

УДК 537.87

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.36

ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОТОМОГРАФИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЯ

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

Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН,

Российская Федерация, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: 1_2_z@mail.ru

Предложен подход к определению горизонтальной структуры древостоя на основе современной технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации. Радиотомография лесных сред, проведённая с использованием наносекундного радара, показывает перспективность данного подхода при определении пространственной структуры древостоя. Для определения типа пространственного распределения деревьев использована радиальная функция распределения.

Ключевые слова: горизонтальная структура древостоя; сверхкороткоимпульсная радиолокация; томография; таксация леса.

Введение. Рациональная лесная политика невозможна без мониторинга лесных ресурсов, который обеспечивает оценку текущего состояния лесов, анализ и прогноз возможных изменений на фоне естественных процессов и антропогенных факторов. В настоящее время на большую часть территории России имеется ежегодное многократное покрытие спутниковыми данными различного разрешения [1–3]. Вместе с тем, интенсивное внедрение аэрокосмических методов слежения за состоянием лесных ресурсов не снижает значения наземных исследований, обследований и учётов [4, 5]. Более того, их значимость повысится, поскольку возрастает потребность в знании экологических закономерностей, значительно повышающих информативность аэрокосмических изображений [6].

В последнее время появились работы, посвящённые изучению пространственной структуры экологических систем, в частности, горизонтальной структуры древостоя [7]. Анализ размещения деревьев позволяет оценить процессы, протекающие в растительном сообществе. Напри-

мер, анализ расстояний между деревьями позволяет определить напряжённость конкурентных взаимоотношений, в то время как изменение локальной плотности деревьев свидетельствует о неоднородности внешних условий.

Однако наземная инвентаризация отдалённых и обширных лесных районов требует больших временных и трудовых затрат. Существующие известные наземные методы таксации лесов основаны на использовании как традиционных методов, так и современных ультразвуковых и лазерных технологий. Между тем, создание единой материально-технической базы по приёму, анализу и преобразованию информации о состоянии лесов, получаемой дистанционными и наземными методами, требует проведения значительной научно-исследовательской и организационной работы.

Цель работы – оценить потенциал нового подхода к изучению пространственной структуры древостоев методами сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИРЛ) на примере однородного участка соснового леса.

© Доржиев Б. Ч., Очиров О. Н., Содномов Б. В., 2016.

Для цитирования: Доржиев Б. Ч., Очиров О. Н., Содномов Б. В. Возможности радиотомографии для решения задач определения горизонтальной структуры древостоя // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С. 36–44. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.36

Для достижения поставленных целей решаются следующие **задачи**: исследование ослабления сверхкороткоимпульсного сигнала в лесной среде и выявление специфических особенностей данного процесса, разработка метода радиотомографии лесных сред на основе комплексного подхода с использованием традиционных методов таксации и многопозиционного сканирования лесных участков наносекундным радаром, определение горизонтальной структуры древостоя по термограмме леса.

Используемые приборы, методика и объект измерений. К области СКРП относится радиолокация в сантиметровом и миллиметровом диапазонах с зондирующим импульсом 10 нс с высокочастотным заполнением*. Таким образом, согласно данному определению, используемые приборы должны соответствовать указанным техническим параметрам.

Экспериментальные данные были получены с помощью мобильного измерительного комплекса, в состав которого входят: твердотельный наносекундный радар, USB-осциллограф и ноутбук для регистрации и записи сигнала. На рис. 1 представлен общий вид радара, в таблице приведены его основные технические характеристики.



Рис. 1. Общий вид приемо-передающего радарного комплекса

Технические характеристики приемо-передающего радарного комплекса

Основные технические характеристики передатчика	
несущая частота	10 ГГц
длительность импульса на полувывоте	10 ± 2 нс
частота повторения импульсов	5 кГц
нестабильность амплитуды импульсов	не более 1 %
нестабильность длительности импульсов	не более 1 %
нестабильность несущей частоты	не более 0,1 %
номинальная пиковая мощность импульсов СВЧ-излучения	40 Вт
коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) нагрузки	не более 1,5
подстройка несущей частоты	механическая
запуск	от приёмника
размеры выходного волновода	23×10 мм
Основные технические характеристики приёмника	
несущая частота	10,06 ГГц
уровень собственных шумов	-117 дБ/Вт
динамический диапазон	не менее 70 дБ
полоса частот входного сигнала	не менее 100 МГц
максимально допустимая мощность на входе приёмника при скважности не менее 10^3	не более 40 Вт
уровень ограничения выходного сигнала	1,4 В

