

Научная статья  
УДК 630.52:587/588

## СУЩНОСТЬ МОНИТОРИНГА ЛЕСА МЕТОДОМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ТОМОГРАФИИ

Абдулло Абдурахмонзода<sup>1</sup>, Сайидиброхим Аслидин Кароматуллозода<sup>2</sup>,  
Сергей Петрович Санников<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> abdullohzoada05@mail.ru

<sup>2</sup> sayidibrohim2211@gmail.com

<sup>3</sup> sannikovsp@m.usfeu.ru

**Аннотация.** В работе проведены исследования проблем использования радиочастотной томографии древостоев на небольшом участке леса. Сделан анализ получения информации методом томографии прироста деревьев и изменений параметров состояния в лесной среде. Предложены возможные перспективы развития радиочастотного мониторинга небольших участков леса.

**Ключевые слова:** лес, мониторинг, радиочастотный, томография

**Для цитирования:** Абдурахмонзода А., Кароматуллозода С. А., Санников С. П. Сущность мониторинга леса методом радиочастотной томографии // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 564–568.

Original article

## THE ESSENCE OF FOREST MONITORING BY RADIOFREQUENCY TOMOGRAPHY

Abdullo Abdurakhmonzoda<sup>1</sup>, Sayidibrohim A. Karomatullozoda<sup>2</sup>,  
Sergey P. Sannikov<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> abdullohzoada05@mail.ru

<sup>2</sup> sayidibrohim2211@gmail.com

<sup>3</sup> sannikovsp@m.usfeu.ru

**Abstract.** The paper investigates the problems of using radiofrequency tomography of forest stands in a small forest area. The analysis of obtaining information by tomography of tree growth and changes in parameters in the state

in the forest environment is made. Possible prospects for the development of radiofrequency monitoring of small forest areas are proposed.

**Keywords:** forest, monitoring, radiofrequency, tomography

**For citation:** Abdurakhmonzoda A., Karomatullozoda S. A., Sannikov S. P. (2026) Sushhnost` monitoringa lesa metodom radiochastotnoj tomografii [The essence of forest monitoring by radiofrequency tomography]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 564–568. (In Russ).

Томография в классическом понимании считается способом получить «послойное» изображение внутренних структур объекта исследования, а деревья в лесу можно считать внутренними структурными элементами, поэтому томографические методы исследования применимы. Существует несколько видов томографии, которые различаются источником энергии для проникновения сквозь исследуемый объект. Так, известная компьютерная томография обусловлена вращением рентгеновской трубки вокруг объекта исследования, а позитронно-эмиссионная основана на проникающей энергии изотопов некоторых веществ, источник которых, перемещаясь, фокусируется на объекте исследования. Сложнее обстоят дела у магнито-резонансных и ядерно-магнитных томографов, которые фокусируют магнитные поля и радиоволны одновременно на объекте исследования путем последовательного переключения катушек электромагнитов.

Учеными под руководством В. П. Якубова и его учениками изучались прохождения радиоволн в лесу, ослабление элементами деревьев на ослабление энергии радиоволн различного диапазона. Был введен термин «Радиолокационная томография» [1]. Доклад «Исследование методов определения ЭПР стволов древостоя в СВЧ диапазоне», сделанный С. Н. Новик на конференции молодых ученых физиков в 2003 г. [2], показал, что рассеивание электрических полей деревьями можно использовать для измерения размеров. Таким образом, исследованиями было доказано, что спектральное ослабление микроволнового излучения в древостое при визуализации падения радиоволн характеризует плотность насаждений, их относительные размеры [3].

**Целью** данной работы является анализ проблем, а также демонстрация возможности радиочастотной томографии древостоев в лесу.

В работе поставлены следующие **задачи**:

- изучить основные параметры радиоволн при прохождении их сквозь полог деревьев;
- выявить специфические проблемы, связанные с использованием электромагнитных волн радиодиапазона при мониторинге небольших участков леса;

– оценить перспективы развития радиочастотной томографии для мониторинга древостоев.

В работе использованы материалы, опубликованные в открытой печати, а также доклады научных конференций.

### Результаты и разработки

Экспериментальное исследование характеристик древостоев сигнала радиоволн при радиочастотном мониторинге лесной среды представлено в работе [4]. Авторы показали зависимость ослабления электромагнитного поля стволами деревьев в лесу, как показано на рис. 1. Модель эксперимента показана на рис. 2.

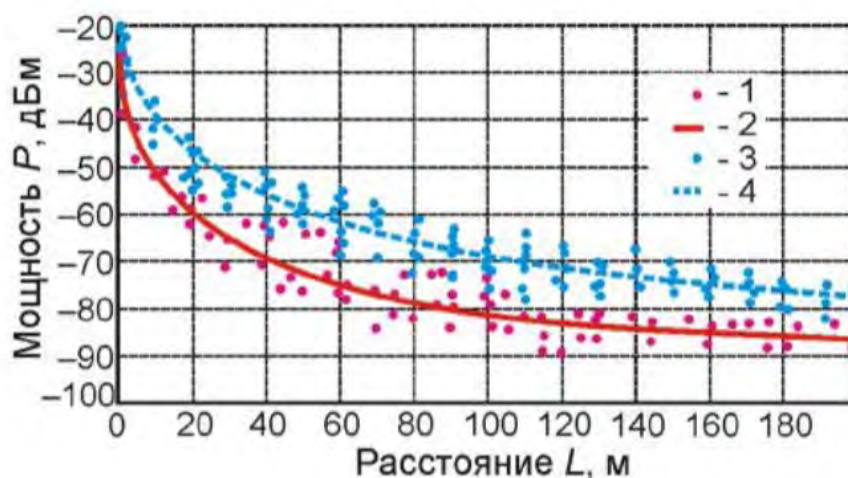


Рис. 1. Результаты экспериментальных исследований:

