

РАЗДЕЛ IV. ИЗМЕРЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ, НАУКАХ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

16. После получения мнений всех экспертов производится окончательный отбор показателей – те показатели, которые были «отброшены» более чем половиной экспертов исключаются из рассмотрения, а оставшиеся показатели считаются значимо влияющими на время выживания пациента.

Программный комплекс

Представленная методика была реализована в соответствующем интернет - приложении, разработанном с использованием связи Apache+MySQL+PHP. Разработанное приложение позволяет загружать статистические данные в формате XML или CSV, рассчитывать корреляционные связи между показателями и свойствами, проводить экспертную оценку, оценку согласованности мнений экспертов и, при необходимости, привлекать новых экспертов, формировать отчет по отобранным показателям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боженко В.К., Сотников В.М. Использование многопараметрических методов анализа информации в онкологии. // Вестник Российского Научного Центра Рентгенодиагностики, вып. 6., Москва, 2006.
2. Lee, Elisa T. and Wang, John. Statistical Methods For Survival Data Analysis. 3 edition. s.l. // Wiley-Interscience, 2003.
3. Т.А. Баранова. Многомерные статистические методы. Корреляционный анализ. // Издательство ИГХТУ, Иваново, 2007.
4. Емалетдинова Л.Ю., Габитов Р.И. Автоматизация экспертного оценивания деятельности специалистов лечебного учреждения. // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева, Казань, 1997.

Аспирант Д.Ю. Стрункин тел. 8-904-666-99-02, dstrunkin@yandex.ru - каф. Прикладной Математики и Информатики КГТУ им. А.Н. Туполева.

УДК 528.85

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ

О.Н. Очиров, Б.Ч. Доржиев, А.В. Базаров

Проведена оценка коэффициента ослабления леса на частоте 10 ГГц с использованием короткоимпульсной системы контроля лесной среды. Предложен метод построения радиотомограмм тестового участка леса при однопозиционном сканировании наносекундным радаром.

Ключевые слова: система контроля, лесная среда.

Введение

Сверхкороткие импульсы находят широкое применение в таких областях радиоэлектроники как сверхширокополосная радиосвязь, радиолокация, системы точного позиционирования и т.д. [1]. Вместе с тем несомненный интерес представляет их использование в системах дистанционного зондирования, в частности, при исследовании лесных сред методами сверхкороткоимпульсной радиолокации. Сверхкороткоимпульсная радиолокация (СКИРЛ) является одной из ветвей технологии сверхширокополосных (СШП) систем. Наиболее характерными специфическими особенностями СКИРЛ [2] являются высокая разрешающая способность по дальности, определяемая шириной используемого частотного спектра и эффект контрастности отражений от объектов. Указанные особенности приводят к другому, чем в традиционной локации, характеру отраженных сигналов от

местности, создавая рельефную картину из отдельных импульсов отраженных от местных предметов и характерных участков местности, в том числе и на предельно малых дальностях.

Целью настоящей работы является экспериментальное выявление особенностей СКИРЛ лесных сред, связанных, в основном, с их высокой разрешающей способностью, а также оценка их ослабляющих свойств.

Оценка коэффициента ослабления леса на частоте 10 ГГц. Как указывается во многих работах, например [3], лес считается наиболее сложным объектом для построения моделей рассеяния волн. Основой для построения таких моделей являются результаты экспериментальных исследований, полученных методами традиционной радиолокации. Новые результаты, полученные при короткоимпульсной локации лесных сред, послужат для дальнейшего развития моделей и их практи-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ

ческого приложения. При проведении наземных измерений наиболее доступной является горизонтальная локация лесных покровов. Измерительная установка на базе наносекундного радара позволяет проводить такие измерения при любом рельефе местности (рисунок 1). В состав измерительного комплекса входят наносекундный радар, параболическая антенна с опорно-поворотным устройством, цифровой осциллограф TDS1012 с блоком расширения TDS2CMA, ноутбук, коаксиальные кабели с нагрузкой 50 Ом для регистрации сигналов и кабель питания, а также электрогенератор на 220 В.



Рисунок 1 – Общий вид измерительной установки во время проведения эксперимента

В таблице 1 приведены основные технические характеристики наносекундного радара.