* Дождиков В.Г., Лифанов Н.С., Салтан М.И. Энциклопедический словарь по радиоэлектронике, оптоэлектронике и гидроакустике. М.: Издательство ИАЦ Энергия, 2008. 611 с.

При проведении измерений производится настройка осциллографа по уровню и времени прихода отражённого сигнала. В памяти аналого-цифрового преобразователя (АЦП) осциллографа формируется сигнал со следующими параметрами: t – время прихода сигнала, U – уровень отражённого сигнала. Шаг дискретизации составляет 40 нс. Специальная программа чтения АЦП формирует файл в формате csv.

Полученные данные переформатируются следующим образом – время прихода отражённого сигнала пересчитывается в расстояние, а уровень отражённого сигнала, при последующей обработке, в децибелы.

В работе [8] отмечен ряд специфических особенностей СКИРЛ, к числу которых относится высокая разрешающая способность, высокая контрастность отражений от объектов, высокая точность измерения дальности до объекта, а также ряд других особенностей, отличающих её от традиционной радиолокации. Например, разрешающая способность радара, то есть минимальное расстояние, на котором выделяются два объекта, определяется длительностью зондирующего импульса как $c\tau_i/2$, где c – скорость света, τ_i – длительность импульса. При $\tau_i=10$ нс разрешающая способность составляет 1,5 м, что приблизительно соответствует половине среднего расстояния между деревьями для леса средней густоты. В случае традиционной радиолокации при $\tau_i=10$ мкс разрешение будет на два порядка меньше. Таким образом, в случае СКИРЛ реализуется достаточно высокое пространственно-временное разрешение.

В ходе экспериментальных исследований была выявлена ещё одна особенность СКИРЛ, а именно – регистрация отражённого сигнала при его прохождении на большое расстояние вглубь лесной среды. Сочетание данных особенностей СКИРЛ является основанием для радиотомографии лесных сред. Традиционно

изображение в томографии формируется по измеренной синограмме объекта (согласно ГОСТ Р МЭК 61675-1-2006* синограмма – это двумерное изображение всех одномерных проекций объекта как функция проекционного угла). Проекционный угол изображения отображается по ординате, линейные координаты проекции отображаются по абсциссе. На рис. 2 условно показана схема измерений, где стрелками указаны направления сканирования.

Справа на этом же рисунке приведена одна из записей отражённого сигнала, показывающая распределение амплитуд сигнала от расстояния.

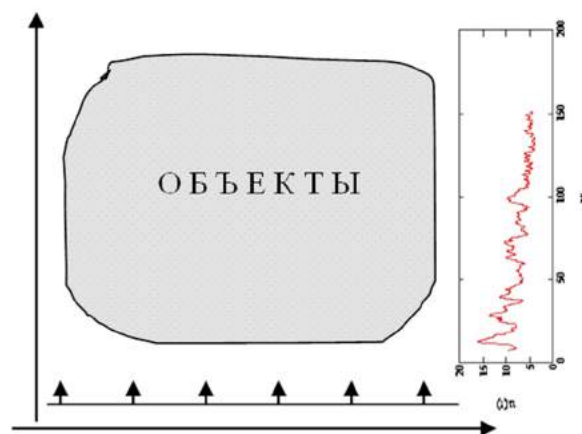


Рис. 2. Схема измерений

Натурные исследования проводились на территории Кабанского заказника, относящегося к одному из 18 эталонных лесничеств России. Для проведения измерений выбирались участки однородных сосновых лесов с выраженной двухъярусной структурой (стволы, крона). Территория заказника разбита на кварталы разделёнными ровными просеками шириной 50 м. Таким образом, реализованы практически идеальные условия для стандартизированных измерений. В других случаях возможен метод однопозиционной радиотомографии, когда набор проекций

* ГОСТ Р МЭК 61675-1-2006 Устройства визуализации радионуклидных. Характеристики и условия испытаний. Часть 1. Позитронные эмиссионные томографы.

