

## Широкополосное радиопросвечивание лесного покрова

А.Ю. Ветлужский, В.П. Калашников

*Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра СО РАН  
670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8  
[Vay@pres.bsnet.ru](mailto:Vay@pres.bsnet.ru), [kalashnikov@yandex.ru](mailto:kalashnikov@yandex.ru)*

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований по широкополосному радиопросвечиванию лесного покрова. Обнаружено возникновение дополнительных гармонических составляющих в спектре исходного сигнала при его взаимодействии с лесной растительностью.*

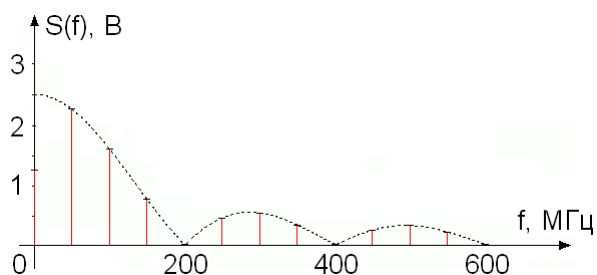
*Results of the experimental investigations on broadband radio irradiation forest cover are presented in article. Discovered origin additional harmonic forming in spectrum of the source signal under its interaction with forest vegetation.*

В последнее время усилился интерес к аэрокосмическим методам исследования поверхности Земли, в частности, лесных покровов. Основным инструментом при этом является искусственное или естественное электромагнитное излучение радиодиапазона. Для этого диапазона лес полупрозрачен. Это значит, что в отличие от оптического диапазона с помощью радиоволн лес можно исследовать на всю глубину, что особенно важно, например, для экологического мониторинга лесов и других целей. Для правильной интерпретации данных аэрокосмического мониторинга лесных покровов необходима адекватная модель взаимодействия радиоизлучения с лесом, разработка которой продолжается [1-3]. Характерной особенностью ныне существующих моделей являются подходы, которые рассматривают лесной полог как объект, состоящий из совокупности большого количества рассеивающих волны элементов (листья, сучья, ветви и побеги, стволы), каждый из которых требует для своего описания многочисленных параметров, геометрических (форма и размеры деревьев) и электрофизических (комплексная диэлектрическая проницаемость). В результате соотношения для решения обратных задач восстановления параметров леса становятся многопараметрическими, и возникают трудности для однозначной интерпретации полученных решений.

Большинство современных радиотехнических систем работает в узкой полосе частот, позволяющей традиционно обеспечить их частотную селекцию. Однако узкая полоса частот ограничивает количество информации, передаваемой системой в единицу времени. В то же время постоянно растёт необходимость увеличения объёма этой информации. Поэтому в течение последних лет, как в радиолокации, так и в радиосвязи, активно исследуется возможность повышения информативности систем за счет расширения используемой полосы частот и использования так называемых сверхширокополосных (СШП) сигналов.

Такие сигналы могут применять для радиозондирования земной поверхности, атмосферы и т.д. Одной из задач в области широкополосного зондирования является исследование растительных покровов. Следует отметить, что достоверная интерпретация данных, получаемые с помощью методов широкополосного зондирования земной поверхности, включая растительные среды, со спутников 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 данной работы является экспериментальное исследование взаимодействия широкополосных сигналов с лесной растительностью при наземном размещении антенных систем. В качестве широкополосного сигнала использовалась последовательность видеоимпульсов прямоугольной формы и наносекундной длительности. Параметры импульсной последовательности (длительность 5 нс, скважность 4) подбирались таким образом, чтобы задействовать резонансную полосу частот, в которой длина волны основных гармонических составляющих сопоставима со средним расстоянием между стволами деревьев в лесу. Спектр такого сигнала показан на рис. 1.



