

Библиографические ссылки

1. Tamir T. Radio waves propagation along mixed paths in forest environments // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1977. Vol. 25. P. 471–477.
2. Analysis of radio wave propagation in a four-layered anisotropic forest environment / L. W. Li, J. H. Koh, T. S. Yeo et al. // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 1999. Vol. 37. P. 1967–1979.
3. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. C. Empirical near ground path loss modeling in a forest at VHF and UHF bands // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 2009. Vol. 57. P. 1461–1468.

References

1. Tamir T. Radio waves propagation along mixed paths in forest environments. IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 25, Jul. 1977, pp. 471–477.
2. Li L. W., Koh J. H., Yeo T. S., Leong M. S., Kooi P. S. Analysis of radio wave propagation in a four-layered anisotropic forest environment. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 37, Jul. 1999, pp. 1967–1979.
3. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. C. Empirical near ground path loss modeling in a forest at VHF and UHF bands. IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 57, May 2009, pp. 1461–1468.

© Ветлужский А. Ю., Калашников В. П., 2013

УДК 550.837

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДАРА «ОКО-2»

В. Б. Хаптанов, Ю. Б. Башкуев, М. Г. Дембелов

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, Улан-Удэ, ул. М. Сахьяновой, 6. E-mail: valery433210@rambler.ru

Рассмотрены результаты исследования характеристик лесной среды с использованием георадара «Око-2». Предложена методика оперативного дистанционного определения плотности лесного массива на основе георадарной технологии с погрешностью 5 %.

Ключевые слова: георадар, плотность лесной среды.

DETERMINATION OF THE FOREST ENVIRONMENT DENSITY WITH THE USE OF GPR “EYE-2”

V. B. Khaptanov, Yu. B. Bashkuev, M. G. Dembelov

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch Russian Academy of Sciences
6 Sakhyanova st., Ulan-Ude, Russia. E-mail: valery433210@rambler.ru

In the report the author present results of studies of the forest environment characteristics with the use of GPR “Eye-2”. The technique of operational remote determination of the forest environment density, based on GPR technology with accuracy of 5 %, is proposed.

Keywords: GPR, forest environment density.

Известно, что на территории России леса покрывают площадь свыше 7 млн км², из них в Предбайкалье и Забайкалье – 960 тыс. км² (60 % территории). Главную роль в Сибири играют хвойные леса – сосна, лиственница, ель, кедр. Из лиственных пород наиболее широко распространены береза и осина. Сосновые леса, преобладающие в регионе, обычно растут на сухих песчаных грунтах и южных склонах гор. Высота деревьев изменяется от 5 до 30 м, в среднем 10–20 м; диаметр ствола – от 0,1 до 0,8 м, в среднем 0,15–0,35 м. На открытых местах высота деревьев ниже, чем в густом лесу. Для прогнозирования распространения радиоволн вдоль земной поверхности, покрытой лесом, необходимо знать как

электрические параметры лесной растительности ($\sigma_{\text{л}}$ и $\varepsilon_{\text{л}}$), так и плотность (густоту) лесной среды. В литературе имеется ограниченное количество экспериментальных данных [1], полученных в различных физико-географических условиях (субтропики, европейская часть России, Северная Америка). Существует определенная связь между типом деревьев и геоэлектрическим разрезом подстилающей среды. Например, для песчаных грунтов, на которых растут сосновые леса, характерны геоэлектрические разрезы типа $\sigma_1 < \sigma_2$, где $\sigma_1 = 0,4\text{--}3,3$; $\sigma_2 = 3,7\text{--}24$ мСм/м; $h_1 = 5\text{--}38$ м. Горные породы хребтов, покрытых лесом, имеют обычно геоэлектрический разрез типа $\sigma_1 > \sigma_2$, где $\sigma_1 \leq 1\text{--}3$ мСм/м.

