

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) МЕТОДОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

М. А. Степаниденко¹, А. В. Ковалев², О. В. Тарасова^{1,3}

¹Сибирский федеральный университет,
660041 Красноярск, пр.Свободный, 79, e-mail: naradugu@mail.ru

²Международный научный центр исследования экстремальных состояний организма, КНЦ СО РАН,
660036 Красноярск, Академгородок, 50

³Сибирский государственный технологический университет
660049 Красноярск, пр. Мира, 82

Были изучены лиственничные насаждения в техногенных зонах г. Красноярск. Для оценки состояния деревьев измерялись диэлектрические характеристики прикамбиального комплекса тканей ствола дерева. Использовался метод диэлектрической фурье-спектроскопии, преимуществом которого является быстрота и возможность автоматизации процесса измерений. Установлено, что средние значения диэлектрических показателей у деревьев в норме и у деревьев с признаками патологии значительно отличаются. Оценка состояния деревьев может проводиться по параметрам (A_{mp} , B), полученным по функции спектральной мощности.

Ключевые слова: зеленые насаждения, лиственница сибирская, диэлектрическая спектроскопия, диэлектрические характеристики древесных тканей

Larch plantations in technological areas of Krasnoyarsk were studied. Dielectric characteristics of tissues of a tree trunk measured to assess the state of trees. Method of Fourier dielectric spectroscopy was used for measurements. High speed of measurements and the possibility of automating the measurements are the advantages of this method. It's found that the average values of dielectric parameters of the trees in normal conditions and in trees with signs of pathology significantly different. Assessment of trees can be carried out on parameters (A_{mp} , B), obtained by the function of spectral power.

Key words: urban plantations, *Larix sibirica*, dielectric spectroscopy, dielectric characteristics of tree tissues

ВВЕДЕНИЕ

Зеленые насаждения являются неотъемлемым элементом городской среды, они выполняют ряд важных социальных и защитных функций, основные из которых – нейтрализация вредного действия выбросов загрязняющих веществ, защита от шума и улучшение микроклимата в городе. Однако древесные растения, произрастающие в условиях городской среды, испытывают стресс в течение всей жизни. Экстремальными факторами городской среды для древесных растений выступают абиотические природные, техногенные и антропогенные воздействия (жидкие и газообразные поллютанты, рекреационная нагрузка и т.п.). В этих условиях поддерживать стабильное функционирование способны только устойчивые насаждения. К сожалению, Красноярск стабильно входит в список городов России с высоким уровнем загрязнения воздуха (Государственный доклад..., 2009). В связи с этим ранняя диагностика изменения состояния деревьев в зеленых насаждениях в условиях Красноярска приобретает особую актуальность. При этом изменения состояния насаждений желательно выявлять на ранних стадиях развития патологических процессов, когда визуально патологические изменения еще не просматриваются, с тем, чтобы своевременно принять решение о проведении защитных мероприятий. Для оценки состояния древесных растений применяются морфологические, анатомические, физиолого-биохимические методы, использу-

ется комплекс индикаторных показателей (Николаевский, 1979; Мозолевская и др., 1984; Воронцов и др., 1991). Достаточно давно для оценки состояния деревьев было предложено использовать диэлектрические характеристики прикамбиального комплекса тканей дерева, которые дают возможность получить объективную количественную оценку состояния отдельных деревьев и изменения этого состояния на начальных этапах развития патологических процессов (Голодрига, 1968; Положенцев, Золотов, 1970). На рисунке 1 приведена эквивалентная электрическая схема прикамбиального комплекса тканей ствола дерева.

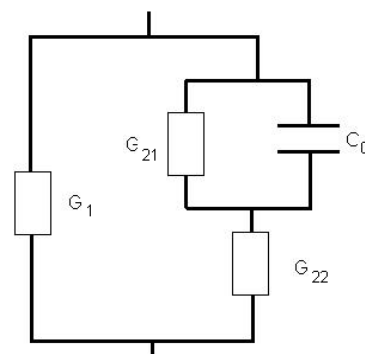


Рисунок 1 - Эквивалентная электрическая схема прикамбиального комплекса тканей ствола дерева (G_1 – проводимость межклеточной среды, G_{21} – проводимость мембраны, G_{22} – проводимость цитоплазмы, C_0 – емкость мембраны)

Четыре переменные характеризуют диэлектрические характеристики мембран, цитоплазмы и межклеточников тканей дерева. Диэлектрические свойства клеток и тканей дают возможность определить ряд важных биологических параметров, таких, как проницаемость клеточных мембран и объем межклеточников. Патологические изменения в мембранах ведут к уменьшению сопротивления мембраны и изменению ее емкостных характеристик.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования была выбрана лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), яв-

ляющаяся одной из основных пород зеленых насаждений Красноярска. Лиственница лучше других хвойных выдерживает атмосферу города (благодаря листопадности) и широко применяется в озеленении (Дылис, 1981).