формируется за счёт углового сканирования, например, [9]. На рис. 3 представлен общий вид тестового участка с измерительным комплексом.



Рис. 3. Общий вид тестового участка

Вдоль кромки леса предварительно размечались трассы с отметками через 3 м. Направление сканирования перпендикулярно кромке леса, что согласуется с методикой измерений [9].

В определённой точке проводятся измерения, далее мобильный комплекс передвигается на следующую точку измерений вдоль трассы и следует повтор измерений.

Результаты и их обсуждение. *Обработка и анализ экспериментальных данных.* Результаты измерений по нескольким трассам приведены на рис. 4, где по оси абсцисс указана дальность в метрах, по оси ординат – уровень отражённого сигнала в мВ. Как показывают экспери-

ментальные осциллограммы, глубина зондирования достигает 150 м. На осциллограмме отдельные пики соответствуют отражениям от отдельных стволов.

Таким образом, здесь наглядно представлены указанные выше особенности СКИРЛ, а именно, контрастность отражений, высокое разрешение по дальности. Ещё одним выявленным отличием СКИРЛ от традиционной радиолокации является возможность зондирования отдельных «затенённых» деревьев, стоящих друг за другом вдоль линии сканирования. Подтверждением данного эффекта служит сопутствующий эксперимент, проведённый во время ремонтных работ на станции. Направление облучения выбиралось так, что первый столб визуально закрывал за собой все остальные (рис. 5, а). Всего освещивалось пять столбов (рис. 5, б), а результаты измерений представлены на рис. 5, в. Как видно из осциллограммы, отражения от столбов, имитировавших «затенённые» стволы деревьев, чётко отражены в виде отдельных пиков до расстояния 40 м. Данный эффект играет весьма существенную роль при сверхкороткоимпульсном зондировании лесных сред, поскольку в отличие от лазерных и ультразвуковых методов позволяет проводить измерения, не ограничиваясь визуальной видимостью. Соответственно увеличивается площадь съёмки по сравнению с другими методами.

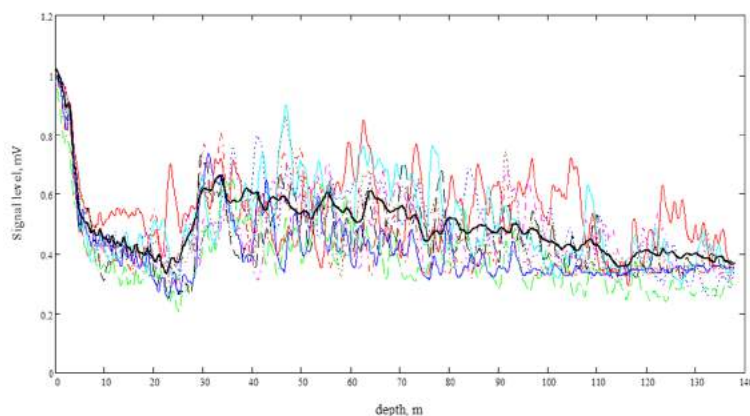


Рис. 4. Осциллограммы отражённых сигналов



Рис. 5. Определение «затенённых» деревьев

Обработка экспериментальных данных проводится в несколько этапов. Лесная среда, как объект исследования, одновременно является средой распространения короткоимпульсного излучения. Вследствие рассеяния волн на элементах лесной среды амплитуда отражённого сигнала убывает с расстоянием. Таким образом, необходимо провести оценку ослабления с использованием коэффициента погонного ослабления, показывающего уменьшение уровня сигнала на единицу расстояния. Практически данный коэффициент определяется из экспериментальных данных как отношение разностей уровня сигнала в дБ на определённых расстояниях к разнице соответствующих расстояний. Убывание аналитического сигнала, за который принимается огибающая отражённых импульсов, достаточно хорошо аппроксимируется линейной регрессией, что упрощает данную процедуру. Среднее значение коэффициентов погонного ослабления, оценённое по данной методике, составило 0,2 дБ/м.