Методика и результаты. Для исследования характеристик лесной среды (хвойного леса) использовался георадар «Око-2» с антенными блоками АБ-250, АБ-400 и АБ-1700 производства ООО «Логис» (Москва). Центральные частоты антенных блоков 250, 400 и 1 700 МГц, которым соответствуют длины волн 1,2, 0,75 и 0,18 м. Лес облучается георадаром, установленным на движущемся вдоль лесной дороги автомобиле. Участок леса с видом со спутника и по ходу движения автомобиля представлен на рис. 1. Стрелкой показана траектория движения.

Ствол дерева представляет собой вертикальный цилиндрический переизлучатель, имеющий существенно отличные от приземного воздуха электродинамические параметры: удельную электрическую проводимость $\sigma_{\text{л}} = 10^{-2} - 10^{-3}$ См/м и диэлектрическую проницаемость $\epsilon_{\text{л}} = 4 - 30$. На радарограммах 100 м профиля зондирования лесного массива тремя антенными блоками с вертикальной поляризацией (рис. 2) четко выделяются отражения от стволов деревьев в виде гипербол. На радарограмме с антенным блоком АБ-1700 при наилучшем пространственном разреше-

нии не хватает временной развертки для охвата лесного массива на глубину более 10 м (рис. 2, а). Радарограмма с наиболее низкочастотным антенным блоком АБ-250 демонстрирует нехватку пространственного разрешения близко стоящих деревьев в правой части и недостаточное соотношение «сигнал/шум» с увеличением расстояния более 10 м в глубину лесного массива (рис. 2, б). Радарограмма с антенным блоком АБ-400 показывает наилучшее соотношение сигнал/шум, что позволяет идентифицировать гиперболы (отражения) от отдельных стволов деревьев вплоть до 30 м в глубину лесного массива. В большой степени это обусловлено оптоэлектронной (гальванической) развязкой антенного блока АБ-400 и блоком управления георадара, которой нет у антенных блоков АБ-1700 и АБ-250. Горизонтальная поляризация зондирующего сигнала дает менее четкую радарограмму лесного массива (рис. 2, в). Этот эффект обусловлен тем, что при параллельной стволу дерева поляризации зондирующего электромагнитного импульсного поля (Е-компонента) эффективная площадь рассеяния дерева будет выше.