1, 2 – рассеивание радиоволн в сосновом лесу; 3, 4 – рассеивание радиоволн в березовом лесу (экспериментальная зависимость показана точками, а теоретическая – линиями) [4]

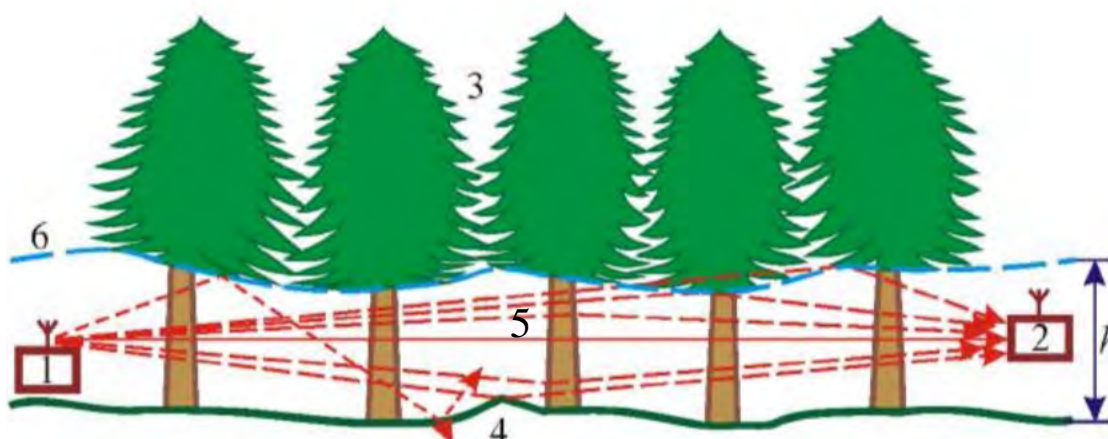


Рис. 2. Расчетная модель эксперимента траектории распространения радиочастотного сигнала:

1, 2 – источник и измеритель электромагнитных волн; 3 – деревья;  
4 – поверхность почвы; 5 – промежуточное положение источника сигнала;  
6 – линия полога леса;  $h$  – высота под пологом [4]

Сущность радиочастотной томографии леса представляет собой современный метод мониторинга состояния древостоев с использованием радиоволн бесконтактным способом. Данный метод позволяет получать детальную информацию о внутренней структуре деревьев и геометрических размерах. Полученная информация позволяет производить мониторинг древостоев, которая необходима для управления лесным фондом.

Принцип работы радиочастотной томографии заключается в следующем:

– приемопередающие антенны размещаются вокруг контролируемой области леса на столбах высотой 1,5 м от поверхности почвы или на беспилотниках, например, квадрокоптерах. Количество столбиков по периметру зависит от длины волны радиосигнала. Они посылают радиочастотные импульсы и регистрируют принятые сигналы, прошедшие через лес или отраженные от стволов дерева. Расстояние между столбиками с антенной зависит от мощности излучаемой антенны и чувствительности приемника радиосигнала. Для разрешенных приемопередающих устройств без регистрации это расстояние составит в пределах 100...200 м. Поэтому на каждом столбике можно расположить RFID-метки с идентификационным номером на частоте 2,4 ГГц;

– посылка импульса передающими антеннами производится последовательно и попеременно в каждый момент времени по таймеру, а все приемники принимают сигнал. Приемники регистрируют время приема сигнала и его величину ослабления. Если используются беспилотники, то будет достаточно двух квадрокоптеров, которые синхронно перемещаются синхронно между деревьями под пологом по периметру контролируемого участка;

– реконструкция изображения: по временным задержкам, амплитуде и фазе сигналов строится карта распределения диэлектрической проницаемости и проводимости, что позволяет выделять зоны с разной влажностью, плотностью и структурными изменениями деревьев;

– алгоритмы: используются обратные задачи, методы томографии (например, итерационные алгоритмы, регуляризация), машинное обучение для классификации признаков.

### **Заключение**

Мониторинг небольших участков леса методом радиочастотной томографии позволяет получать основные параметры древостоев, а именно прирост по диаметру ствола дерева. Кроме этого, позволяет получать и дополнительные параметры, влияющие на изменение диэлектрической проницаемости, например, влажность воздуха и древесины, гнили и пр.

*Список источников*

1. Радиолокационная томография / В. П. Якубов, Е. Д. Тельпуховский, Г. М. Цепелев [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2006. № 12. С. 1081–1086.
2. Новик С. Н. Исследование методов определения ЭПР стволов древо-стоя в СВЧ диапазоне // Сборник тезисов ВНКСФ-9 : тезисы докладов. Екатеринбург – Красноярск : Изд-во АСФ России, 2003. Т. 2. С. 1071–1073.
3. Spectral Study of Microwave Attenuation in a Larch Forest Stand for Oblique Wave Incidence / V. L. Mironov, V. P. Yakubov, E. D. Telpukhovsky [et al.] // IGARSS. Seoul, Korea, 2005. Vol. 5. P. 3204–3207.
4. Экспериментальное исследование характеристик сигнала при радиочастотном мониторинге лесной среды / С. П. Санников, В. В. Побединский, И. В. Бородулин, А. А. Побединский // Вестник ПГТУ. 2017. № 4 (36). С. 48–58.