Таблица 1

| Характеристики передатчика | |
|--|------------|
| - несущая частота | 10 ГГц |
| - длительность импульса на полувывоте | 10 нс |
| - частота повторения импульсов | 5 кГц |
| - номинальная пиковая мощность импульсов СВЧ-излучения | 40 Вт |
| Характеристики приемника | |
| - центральная частота | 10,06 ГГц |
| - уровень собственных шумов | - 11 дБ/Вт |
| - динамический диапазон не менее | 70 дБ |
| - полоса частот входного сигнала не менее | 100 МГц |
| - уровень ограничения выходного сигнала | 1,4 В |

В случае короткоимпульсной локации леса излучение проходит сквозь весь лесной массив, испытывая фоновое затухание. Ослабление сигнала можно оценить средней

величиной коэффициента ослабления. Для экспериментального определения данного коэффициента были проведены соответствующие измерения для лиственного (береза) и хвойного (сосна) лесов. При этом, для лиственного леса измерения проведены в разные сезоны года — весной (апрель), когда деревья стоят без листвы и летом (август), деревья в полной листве. При всех измерениях использовалась следующая методика измерений. Выбирался участок леса с относительно ровной границей лес – открытое пространство. Радар устанавливался в 50 метрах от границы леса, и далее проводилось его сканирование в пределах относительного азимута $\pm 13^\circ$ с шагом 3° при угле места 0° .

На рисунке 2 представлены экспериментальные осциллограммы, полученные для лиственного леса при весенних измерениях. Осциллограмма представляет график зависимости амплитуды отраженного сигнала от времени его прихода в систему регистрации. Значения уровня отраженного сигнала отложены по вертикали, по горизонтали — время прихода сигнала в пересчете на расстояние. На графике выделена усредненная осциллограмма по четырем наиболее близко совпадающим осциллограммам. Такой подход позволяет считать данный участок леса однородным, с плотностью выше средней.

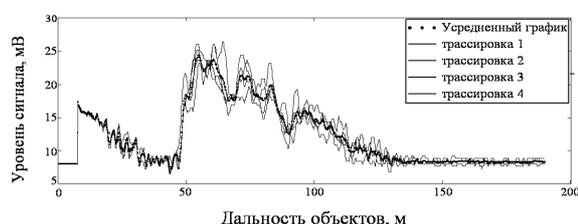


Рисунок 2 – Экспериментальные осциллограммы (весенние измерения)

За аналитический сигнал принимается огибающая отраженных импульсных сигналов. Как следует из рисунка 2, амплитуда аналитического сигнала монотонно убывает с расстоянием, что обусловлено ослаблением в лесной среде. Таким образом, оценку ослабления можно сделать на основе линейной аппроксимации, построенной по методу наименьших квадратов. Для этого выделим участок осциллограммы в пределах от 58 до 136 метров, на который приходится интересующая нас область леса (рисунок 3). Наклонной прямой показана линейная регрессия, соответствующая экспериментальным отсчетам уровня отраженного сигнала. Расчетный коэффициент корреляции равен 0,93, что указывает на хорошее совпадение эксперимен-

РАЗДЕЛ IV. ИЗМЕРЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ, НАУКАХ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

тальных данных с линейной зависимостью. Далее используем вольт-ваттную характеристику радара и оценим коэффициент погонного ослабления как отношение разности сигналов в дБ для соответствующих расстояний. Оцененное таким образом значение коэффициента погонного ослабления составляет 0,9 дБ/м. Отметим еще раз, что данное значение получено для наиболее закрытых трасс, то есть, оценено максимальное ослабление для данного конкретного участка леса.