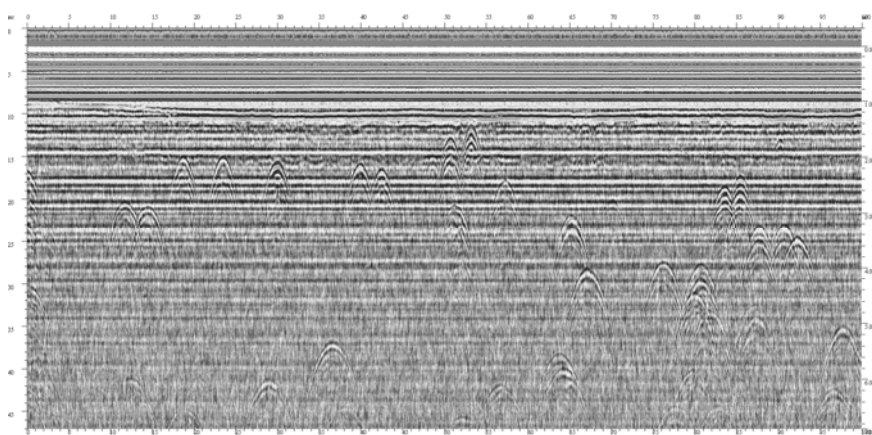


а

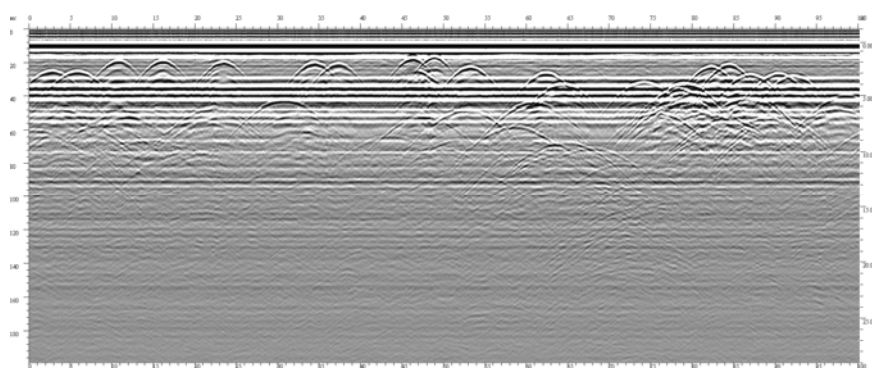


б

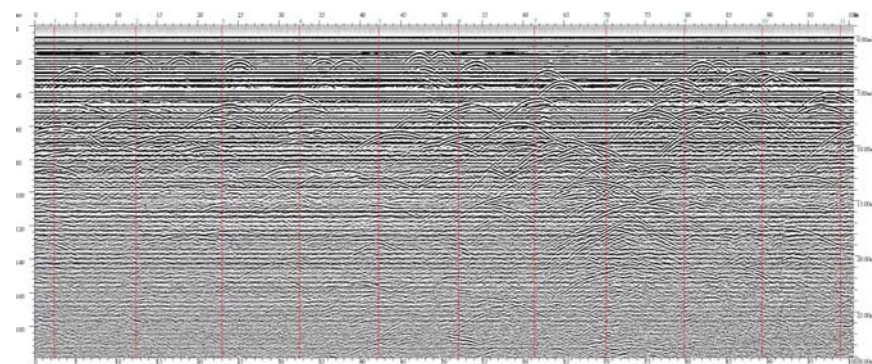
Рис. 1. Вид участка с карты Google (а) и тестовый участок лесного массива (б). Стрелкой показана траектория движения автомобиля с георадаром «Око-2» с антенным блоком АБ-400



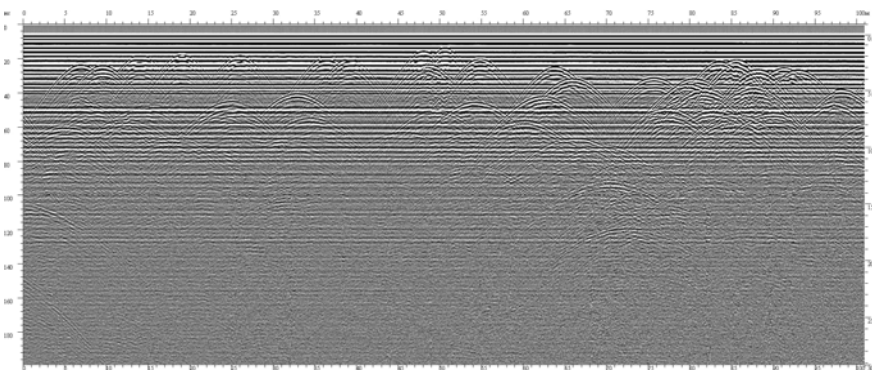
a



б



в



г

Рис. 2. Радарограммы лесного массива. Геоудар «Око-2»:
a – АБ-1700 (вертикальная поляризация; *б* – АБ-250 (вертикальная поляризация);
в – АБ-400 (вертикальная поляризация); *г* – АБ-400 (горизонтальная поляризация)