Исследования проводились в 2009 г. на пяти пробных площадях в межквартальных насаждениях (однорядные посадки вдоль улиц с интенсивным движением автотранспорта) и парковых насаждениях (насаждения деревьев, расположенные группой, удаленные от автомобильных дорог и оживленных пешеходных маршрутов) (табл. 1).

Для оценки состояния деревьев измерялись диэлектрические характеристики прикамбиального комплекса тканей ствола дерева на высоте груди.

Таблица 1 - Характеристики пробных площадей

Пробная площадь	Характеристики пробных площадей	Характеристика модельных деревьев
1	Центр города, парковые насаждения. Проектное покрытие травостоя – 60 %.	Сохранено 70 % кроны
2	Пригородная зона. Аллейные насаждения. Транспортная нагрузка участка низкая. Удаленность от предприятий и крупных автомобильных дорог. Проектное покрытие травостоя 50 %.	Сохранено 80 % кроны, ассиметричная форма кроны
3	Центр города, аллейные и парковые насаждения вблизи крупной транспортной развязки. Проектное покрытие травостоя 50 – 80 %.	Сохранено 25 – 50 % кроны. Суховершинность, заражение почковой галлицей <i>Dasyneura rozhkovi</i>
4	Окраина города. Парковые насаждения, удаленные от оживленных автомобильных дорог. Проектное покрытие травостоя – 90 %.	Сохранено 50 -80 % кроны, ассиметричная форма кроны. Признаки заражения личинками зеленоватого хермеса <i>Cholodkovskya viridana</i>
5	Пригородная зона, парковые насаждения. Рекреационная нагрузка. Проектное покрытие травостоя – 30 %.	Сохранено 80 % кроны, ассиметричная форма кроны

Для экспрессного определения диэлектрических характеристик ткани в широком диапазоне частот использовался метод диэлектрической фурье-спектроскопии, основанный на подаче на ткани одного короткого импульса напряжения и измерения кривой релаксации диэлектрических свойств объекта измерений (Суховольский и др., 1987а, 1987б, 2009). Преимуществом фурье-спектроскопии является быстрота и возможность автоматизации процесса измерений.

Уравнение для возбуждающего прямоугольного импульса имеет следующий вид:

$$H(t) = \begin{cases} 0, t < t_0, t > t_0 + \tau \\ H_0 = 8 \text{ в}, t_0 \leq t \leq t_0 + \tau; \\ \tau = 4 \cdot 10^{-5} \text{ с} \end{cases}$$

Кривая спада поляризации $U(t)$ регистрируется с помощью спектрометра и далее выполняется Фурье-преобразование $FT[U(t)]$ для того, чтобы получить функцию спектральной мощности $U(\omega)$ (Дженкинс, Ватт, 1971)

$$U(\omega) = \int_0^{\infty} U(t) e^{-i\omega t} dt,$$

где ω – частота Найквиста

$$(0 \leq \omega \leq 0,5 \text{ гц}).$$

Функция спектральной мощности $U(\omega)$ содержит всю информацию о диэлектрических свойствах тканей.

На рисунке 2 представлена типичная схема возбуждения прямоугольным импульсом тока длительностью $H(t)$ и последующей кривой $U(t)$ спада поляризации тканей.