Далее следует перенормировка сигнала с учётом полученного коэффициента погонного ослабления.

Радиотомограмма леса. Как уже отмечалось, для радиотомографических измерений был выбран участок однородного соснового леса, на котором предварительно были проведены таксационные измерения высот и диаметров деревьев, а также составлен план данного участка. Тестовый участок был разбит на квадраты со стороной 10 м, внутри которых на плане

отмечалось реальное расположение деревьев. Таксационные данные в дальнейшем используются для оценки возможностей применения радиотомографии при анализе пространственной структуры.

Для построения томограммы по данным всех проекций используются графические программные пакеты. При этом производится дополнительная корректировка уровня сигнала в дБ, в результате строится контурный график с цветными градациями, который и представляет томограмму исследуемого участка. Более яркие области соответствуют местоположениям отдельных деревьев или группе близко расположенных деревьев.

Полученная радиотомограмма и план соответствующего участка леса представлены на рис. 6. Их совмещение показывает удовлетворительное соответствие, вплоть до положения отдельных деревьев. В целом совпадение составило 80 %. Более точная оценка затруднительна из-за дополнительных неоднородностей, связанных с неотмеченным на плане подростом.

Томограмма представляет мозаику дискретных областей, соответствующих значениям уровней отражённых сигналов. Возможны два варианта представления томограммы. В первом случае используется цветовая градация, где более яркие области соответствуют положениям деревьев. Томограмма отображает специфическую картину расположения однотипных контуров, а их форма и количество дают представление о пространственном расположении деревьев. Таким образом,

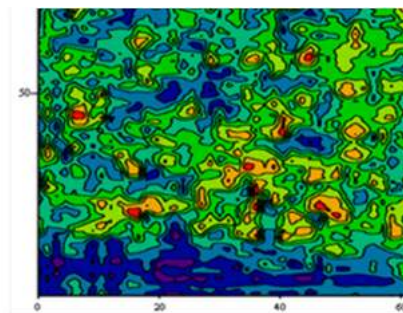
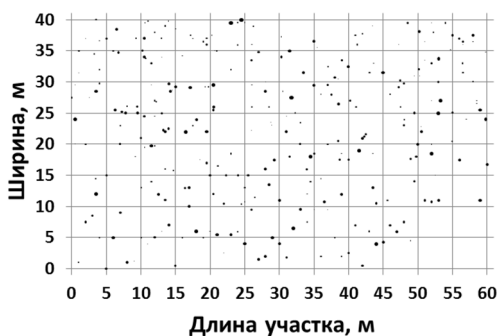


Рис. 6. Радиотомограмма и план леса

возможно решение задачи моделирования пространственного положения и распределения выделенных областей. Такие задачи генерации мозаики лесного покрова возникают при моделировании экосистем на ландшафтном уровне, когда характеристики лесных участков заметно варьируют в пределах модельной территории. Во втором случае возможно представление радиотомограммы в виде областей с указанием их значений в относительных единицах от 0 до 1. Выделенные области в пределах 0,7 – 0,9 с последующей аппроксимацией их точками определяет положение деревьев.

Определение горизонтальной структуры древостоя. Дискретизация объектов в виде точек позволяет использовать методы анализа точечных структур. Если для каждого объекта измерения известны некоторые характеристики, например, высота и диаметр деревьев, возраст, то множество, соответствующее совокупности месторасположения деревьев и их характеристик, называется маркированной точечной конфигурацией, а характеристики деревьев – марками. Такой тип описания оказывается довольно гибким для описания большого разнообразия ситуаций, включая определение пространственной структуры. Две основные характеристики (густота и средний диаметр деревьев), которые часто используются на практике, далеко не достаточны для описания типа пространственной структуры. Чтобы охарактеризовать пространственные соотношения между деревьями, необходимо рас-

сматривать как минимум характеристики, определённые для пар точек. Наиболее часто для этого используется радиальная функция распределения $g(r)$. В практике исследования древостоев функция $g(r)$ используется для изучения конкурирующих отношений в одновозрастных насаждениях [1]. В данной работе функция $g(r)$ использована для анализа пространственной структуры точечного поля.

