

Адвокатов В.Р., Башкуев Ю.Б., Балханов В.К. Электрические характеристики разных типов лесной среды // ЭВЭС, 2012. № 1. С. 47-50

УДК 537.12: 537.226.2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ

Адвокатов В.Р., Башкуев Ю.Б., Балханов В.К.

Отдел физических проблем Бурятского НЦ СО РАН,
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, E-mail: ballar@yandex.ru

Приведены результаты измерения электрических параметров хвойных, лиственных и смешанных деревьев в естественных условиях. Методом электрического зондирования определены значения кажущегося удельного электрического сопротивления древесины разных типов деревьев. Радиоимпедансным методом измерены эффективные электрические параметры “лесо-слоя” в СДВ – ДВ диапазонах радиоволн для соснового, березового и смешанного лесов.

Ключевые слова: электрические параметры, лесо-слой.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние лесной растительности на распространение СДВ-ДВ-СВ и УКВ радиоволн активно исследуется в течение последних нескольких десятилетий. Предложены различные модели и новые подходы [1,2]. В диапазоне средних и более длинных радиоволн интересными являются результаты В.А. Егорова [3]. Им установлены особенности распространения радиоволн вдоль залесенных трасс, свидетельствующие о существовании поверхностных электромагнитных волн Ценнеки [4]. В вопросе о влиянии лесной растительности на распространение радиоволн очень актуально знание точных электрофизических характеристик трехкомпонентной смеси “воздух-древесина-листва”. В статье рассматриваются результаты измерений

кажущегося удельного электрического сопротивления стволов деревьев разного типа, а также эффективные электрические параметры $\sigma_{л}$ и $\varepsilon_{л}$ “лесо-слоя” на частотах 50, 180 и 279 кГц.

Метод электрического зондирования (в геофизике это метод ВЭЗ) является одним из методов диагностики неоднородной среды на постоянном или низкочастотном переменном токе, основанных на изучении величины кажущегося удельного сопротивления ρ_k геоэлектрического разреза в зависимости от геометрических размеров установки [5]. Для измерений кажущегося удельного электрического сопротивления стволов деревьев применялась симметричная четырехэлектродная установка AMNB. На поверхности древесины в точках А и В (полуразнос $AB/2 = 0.8$ м) располагались тонкие медные питающие электроды, через которые от источника тока в ствол древесины поступает ток J (мА). Электрическое поле питающих электродов исследуется измерением разности потенциалов U (мВ) между точками М и N, в которые помещены приемные тонкие электроды. Измерения осуществлялись с помощью автокомпенсатора электроразведочного типа АЭ-72. Кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k вычислялось по формуле: $\rho_k = K U / J$, где K – коэффициент, рассчитываемый теоретически и зависящий от принятой модели исследуемого объекта, в нашем случае, ствола древесины различных типов деревьев. Нами была принята цилиндрическая модель и коэффициент вычислялся по формуле: $K = \pi R^2 / MN$, где R – радиус ствола древесины (см), MN – длина приемной линии (см).

В работе [5] отмечено, что для определения удельного сопротивления исследуемого образца необходимо измерить отношение электрических параметров U/J , имеющее размерность сопротивления (Ом), а затем умножить это отношение на некоторый геометрический коэффициент формы образца с размерностью длины (м). Для куба этот коэффициент равен длине ребра, для цилиндра – отношению сечения образца к расстоянию между

приемными электродами, а для плоскости - он зависит от расстояний между всеми четырьмя электродами измерительной установки, для тонкого слоя – пропорционален толщине слоя. Таким образом, все методики измерений удельного сопротивления в обязательном порядке требуют определенной формы образца в каком-то приближении и знания соответствующего, рассчитываемого теоретически коэффициента этой формы. Цилиндрический образец, по утверждению [5], может быть хорошей и адекватной моделью при наблюдениях за удельными сопротивлениями стволов или веток растений. Но в то же время можно ожидать, как отмечает Ю.Б. Шауб, что далеко не все объекты биологических исследований будут иметь сравнительно простую и удобную форму, представляемую простыми поверхностями, для которых может быть вычислен необходимый геометрический коэффициент. Объекты наших исследований (лес, древесина стволов древесины) являются сложными природными средами, в которых протекают непрерывные, изменяющиеся со временем физиологические процессы. Известно, в частности, что по центральным слоям ствола дерева перемещаются вверх поставляемые корнями растворы минеральных веществ, а по слоям, расположенным ближе к коре, движутся вниз продукты фотосинтеза листьев.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСА