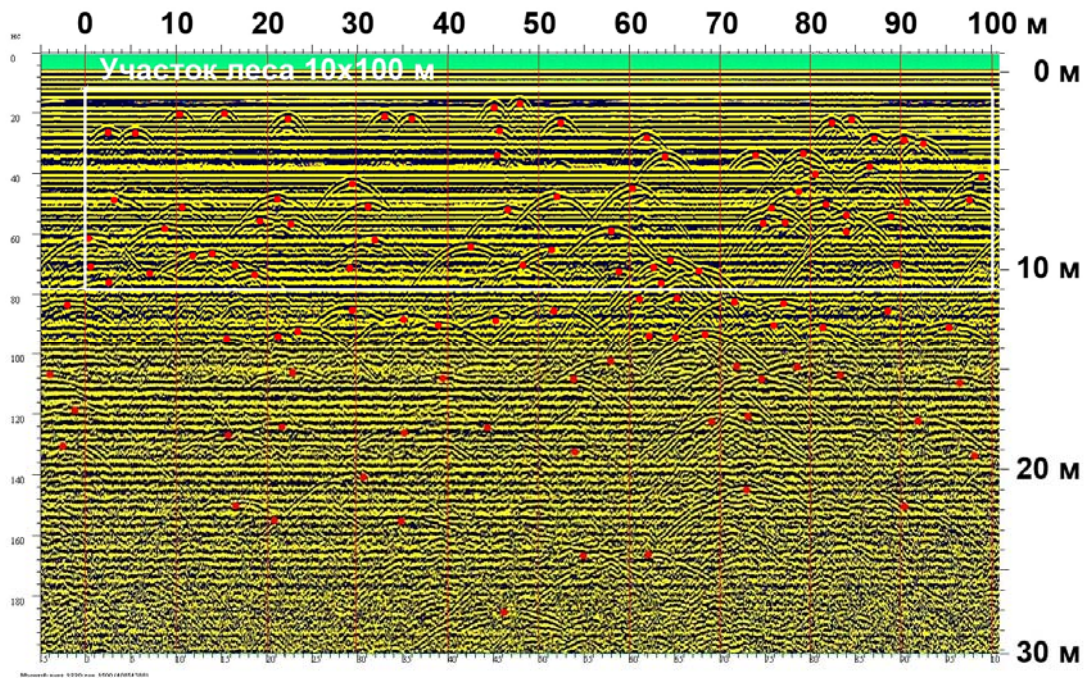


Рис. 3. Радарограмма лесного массива. Расположение стволов деревьев обозначено точками. Белым прямоугольником выделен тестовый участок 10 × 100 м

Подсчет количества гипербол на заданной площади дает возможность оперативно и производительно определить плотность лесного массива (рис. 3). В эксперименте, выполненном георадаром «Око-2» с антенным блоком АБ-400 на центральной частоте 400 МГц ($\lambda = 75$ см) на тестовом участке леса 10×100 м [10 ар] выделено 64 гиперболы отраженного сигнала от стволов хвойных (сосновых) деревьев, обозначенных на рис. 3 точками. Сравнение с фактическим количеством деревьев показало 3 пропуска из-за эффекта затенения при близком расположении стволов, что составляет 95,5 % от истинного количества деревьев.

В результате исследования лесного массива георадаром «Око-2» с различными антенными блоками

предложена методика оперативного дистанционного определения плотности лесного массива на основе георадарной технологии с погрешностью 5 %.

Библиографическая ссылка

1. Башкуев Ю. Б. Электрические свойства природных слоистых сред. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1996.

Reference

1. Bashkuev Yu. B. Electrical properties of natural layered media. Novosibirsk, publishing house of the Russian Academy of Sciences, 1996. 207 p.

© Хаптанов В. Б., Башкуев Ю. Б., Дембелов М. Г., 2013

УДК 621.396.94

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Б. Ч. Доржиев, О. Н. Очиров, Б. В. Содномов

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
670047, Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: 1_2_z@mail.ru

Представлены результаты радиолокации березового леса с расположенным внутри него уголковым отражателем. Приведено краткое описание измерительного комплекса, использованного при измерениях. Выявлен эффект значительного увеличения отраженного сигнала и оценен относительный контраст между уровнем отраженного сигнала от леса и цели. Данный эффект дает возможность определения местоположения цели в лесной среде.

Ключевые слова: сверхкороткоимпульсная радиолокация, лесная среда.