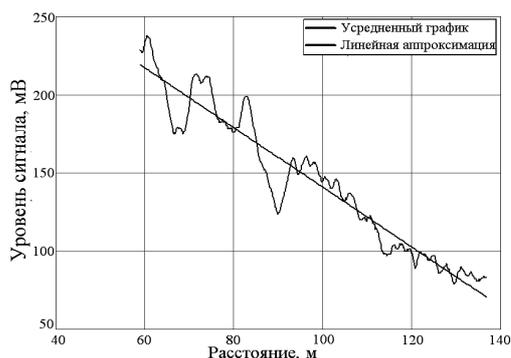


Рисунок 3 – Линейная аппроксимация усредненной осциллограммы (весна)

На рисунке 4 представлены экспериментальные осциллограммы, полученные при аналогичных измерениях этого же участка леса в летнее время. Можно отметить более сильное ослабление сигнала, что объясняется влиянием листвы. При этом усредненный график становится более сглаженным, исчезают отдельные пики на осциллограмме, соответствующие отражениям от отдельных деревьев. Кроме того, сказывается влияние подроста и кустарников, также покрытых листвой. Тем не менее, отраженные сигналы наблюдаются до расстояний порядка 80 метров. Некоторое смещение первого типа отраженного сигнала на осциллограмме, относительно весенних измерений, объясняется несовпадением точки измерений из-за отсутствия видимых ориентиров. Однако в данном случае важен был качественный результат.

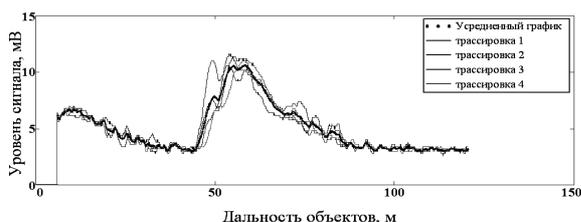


Рисунок 4 – Экспериментальные осциллограммы (летние измерения)

Для оценки ослабления выделен участок осциллограммы от 58 до 80 метров (рисунок 5), на котором также построена линейная аппроксимация. Используя аналогичную методику, определим значение коэффициента погонного ослабления, которое составило 1,25 дБ/м.

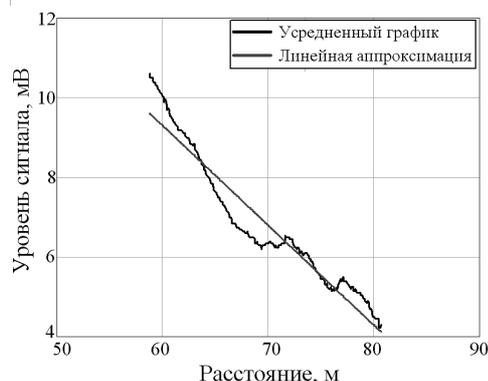
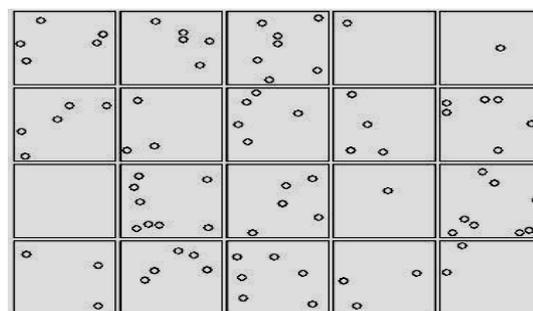


Рисунок 5 – Линейная аппроксимация усредненной осциллограммы (лето)

При исследовании лесных сред был проведен эксперимент на одном из типовых участков хвойного леса (рисунок 6а). При этом предварительно был снят план данного участка леса (рисунок 6б). Размер каждого квадрата составляет 10 метров. Средняя плотность составляет 0,04 дер/м², что позволяет отнести данный участок леса к редкому типу лесов.



а)



б)

Рисунок 6 – Тестовый участок леса (а) и план тестового участка (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ

Осциллограмма отраженного сигнала по одной из трасс представлена на рисунке 7, где пунктирной линией показана аппроксимация линейной регрессии.



Рисунок 7 – Осциллограмма отраженного сигнала от хвойного леса

Характер осциллограмм при различных ракурсах меняется незначительно. Усредненное значение коэффициента погонного ослабления составила 0,2 дБ/м.

В целом, для более точной оценки коэффициента погонного ослабления необходимы дополнительные систематические измерения с учетом типов лесов, их средних параметров, сезона измерения и т.п. Отметим, что ранее такие работы по определению поглощающих свойств лесных сред были проведены в диапазоне частот 100 – 1 000 МГц [4]. Полученный результат позволил расширить ранее полученную частотную зависимость погонного ослабления, которая может быть аппроксимирована следующим выражением [3]:

$$\gamma_{\text{дБ/м}} = af^{\beta}, \quad (1)$$

где $\beta = 0,8$, $a = 8 \cdot 10^{-4}$ — регрессионный коэффициент, f — частота, МГц.