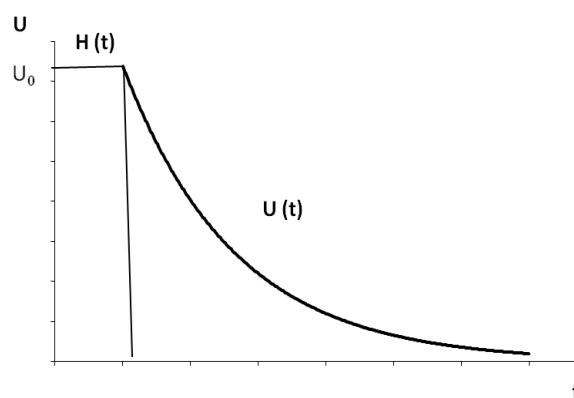


Рисунок 2 - Импульсное возбуждение $H(t)$ и кривая $U(t)$ спада поляризации прикамбиального комплекса тканей

Результаты измерений обрабатывались с по-

мощью специальной компьютерной программы, позволяющей рассчитать параметры кривой спада поляризации. Такой подход позволяет радикально упростить и автоматизировать процессы измерения и обработки результатов измерения.

На рисунке 3 показан общий вид прибора и интерфейс программы управления спектрометром.

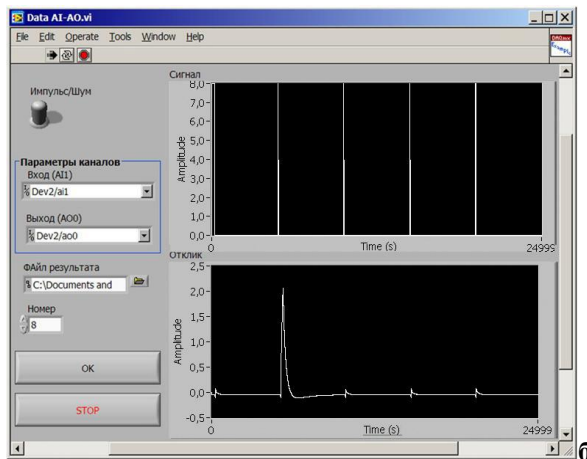


Рисунок 3 - Общий вид полевого диэлектрического спектрометра (а) и интерфейс программы управления спектрометром (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки связи между визуальными характеристиками деревьев и диэлектрическими параметрами древесных тканей были проведены параллельные замеры диэлектрических параметров прикамбиального комплекса тканей и биометрических параметров деревьев (высота, окружность ствола, форма кроны), определены степень усыхания кроны и уровень видимых повреждений деревьев.

Найдено, что функции спектральной мощности $U(\omega)$ диэлектрических характеристик тканей стволов для разных деревьев имеют схожую структуру (рис. 4).

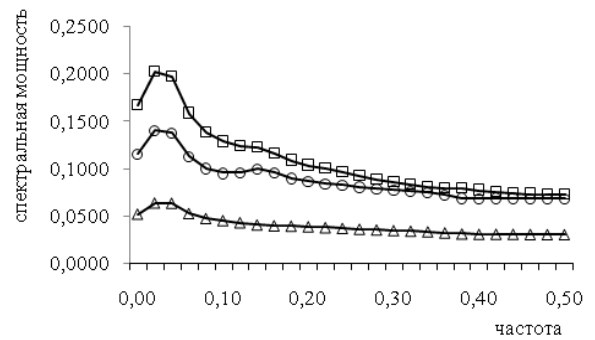


Рисунок 4 - Типичные функции спектральной мощности отклика тканей деревьев на прямоугольный импульс электрического тока

Для того чтобы описать полученные функции спектральной мощности, выполняется следующая процедура:

- определяется максимум функции спектральной мощности A_{mp} . Как правило, он находится в полосе частот Найквиста 0,02-0,1 Гц;

- проводится нормировка значений функции спектральной мощности на разных частотах и вычисляется значение

$$W(\omega) = \frac{U(\omega)}{A_{mp}}$$

- для монотонного участка нормированной функции спектральной мощности в диапазоне 0,1 - 0,5 Гц кривая $W(\omega)$ аппроксимируется уравнением

$$\ln W(\omega) = A - B\omega.$$

Полученный набор параметров A_{mp} , A , B позволяет описать получаемые функции спектральной мощности ответных сигналов. Для оценки связей между уровнем повреждения деревьев и диэлектрическими параметрами древесных тканей все изученные деревья по форме кроны были разделены на две группы: деревья без видимых признаков патологии и деревья с видимыми признаками патологии (сохранено менее 50 % кроны). По измерениям диэлектрических характеристик прикамбиального комплекса тканей были построены количественные шкалы, с помощью которых оценивали состояние отдельных деревьев (табл. 3).