Радиальная функция показывает, как часто в среднем встречается дерево на определённом расстоянии от другого в рассматриваемом древостое. Способ вычисления $g(r)$ заключается в получении частотного распределения попарных расстояний между всеми деревьями по классам расстояний, соответствующих радиусам кольцевых областей. Далее нужно нормировать полученные величины на соответствующие суммы величин кольцевых площадок по всем деревьям и среднюю густоту. По результатам нормировки строится график зависимости $g(r_i) = n_i / S_i \rho$, где r_i – радиус соответствующей кольцевой области, n_i – число деревьев, ρ – густота всего участка. Если дерево расположено в группе других древостоев, то на малых расстояниях густота превосходит среднюю и $g(r)$ больше единицы, в случае когда дерево находится в разреженном месте $g(r)$ меньше единицы. Радиальная функция распределения, построенная для рассматриваемого тестового участка, показана на рис. 7.

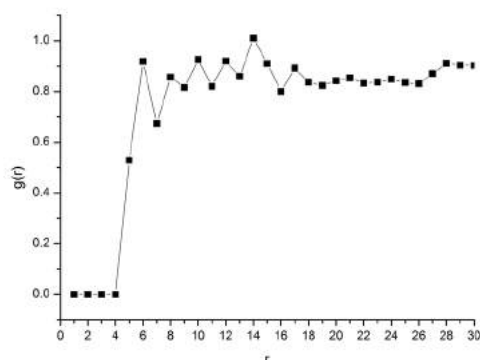


Рис. 7. Радиальная функция распределения

Как видно из графика, размещение сосен для исследованного древостоя носит равномерный тип, обусловленный снижением степени дифференциации деревьев по размерам.

В целом радиотомография лесных сред может быть использована при изучении горизонтальной структуры древостоя, что позволяет провести диагностику текущего состояния леса и протекающих в нём процессов.

Заключение. Дальнейшие исследования возможностей СКРЛ при зондировании лесных сред необходимы для опре-

деления оптимальных параметров радаров, а именно рабочей длины волны и длительности зондирующего импульса. С уменьшением длительности импульса увеличивается разрешающая способность, что возможно будет весьма существенно при определении структуры отдельных деревьев. С другой стороны, ослабление сигнала будет меньше на более длинных волнах, но при этом ухудшается разрешающая способность.

Существует также проблема «фантомных» объектов, наличие которых обусловлено множественными переотражениями сигнала от отдельных объектов, в данном случае от стволов деревьев. В настоящее время эта проблема входит в решение следующего круга задач, связанных с улучшением качества томограмм, возможно за счёт предварительной обработки данных спектральными или иными методами, и разработкой программно-аппаратных средств для автоматизированной обработки данных. В целом решение этих задач позволит создать основу для разработки наземного автоматизированного комплекса сбора данных на больших лесных территориях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00785.

Список литературы

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
2. Козырев В.В., Косолапов В.С. Определение биомассы лесной растительности по радиолокационным измерениям со спутников // Исследование Земли из космоса. 2005. № 3. С. 73-85.
3. Сухих В.И., Харин Н.Г., Бутусов О.Б. Возможность классификации лесов северной тайги по изображениям ИСЗ «Ресурс-01» // Исследование Земли из космоса. 1999. № 5. С. 65-74.
4. Черненко Т.В. Региональный кадастр биоразнообразия лесов // Лесоведение. 2006. № 1. С. 49-57.
5. Грабарник П.Я., Смирнов В.Э., Сизов И.Е. Статистическое моделирование и анализ данных лесной таксации для задач оценки биоразнообразия // Лесоведение. 2004. № 3. С. 35-43.
6. Rosen P. A., Hensley S., Joughin I. R., et al. Goldstein RM Synthetic aperture radar interferometry. Proc IEEE. 2000. 88(3). Pp. 333-382.
7. Грабарник П.Я. Анализ горизонтальной структуры древостоя // Лесоведение. 2010. № 2. С. 77-85.
8. Скосырев В.Н., Осипов М.Л. Особенности и свойства сверхкороткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ им. Баумана. Серия «Приборостроение». Спецвыпуск «Радиоэлектроника». 1999. № 4. С 21-30.
9. Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Целев Т.М. и др. Радиолокационная томография // Оптика атмосферы и океана. 2006. № 12. С.1081-1086.