Для определения электрических параметров “лесо-слоя” использовано предложенное В. А. Егоровым [3] соотношение для вертикально поляризованной плоской волны в “лесо-слое”:

$$\delta = E_n / (Z_0 H_\tau) = 1 / \varepsilon_{lk}, \quad (1)$$

где E_n - нормальная к поверхности Земли составляющая напряженности электрического поля, H_τ - горизонтальная (тангенциальная) составляющая магнитного поля, $\varepsilon_{lk} = \varepsilon_l + i 60 \lambda \sigma_l$ - относительная комплексная диэлектрическая проницаемость леса, $Z_0 = 377$ Ом – характеристический

импеданс вакуума, δ - нормальный импеданс, ε_n и σ_n - статические эффективные значения диэлектрической проницаемости и проводимости соответственно. Из соотношения (1) следует, что измерению подлежит отношение E_n и H_τ , которое может быть измерено измерителем импеданса ИПИ-300 с использованием полей действующих радиостанций. Для измерений вертикальной составляющей электрического поля E_n использован вертикальный провод длиной 2 м, подключаемый к прибору ИПИ-300 через предварительный усилитель типа УНИПАН 233.7 [6]. Низкий уровень входных шумов и большой входной импеданс 100 МОм/1.5 пф предусилителя дают возможность осуществления измерений с высокой точностью слабых сигналов в широком диапазоне частот.

Измерения параметров “лесо-слоя” начинались с калибровки прибора ИПИ-300, т.е. проводились измерение величин E_n и H_τ на открытом пространстве вблизи леса на всех рабочих частотах. После калибровки прибора ИПИ-300 приступили к измерению параметров леса. Датчики для измерения E_n и H_τ располагались симметрично относительно окружающих деревьев. Места измерений выбирались на типичных участках леса, причем поблизости не было полей, деревьев другого типа и проводных линий. Для получения усредненных параметров “лесо-слоя” проводят измерения в нескольких точках данного типа леса. В наших условиях измерения проведены на 3 частотах – 50, 180 и 279 кГц. Эффективные значения ρ_n и ε_n лесо-слоя определялись соотношениями:

$$\rho_n (\text{кОм.м}) = -\frac{18000}{f(\text{кГц})} \frac{|\delta|}{\sin \varphi}, \quad \varepsilon_n = \frac{\cos \varphi}{|\delta|},$$

где $|\delta|$ и φ - модуль и фаза нормального импеданса.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В летний сезон проведены измерения электрических параметров хвойных, смешанных и лиственных деревьев в естественных условиях.

Методом 4-х электродной установки определены значения кажущегося удельного электрического сопротивления древесины разных типов деревьев (рис.1,2). Кривые ρ_k на стволах различных типов деревьев дают следующую