Эффективную проводимость леса можно определить как [5]:

$$\sigma_{\text{мСм/м}} = \frac{n' \cdot \gamma_{\text{дБ/м}}}{1,2\pi \cdot \lg e}, \quad (2)$$

где n' — эффективный показатель преломления лесного слоя.

В этом случае с учетом (1)

$$\sigma_{\text{мСм/м}} = \frac{a \cdot f^{\beta} \cdot n'}{1,2\pi \cdot \lg e} \quad (3)$$

Данная функциональная зависимость эффективной проводимости учитывает как частотную дисперсию, так и показатель преломления, зависящий от плотности лесной среды.

Радиоволновая томография леса. Как следует из полученных результатов при зондировании лесных сред в случае СКРП обеспечивается достаточная глубина проникновения излучения в лесную среду. При этом

пространственное разрешение оценивается как $\frac{c\tau_u}{2}$, что составляет для данного случая

1,5 метра. Таким образом, реализуется достаточно высокое пространственно-временное разрешение, что дает основания для использования методов радиолокационной томографии применительно к исследуемому объекту. Для снятия поперечных сечений объекта в классической томографии применяется сканирование с различных направлений либо путем вращения объекта, либо перемещением излучающей системы. В данном случае объектом зондирования является участок соснового леса, на котором ранее были проведены оценки ослабления. Поэтому, в случае остронаправленной антенны при томографии леса, оптимальной является схема углового сканирования [6]. Имеющаяся поворотная система радара позволяет производить сканирование в широком угловом диапазоне, как по азимуту, так и по углу места. Изменение во времени амплитуды принятого сигнала фиксировалось с использованием цифрового осциллографа Tektronix с шагом оцифровки 0,1 нс и далее обрабатывалось в среде MathCAD.

Томографическим измерениям предшествовали исследования ослабления радарного отклика с расстоянием до УО, а также измерения диаграммы направленности антенны. Было установлено, что в среднем амплитуда радарного отклика действительно ослабляется обратно пропорционально квадрату расстояния до цели, на фоне чего наблюдался относительно небольшой интерференционный вклад за счет влияния земной поверхности. Показано, что, хотя ДН по уровню половинной мощности небольшая ($\alpha = 3,5^\circ$), но за счет расширенного динамического диапазона радара вклад боковых лепестков заметен, даже при подъеме оси антенны радара над линией горизонта.

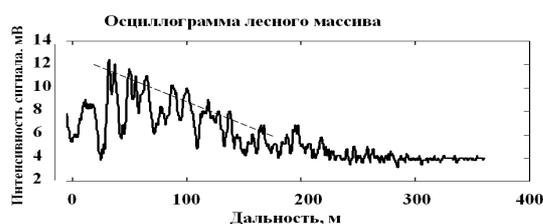
Томографические измерения тестового участка соснового леса состояли в регистрации временного радарного отклика в зависимости от азимутального угла с шагом 3° в диапазоне $\pm 13^\circ$ относительно среднего направления. Набор проекций формируется за счет зарегистрированных осциллограмм при каждом угле сканирования. Для повышения качества томограммы проведена перенормировка радарных данных по всем ракурсам, то есть для каждого угла сканирования с учетом среднего значения коэффициента погонного ослабления. В общем-то, такую операцию можно провести для каждого ракурса с учетом коэффициента погонного ослабления именно для этой трассы. Но при этом мы

РАЗДЕЛ IV. ИЗМЕРЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ, НАУКАХ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