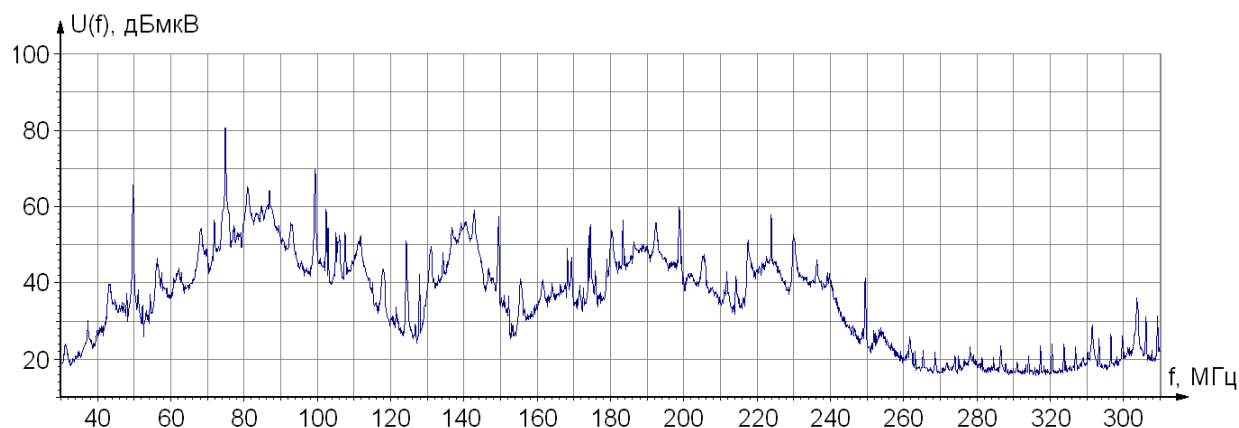
**Рис. 1. Спектр широкополосного сигнала**

Для решения поставленной задачи был выбран хвойный сосновый лес с плотностью древостоя  $0,11 \text{ м}^{-2}$ , средний диаметр стволов деревьев составлял 25-35 см, высота – 12-14 м. Характерной особенностью выбранного участка леса являлось отсутствие подлеска и низко расположенных ветвей.

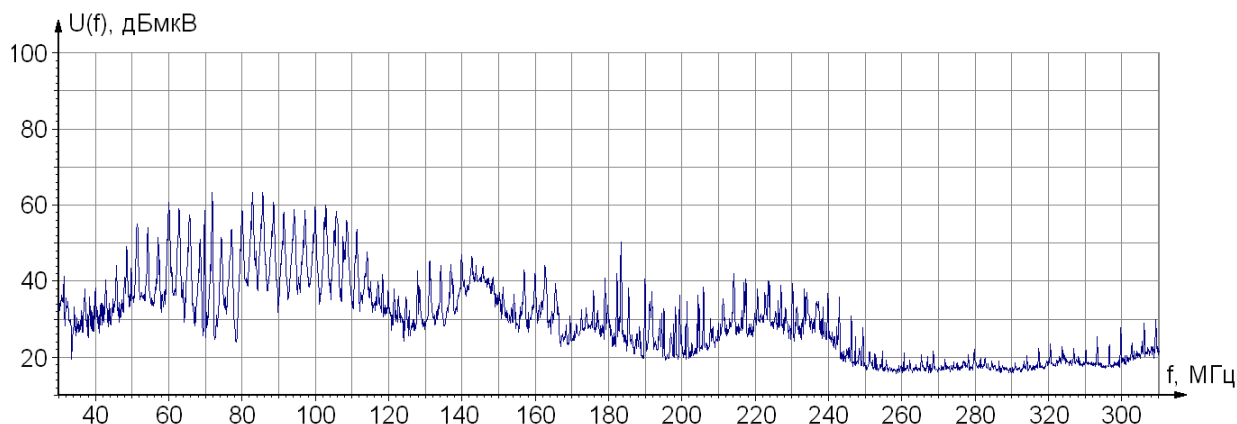
Для радиопросвечивания лесного полога использовалось следующее оборудование: приёмная и передающая антенны – полуволновые симметричные вибраторы, генератор наносекундных импульсов Г5-72, анализатор спектра ИТ-08. Антенны устанавливались на высоте 2 м над поверхностью земли. Рассматривалась только вертикальная поляризация волн, при этом влияние растительности сводилось, в основном, к переотражению и поглощению излучения стволами деревьев.

В ходе экспериментов проводились относительные измерения, т.е. вначале определялся спектральный состав сигнала на открытой местности (в поле), а затем аналогичный эксперимент ставился непосредственно в лесу. В результате появлялась возможность определения разностного сигнала, а, следовательно, компенсации помеховых составляющих, связанных с недостатками аппаратного обеспечения, а также влиянием радиостанций, работающих в использовавшемся диапазоне частот.

На рис. 2 и 3 представлены примеры полученных спектрограмм в диапазоне 30-300 МГц при пространственном разnose антенн в 10 м.



