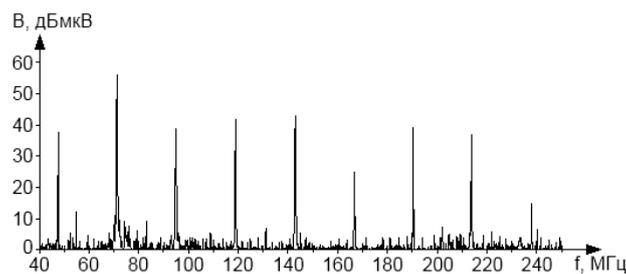


Рис. 2. Спектр сигнала, полученный на открытой местности (в поле)

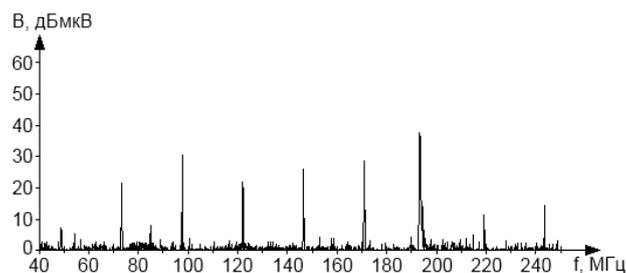


Рис. 3. Спектр сигнала, полученный в плотном хвойном лесу

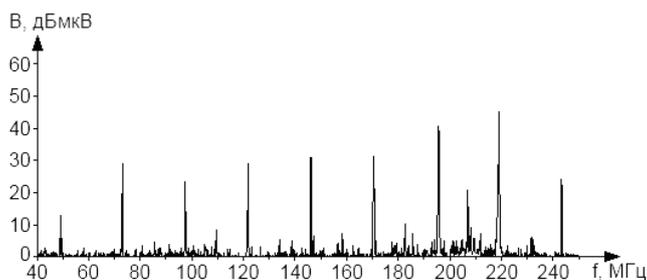


Рис. 4. Спектр сигнала, полученный в лиственном лесу

Результаты радиопросвечивания лиственного леса плотностью 0,11 м, отличительной особенностью которого являлось отсутствие кустарника и молодых деревьев, как в первом из рассмотренных хвойных лесов представлены на рис. 4. При этом, однако, деревья имели значительно большую толщину стволов. По-видимому, эта структурная особенность и определила характер изменения спектрограммы, выражающийся в существенном ослаблении низко- и среднечастотных составляющих сигнала. Понижение амплитуды последних, особенно очевидно из сравнения рис. 1 и 4, может быть объяснено большей плотностью растительности, а практически полное прохождение через лес высокочастотных гармоник – отсутствием мелких элементов растительности на линии связи антенн.

Таким образом, 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.

Библиографические ссылки

1. Результаты исследований солнечного ветра и ионосфер планет радиофизическими методами / Н. А. Арманд,

Ю. В. А. Л. Гуляев, Гаврик и др. // *Успехи физических наук*. 2010. Т. 180, № 5. С. 34–40.

2. *Ground Penetrating Radar: Theory And Applications* / Edited by Harry M. Elsevier, Amsterdam, 2009.

3. Бордонский Г. С. Диэлектрические потери пресного льда на СВЧ // *Радиотехника и электроника*. 1995. № 11. С. 1620–1625.

4. Экспериментальное определение электрофизических параметров лесного покрова с использованием сигналов глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS / В. Б. Кашкин, В. И. Кокорин, В. Л. Миронов, С. В. Сизасов // *Радиотехника и электроника*. 2006. Т. 51, № 7. С. 825–830.

References

1. Armand N. A., Gulyaev Yu. V., Gavrik A. L. and other. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2010. Vol. 180, № 5, pp. 34–40.

2. *Ground Penetrating Radar: Theory And Applications*. Edited by Harry M. Elsevier, Amsterdam, 2009.

3. Bordonskiy G. S. *Radiotekhnika i elektronika*. 1995, № 11, pp. 1620–1625.

4. Kashkin V. B., Kokorin V. I., Mironov V. L., Sizasov S. V. *Radiotekhnika i elektronika*. 2006. Vol. 51, № 7, pp. 825–830.

© Ветлужский А. Ю., Калашников В. П., 2013

УДК 621.396.96.01

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕНОСА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ VHF–UHF-ДИАПАЗОНОВ В ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

А. Ю. Ветлужский, В. П. Калашников

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: kalashnikovp@yandex.ru

Исследуются особенности распространения излучения VHF–UHF-диапазонов в лесах различного видового и структурного состава при малых пространственных разностях антенн. Показано, что существование боковой волны, распространяющейся над верхней кромкой растительности, может быть установлено из анализа дистанционных зависимостей уровня поля в лесной среде.

Ключевые слова: распространение радиоволн, боковая волна.

*Работа поддержана грантом РФФИ № 12-02-98010.