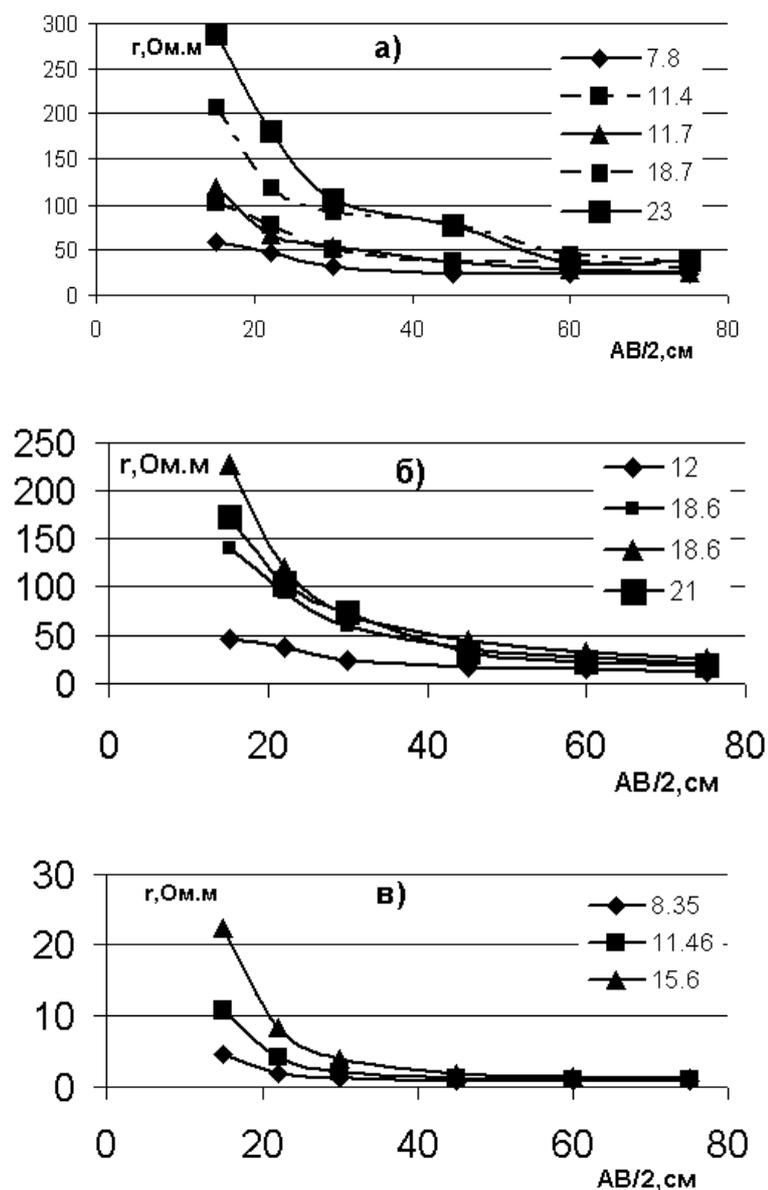


Рис 1. Кривые ВЭЗ на стволах деревьев (а – сосна, б – лиственница, в – тополь) при различных значениях радиуса ствола. Радиусы ствола (см) обозначены цифрами.

картину. Для каждой группы деревьев, с разными радиусами стволов, кривые зависимости кажущегося удельного электрического сопротивления от полуразноса питающих электродов $AB/2$ выходят на асимптоту. Так, для сосны $\rho = 31$ Ом·м, для лиственницы $\rho = 19.6$ Ом·м, для тополя $\rho = 1.1$ Ом·м, для березы $\rho = 7$ Ом·м, для ильма $\rho = 6$ Ом·м и для черемухи $\rho = 11$ Ом·м.

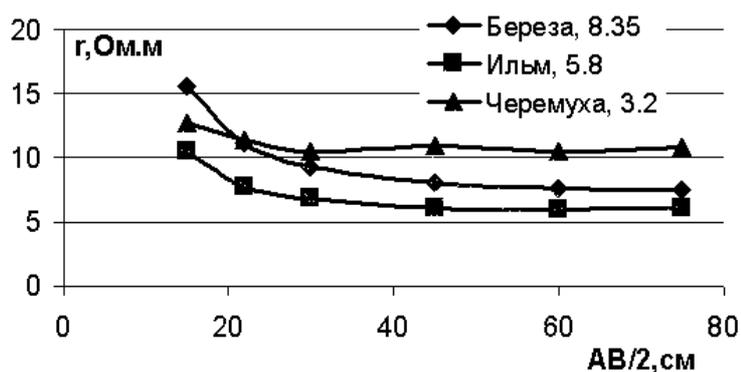


Рис 2. Кривые ВЭЗ на стволах деревьев (береза, ильма, черемуха) при различных значениях радиуса ствола. Радиусы ствола (см) обозначены цифрами.

Наличие асимптоты связано с тем, что при увеличении разноса АВ/2 внешнее электрическое поле начинает охватывать весь ствол дерева, так что получаемое асимптотическое значение удельного сопротивления является истинным для данного класса дерева. Различные значения удельного электрического сопротивления на малых разносах связано со слоистой структурой древесины. С увеличением радиуса ствола дерева выход на асимптоту происходит позже. Так, для черемухи с малым радиусом ствола (рис.2) асимптотическое проявление происходит почти сразу.