**Рис. 2. Спектр сигнала (30-330 МГц), полученный на открытой местности**



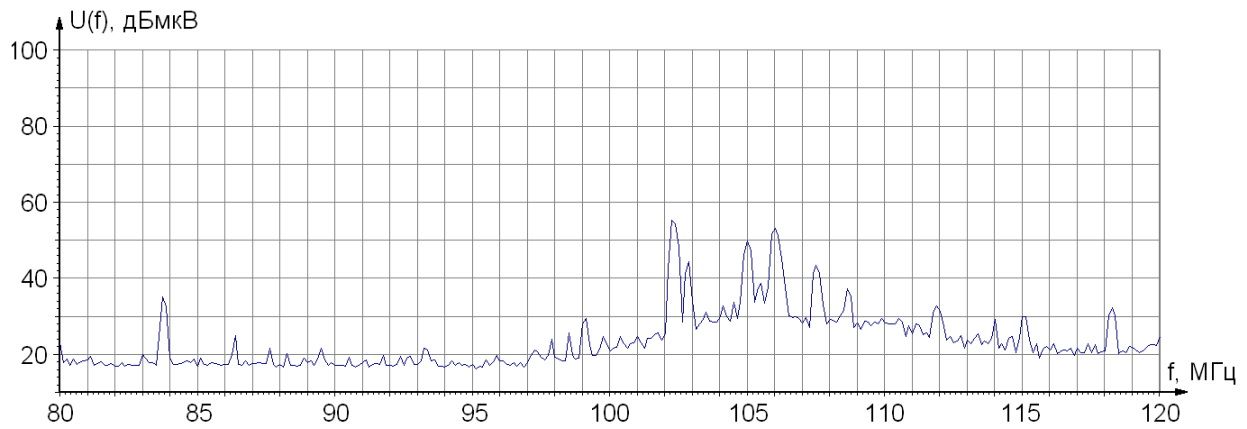
**Рис. 3. Спектр сигнала (30-300МГц), полученный в лесу**

Сравнивая полученные зависимости, можно отметить значительную изрезанность спектра и более сильное затухание сигнала в лесу, которые можно объяснить рассеянием и поглощением волн стволами деревьев. Поскольку анализ зависимостей в представленном виде был весьма затруднителен в силу высокой сложности характеристик, а также уже отмечавшегося наложения на полезный сигнал различных помех, в ходе проведения экспериментов были также получены подробные спектрограммы в узкой полосе частот в окрестностях основных гармонических составляющих в спектре полезного сигнала.

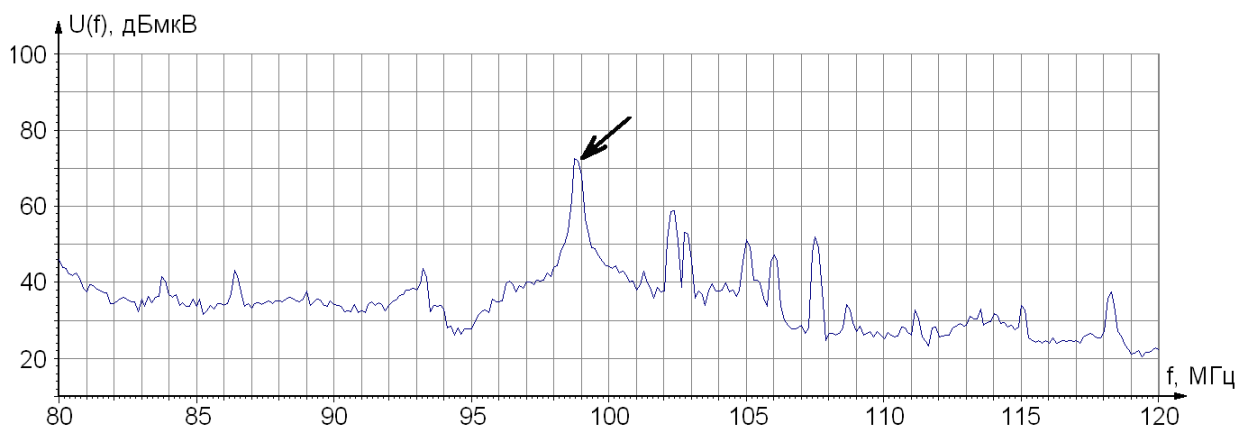
На рис. 4-6 представлены спектрограммы в полосе частот шириной 80-120 МГц, полученные в поле при отсутствии полезного сигнала (рис. 4), а также при его наличии на открытой местности (рис. 5) и в лесу (рис. 6).