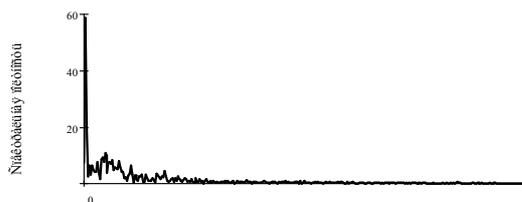
имели бы набор частных проекций. Использование среднего значения коэффициента ослабления позволяет унифицировать данный подход и применить его для любого произвольного участка леса. При построении томограммы соснового леса проведена дополнительная обработка данных. Будем считать, что уровень отраженного от лесного массива сигнала получается путем суммирования сигналов от множества равноудаленных объектов, а именно — стволов деревьев, ветвей и хвои, составляющих кроны деревьев. Основной вклад в результирующее поле при данной геометрии задачи вносят отраженные сигналы от стволов деревьев. Таким образом, ставится задача максимально уменьшить влияние крон деревьев. Для решения данной задачи использован метод спектрального анализа, заключающийся в переходе от временной формы представления процесса к частотной на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ). В этом случае спектральное представление отдельной реализации случайного процесса есть:

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (4)$$

где $S(\omega)$ — спектральная плотность, пропорциональная средней мощности всех спектральных составляющих. БПФ осуществляется на базе встроенного микропроцессора цифрового осциллографа TDS1012. Осциллограмма отраженного сигнала и его спектральное представление приведена на рисунке 8 (а, б). По вертикали отложены значения сигналов, по горизонтали — время прихода сигналов в пересчете на дальность.



а)



б)

Рисунок 8 — Осциллограмма отраженного радиосигнала (а) и его спектр (б)

Предполагается, что гармоники с большими значениями соответствуют вкладам от стволов и крупных ветвей, а гармоники с меньшими значениями — вкладам от мелких ветвей и хвои. Таким образом, для исключения влияния мелких ветвей и хвои необходимо отфильтровать высокочастотные гармоники. Используем еще один подход, при котором данный случайный процесс заменяется другим процессом, у которого спектральная плотность мощности постоянна и равна F_{\max} в пределах эффективной полосы частот $\Delta\omega_{\text{эф.}}$, определяемой из условий равенства средних мощностей обоих процессов [7]:

$$F_{\max} \Delta\omega_{\text{эф.}} = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (5)$$

Пределы интегрирования выбраны из того условия, что здесь рассматривается односторонний спектр мощности. Отсюда,

$$\Delta\omega_{\text{эф.}} = \frac{1}{F_{\max}} \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (6)$$

Определим эффективную ширину спектра $\Delta\omega_{\text{эф.}}$ из условия наименьших значений спектра мощности на границе этого частотного интервала на уровне $0,1F_{\max}$. С использованием передаточной функции получим редуцированный спектр (рисунок 9а). Восстановленный сигнал методом обратного преобразования Фурье показан на рисунке 9б. На полученном графике исключены мелкие флуктуации сигнала, накладывающиеся на его основной ход. Аналогичные операции также были проведены для других осциллограмм, полученных при сканировании леса с той же позиции. В целом, для подтверждения сделанных предположений необходимо провести дополнительные измерения по ослаблению в кроне деревьев и, например, в лесу после пожара, для более точной оценки влияния стволов деревьев.

Энергетический спектр сигнала предполагает его описание определенным законом распределения вероятности, аналогичным тому, как описываются флуктуации интенсивности электромагнитного излучения. Наиболее удовлетворительным кажется аппроксимация энергетического спектра экспоненциальным законом распределения. Однако для этого необходимо получить основные числовые характеристики, с помощью которых можно провести сравнительную оценку областей существования указанного, а возможно и других распределений. Это позволит установить более глубокие связи между временной и частотной областями сигнала. По

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ аналогии понятия «радиолокационный портрет» объекта, спектральное представление аналитического сигнала для лесной среды можно назвать «спектральным портретом» леса.