С использованием аппаратуры ИПИ – 300 измерены эффективные параметры ρ_l , ε_l «лесо-слоя» на трех частотах действующих радиостанций в СДВ – ДВ диапазонах радиоволн. Получены значения эффективных электрических параметров «лесо-слоя» для смешанного, березового и соснового лесов (табл.1-3).

Таблица 1. Электрические характеристики смешанного (сосна, береза) леса, измеренные ИПИ-300.

Расст. от опушки в глубь леса, м	$f=50$ кГц				$f=180$ кГц				$f=279$ кГц			
	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м
50	0.17	63	2.2	66	0.47	36	1.6	74	0.52	21	1.8	84
150	0.13	64	2.8	50	0.44	40	1.6	65	0.52	31	1.6	60
220	0.19	64	2.8	78	0.5	40	1.6	88	0.65	31	1.4	93

Таблица 2. Электрические характеристики березового леса, измеренные ИПИ-300.

Расст. от опушки в глубь леса, м	$f=50$ кГц				$f=180$ кГц				$f=279$ кГц			
	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м
150	0.23	56	2	93	0.59	29	1.5	116	0.74	24	1.2	115

Таблица 3. Электрические характеристики соснового леса, измеренные по профилю длиной 480 м ИПИ-300.

Расст. от опушки в глубь леса, м	$f=50$ кГц				$f=180$ кГц				$f=279$ кГц			
	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м	$ \delta $	$-\varphi_\delta$ град	ε_l	ρ_l , кОм·м
30	0.19	65	2.2	75	0.36	48	1.8	50	0.68	38	1.1	70
110	0.17	75	1.5	64	0.5	50	1.3	66	0.68	28	1.3	93
190	0.2	71	1.6	75	0.52	45	1.4	74	0.65	17	1.5	138
270	0.23	77	1	84	0.52	47	1.3	72	0.65	20	1.4	120
350	0.19	75	1.4	70	0.45	46	1.6	62	0.48	28	1.8	65
430	0.22	74	1.2	81	0.42	38	1.9	67	0.5	34	1.6	57
510	0.25	69	1.4	98	0.48	29	1.8	100	0.66	36	1.2	72

ВЫВОДЫ

Установлено, что кривая зависимости кажущегося удельного электрического сопротивления с увеличением полуразноса питающих электродов на стволе дерева выходит на асимптоту. Предложено считать, что асимптотическое значение удельного сопротивления является истинным для данного дерева. Установлено, что с уменьшением радиуса ствола асимптотическое проявление происходит раньше.

Определены эффективные электрические параметры “лесо-слоя” для соснового, березового и смешанного лесов в СДВ-ДВ диапазонах радиоволн. На частотах 50, 180 и 279 кГц ρ_l и ε_l изменяются в пределах 50-100 кОм·м и 1.1-1.8 соответственно, что согласуются с известными литературными данными.

Работа частично поддержана РФФИ грантами №№ 08-01-98005, 08-01-98006, 08-02-98007 и интеграционным проектом СО РАН № 56.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубовский Ю.В. Электроразведка – М.: Недра, 1973. 302 с.
2. Мусинянц Т.Г., Внотченко С.Л., Достовалов М.Ю., Ермаков Р.В., Жаровская Е.П., Теличев А.В. Оценка ослабления сигнала в лесных массивах при радиолокационном зондировании в дециметровом диапазоне // Исследование Земли из космоса, 2009. № 6. С. 39-48.
3. Егоров В.А. Влияние растительного покрова на распространение средних и более длинных электромагнитных волн // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2007. 21 с.
4. Дацко В.Н., Копылов А.А. О поверхностных электромагнитных волнах // Успехи физических наук, 2008. Т.178. №1. С. 109-110.
5. Шауб Ю.Б., Шауб С.К. Электрметрия для экологических и биофизических исследований – М.: Наука, 1992. 192 с.
6. Башкуев Ю.Б., Адвокатов В.Р., Балханов В.К. Способ измерения эффективных электрических свойств лесной среды в длинноволновом диапазоне радиоволн и устройство для его осуществления - ПАТЕНТ на изобретение № 2336520 С1 G 01N 22/00, G 01R 27/00. Бюллетень № 29 от 20 октября 2008 г.