Рис. 4 демонстрирует исходный, «фоновый» состав спектра, обусловленный работой различных радиостанций на рассматриваемых частотах. На рис. 5 можно видеть ярко выраженную на фоне помех вторую гармонику исходного полезного сигнала (указана стрелкой).

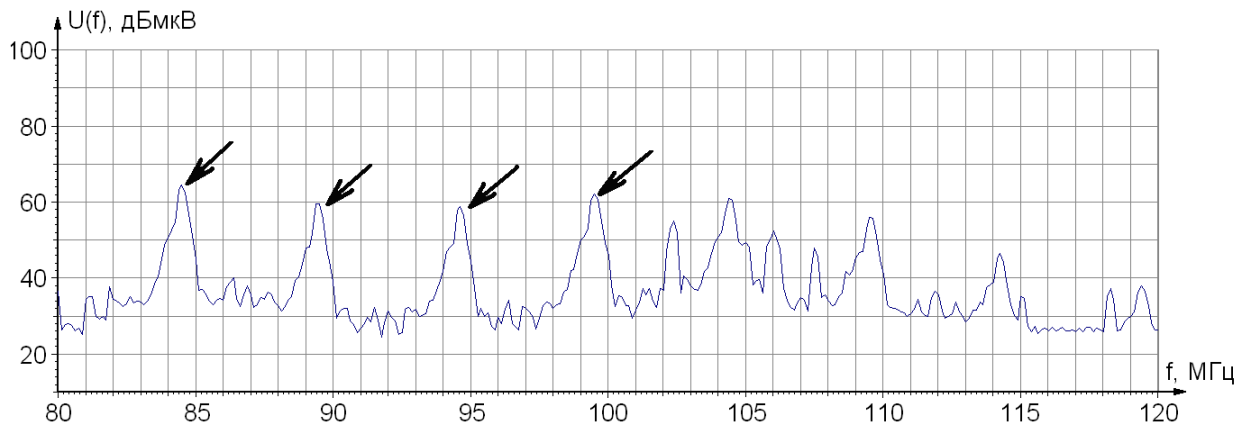
Наибольший интерес представляет спектрограмма, изображенная на рис. 6. Видно, что наряду с сохранившейся неизменным свое местоположение на частотной оси второй гармоникой исходного сигнала, возникает целый ряд дополнительных гармонических составляющих (указаны стрелками). Эти составляющие отделены друг от друга равными частотными интервалами, а их амплитуда сравнима и даже превосходит амплитуду исходной гармонической составляющей. Следует отметить, что описанные эксперименты проводились и на других расстояниях между антеннами (20, 30м), при этом также наблюдалось обогащение спектра дополнительными гармоническими составляющими достаточно большой амплитуды. Сравнение данных результатов с данными измерений в окрестностях прочих гармоник в составе исходного сигнала позволило установить, что обогащение спектра наиболее ярко выражено вблизи резонансных частот, при которых длина волны излучения оказывается сопоставима со средним расстоянием между деревьями.



**Рис. 4. Спектр 80-120 МГц, при отсутствии полезного сигнала**



**Рис. 5. Спектр 80-120 МГц, полученный на открытой местности**



**Рис. 6. Спектр 80-120 МГц, полученный в лесу**

Физически возникновение дополнительных гармонических составляющих можно объяснить многолучевостью распространения сигналов в сложной дискретной среде, и, как следствие, изменением параметров импульсных последовательностей. Однако при этом следовало бы ожидать изменения положения исходных гармоник на оси частот, что не происходит. Таким образом, физический механизм, который приводит к наблюдаемым эффектам, требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 08-02-98003.

### **Литература**

1. Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Миронов В.Л., Кашкин В.Б. Векторное радиосвечение лесного полога // Журнал радиоэлектроники. 2002. № 1. <http://jre.cplire.ru/win/jan02/1/text.html>.
2. Магазинникова А.Л., Якубов В.П. Дуальный механизм распространения радиоволн в условиях леса // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 1. С. 5-9.
3. А.А. Чухланцев, А.М. Шутко, С.П. Головачев. Ослабление электромагнитных волн растительными покровами // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 11. С. 1285-1311.