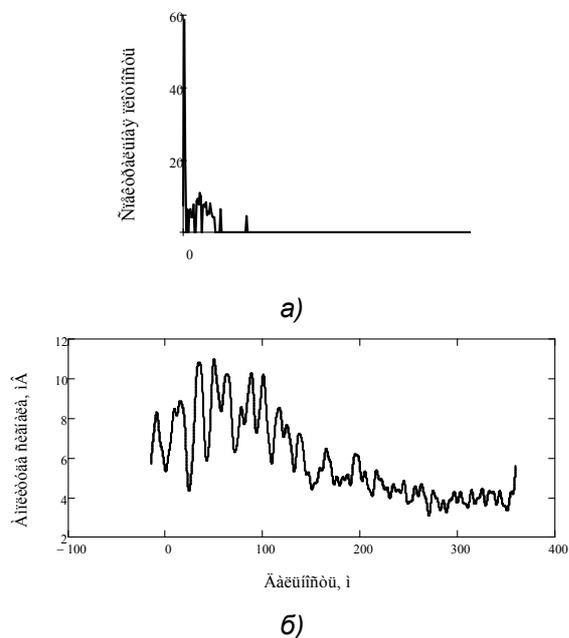


Рисунок 9 – Редуцированный спектр (а) и восстановленный сигнал (б)

Томограмма тестового участка леса представлена на рисунке 10. Здесь использована градация серого цвета, где более яркие места соответствуют областям с большим значением отраженного сигнала, то есть положению отдельных деревьев, либо группам близко расположенных деревьев.

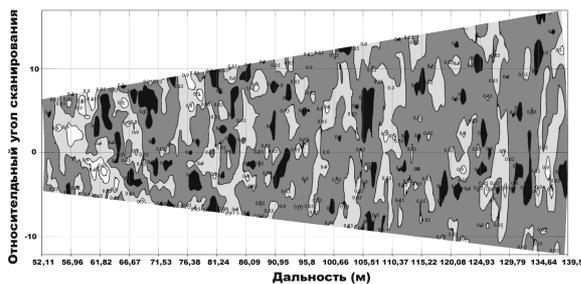


Рисунок 10 – Радиотомографическая карта участка леса

Совмещение полученной томограммы со снятым планом участка леса (50 × 40 м²) показывает удовлетворительное соответствие. Точная оценка совмещения затруднительна из-за дополнительных неоднородностей, связанных с неотмеченным на плане подростом леса и возможными неточностями самого плана. Следует заметить, что схема расположения деревьев, то есть план леса, строилась первоначально именно для оценки каче-

ства томограммы. Для дальнейшего улучшения качества томограммы необходимы более тщательные измерения с учетом угловой ширины диаграммы направленности антенны и вкладов ее боковых лепестков, вносящих дополнительные погрешности. Альтернативным подходом может быть использование другой схемы измерений, при которой съемка происходит при параллельном перемещении измерительной установки относительно границ леса.

Результаты восстановления томограммы лиственного леса показаны на рисунке 11 (без листвы) и на рисунке 12 (с листвой). Заметим, что в данном случае ландшафтный план леса не снимался.

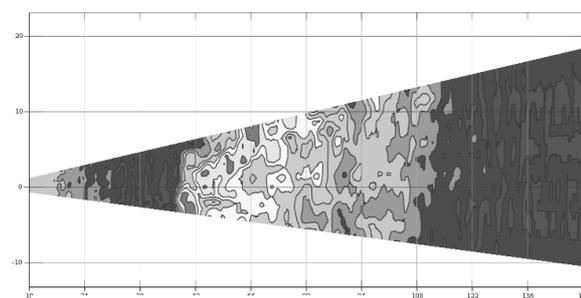


Рисунок 11 – Томограмма лиственного леса (весна)

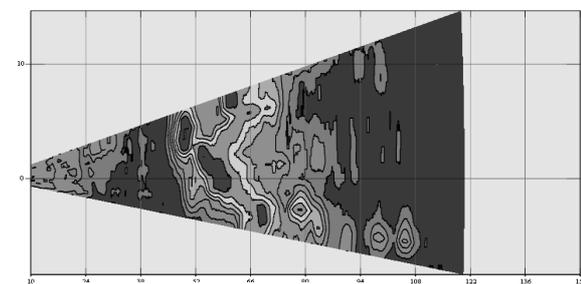


Рисунок 12 – Томограмма лиственного леса (осень)

Томограммы лиственного леса построены по необработанным данным, то есть, без учета погонного ослабления. Тем не менее, качественное сопоставление томографических изображений позволяет выявить значительные различия в разные сезоны года. Более детальный анализ возможен с учетом средних параметров леса и дополнительной обработки данных, что представляет собой дальнейшее направление исследований.