Таблица 3 - Средние значения параметров полученных спектров для деревьев в норме и с патологическими признаками

Параметры спектральной функции		Состояние деревьев	
		Норма	Патология
A_{mp}	Среднее	1,11**	0,07**
	Стандартное отклонение	2,65	0,03
A	Среднее	-5,71*	-3,77*
	Стандартное отклонение	3,36	1,92
B	Среднее	-0,05	-0,10
	Стандартное отклонение	0,73	0,15

Примечание: ** - величины значимо отличны на уровне $p=0,95$; * - величины значимо отличны на уровне $p=0,90$

Области нормы и патологии для отдельных деревьев на плоскости (A_{mp} , B) хорошо различаются (рис. 5).

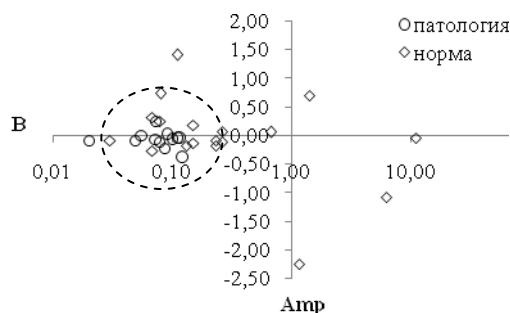


Рисунок 5 - Области нормы и патологии для отдельных деревьев

Таким образом, оценка состояния деревьев в насаждении может проводиться по параметрам (A_{mp} , B), полученным по функции спектральной мощности.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований получены предварительные характеристики состояния отдельных деревьев лиственницы сибирской, произрастающих в разных условиях с точки зрения антропогенного воздействия:

- средние значения диэлектрических показателей у деревьев в норме и у деревьев с признаками патологии значительно отличаются, оценка состояния деревьев в насаждении может проводиться по параметрам (A_{mp} , B), полученным по функции спектральной мощности;
- диэлектрические характеристики прикамбиального комплекса тканей лиственницы сибирской указывают на наличие патологических процессов;
- большинство исследуемых деревьев лиственницы сибирской, произрастающих как в посадках вдоль улиц с интенсивным движением автотранспорта, так и в парках, удаленных от автомобильных дорог, находятся ослабленном состоянии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Воронцов, А.И. Технология защиты леса: учебник для вузов / А.И. Воронцов, Е.Г. Мозолевская, Э.С. Соколова. - М.: Экология, 1991. - 304 с
- Голодрига, П.Я. Диагностика морозоустойчивости при генетических исследованиях растений / П.Я. Голодрига // Цитология и генетика. - 1968. - № 4. - С. 329-337.
- Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 году" М.: ООО «РППР РусКонсалтингГрупп», 2009. - 488 с.
- Дженкинс, Г. Спектральный анализ и его применение. Т.1. / Г. Дженкинс, Д. Ваттс. - М.: Мир, 1971. - 316 с. http://www.mnr.gov.ru/files/part/7928_gosdoklad.rar
- Дылис, Н.В. Лиственница / Н.В. Дылис. - М.: Лесная промышленность, 1981. - 96 с.
- Мозолевская, Е.Г. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней / Е.Г. Мозолевская, О.А. Катаев, Э.С. Соколова. - М.: Лесная промышленность, 1984. - 152 с.
- Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. - Новосибирск: Наука, 1979. - 280 с.
- Положенцев, П.А. Динамика электрического сопротивления тканей луба сосны как индикатор изменения их физиологического состояния / П.А. Положенцев, Л. А. Золотов // Физиология растений. - 1970, Т. 17. № 4. - С. 830 - 835.
- Суховольский, В.Г. Биофизические методы оценки местообитаний большого соснового долгоносика / Суховольский В.Г. // Экологическая оценка местообитаний лесных животных. - Новосибирск: Наука, 1987. - С. 116 - 122.
- Суховольский, В.Г. Диэлектрическая спектроскопия прикамбиального комплекса тканей и экспресс-диагностика состояния древесных растений / В.Г. Суховольский, А.В. Ковалев, Д.В. Сотниченко // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса. - Красноярск: ИЛ СО РАН, 2009. - С. 335 - 336.
- Суховольский, В.Г. Диэлектрический импульсный фурье-спектрометр // В.Г. Суховольский, С.П. Прозоров, Н.Д. Яснот, Б.Н. Недорезова, А.Н. Борисов // Сибирский прибор. - Новосибирск, 1987. - С. 34.

Поступила в редакцию 15 апреля 2010 г.

Принята к печати 13 октября 2010 г.