Выводы

Экспериментально подтверждены рассмотренные ранее особенности СКРП, а именно, высокая разрешающая способность по дальности, и эффект контрастности отражений которые наглядно отображается на осциллограмме, где отдельные максимумы огибающей сигнала соответствуют отражениям от отдельных деревьев. Особенно релье-

РАЗДЕЛ IV. ИЗМЕРЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ, НАУКАХ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

ефная картина получается после обработки сигнала.

Экспериментально определены значения коэффициентов погонного ослабления на частоте 10 ГГц для различных лесов, что позволяет расширить спектральную зависимость ослабления. При наносекундной локации хвойного леса выявлен эффект радиопросвечивания на глубину порядка 100 метров, что невозможно при традиционной локации.

Дальнейшее развитие методики восстановления томограммы тестируемых участков леса позволит решить такую задачу, как восстановление самого лесного массива, включая основные параметры — запас древостоя и биомассу. Учитывая относительно небольшие затраты на проведение наземных измерений, данный метод имеет неплохие перспективы для его дальнейшего использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очерк истории использования сверхширокополосных радиолокационных сигналов: их описание и обработка / Астанин Л.Ю. // Радиотехника, 2009. — № 3. — С.37–45.
2. Особенности и свойства короткоимпульсной радиолокации / Скосырев В.Н., Осипов М.Л. // Вестник

МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. — 1999. — №4. Спец. выпуск «Радиоэлектроника»;

3. Ослабление электромагнитных волн растительными покровами / Чухланцев А.А., Шутко А.М., Головачев С.П. // Радиотехника и электроника, 2003. — Т.48, №11. — С.1285–1311;
4. Результаты экспериментальных исследований распространения радиоволн в лесах умеренной зоны / Доржиев Б.Ч., Хомяк Е.М. // Электросвязь, 1997. — №8. — С.23–24
5. Определение эффективной проводимости леса в УКВ диапазоне. Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н. // Известия ВУЗов. Физика. 2010. № 11, с.3-8.
6. Радиолокационная томография / Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Цепелев Г.Н. и др. // Оптика атмосферы и океана, 2006. — Т. 19, № 12. — С.1081–1086.
7. Радиотехнические цепи и сигналы / Баскаков С.И. — М: Высш. шк., 2003. — 462 с.

К.ф.-м.н. **Б.Ч. Доржиев**, тел. (3012) 43-48-19, 1_2_z@mail.ru — Отдел физических проблем БНЦ СО РАН. К.т.н., **А.В. Базаров**, тел. (9021) 67-61-77, albaz@pres.bscnet.ru — Отдел физических проблем БНЦ СО РАН. **О.Н. Очиров**, тел. (9148) 41-21-77, oleg_och@pres.bscnet.ru — Отдел физических проблем БНЦ СО РАН.

УДК 616.314–001.5-073.75-089

ПОКАЗАТЕЛИ ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ В ОЦЕНКЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПАРОДОНТА ПРИ ЛЕЧЕНИИ КРОНО-РАДИКУЛЯРНЫХ ПЕРЕЛОМОВ ЗУБОВ

В.И. Семенников, Н.В. Семенникова, А.Е. Юферов

В статье рассматриваются вопросы эффективности новой методики лечения короно-радикулярных переломов многокорневых зубов и выбора оптимальных оценочных критериев ее практического применения. Использование методики исследования микроциркуляции тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии в комплексе с клинико-лабораторными методами позволяет с высокой степенью достоверности показать эффект разработанной авторами оригинального способа лечения переломов зубов.

Ключевые слова: короно - радикулярный перелом зуба, лечение, микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия

Введение

Короно-радикулярные переломы зубов возникают в результате эндодонтического лечения при излишнем расширении канала, при наличии культевой штифтовой вкладки, а также постов или пинов [1], объемных реставрациях моляров, резкой смены темпера-

тур в полости рта [7], нерациональной нагрузки на зуб, автомобильных авариях, при занятиях различными видами спорта, особенно контактными, а также бытовых и криминальных травмах [5,6]. Известно, что лечение такой травмы зубов, как правило, сводится к их удалению [1,4,5,8]. Экстракция зубов верхней