Статья поступила в редакцию 09.12.15.

Информация об авторах

ДОРЖИЕВ Баир Чимитович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, лаборатория радиозондирования природных сред. Область научных интересов – распространение радиоволн, сверхкороткоимпульсная радиолокация, дистанционное зондирование. Автор 68 публикаций.

ОЧИРОВ Олег Николаевич – ведущий инженер, Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, лаборатория радиозондирования природных сред. Область научных интересов – распространение радиоволн, сверхкороткоимпульсная радиолокация, дистанционное зондирование, цифровая обработка радиосигналов. Автор 30 публикаций.

СОДНОМОВ Батор Валерьевич – инженер, Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, лаборатория радиозондирования природных сред. Область научных интересов – распространение радиоволн, сверхкороткоимпульсная радиолокация, обработка данных дистанционного зондирования. Автор восьми публикаций.

УДК 537.87

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.36

POSSIBILITIES OF RADIO TOMOGRAPHY FOR THE DETERMINATION OF HORIZONTAL STAND STRUCTURE

B. Ch. Dorzhiev, O. N. Ochirov, B. V. Sodnomov

Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
6, Sahyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russian Federation
E-mail: 1_2_z@mail.ru

Key words: horizontal stand structure; ultra-short pulse radio detection and ranging; radio-tomography; forest inventory.

ABSTRACT

Introduction. Ground inventory of remote forest sites is extremely time and labour consuming. The existing ground methods of forest inventory are based on both, conventional methods and contemporary ultrasound and laser technologies. Some methods of radio-tomography are also applicable. The work is aimed at evaluation of the potential of a new research approach to the forest stands spatial structure evaluation by means of ultra-short pulse radio detection and ranging, exemplified by one pine forest sample site. **Apparatus, methods and measuring object.** By ultra-short pulse radio detection and ranging we mean radio detection in cm and mm ranges with the direct pulse transmission width of 10 ns with high frequency filling. Experimental data were obtained using mobile measuring complex including solid-state nanosecond microwave radar, USB-oscilloscope and laptop for the signal registration and recording. Homogenous pine forest stand was used as a sample site. Ground forest inventory (height and diameter measurements, spatial distribution of trees) was carried out before the research. **Research outcomes.** Ultra-short pulse radio detection and ranging allows carrying out sensing of forest environments located beyond visual accessibility, unlike laser and ultrasound methods. In general radio-tomography of forest environments may be applicable to research of horizontal stand structure, which allows to run diagnostics of forest current condition and ongoing processes. **Conclusions.** Further research into ultra-short pulse radio detection and ranging possibilities in forest sensing is necessary in order to define optimum radar parameters, i.e. operating wave length and direct impulse length.

Supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR): grant No 16-05-00785.

REFERENCES

1. Shovengerdt R.A. Distancionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazhenij [Remote sensing. Methods and models of image processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2010. 560 p.

2. Kozyrev V.V., Kosolapov V.S. Opredelenie biomassy lesnoj rastitelnosti po radiolokacionnym izmereniyam so sputnikov [Determination of forest vegetation biomass using satellite radio detecting measurements]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Ground research from the space]. 2005. No 3. Pp. 73-85.

3. Suhii V.I., Harin N.G., Butusov O.B. Vozmozhnost klassifikatsii lesov severnoj tajgi po izobrazheniyam ISZ «Resurs-01» [Possibility of north taiga forest classification using “Resource-01” satellite images]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Ground research from the space]. 1999. No 5. Pp. 65-74.

4. Chernenkova T.V. Regionalnyj kadastr bioraznoobraziya lesov [Regional inventory of forest biodiversity]. *Lesovedenie* [Silviculture]. 2006. No 1. Pp. 49-57

5. Grabarnik P.Ya., Smirnov V.Eh., Sizov I.E. Statisticheskoe modelirovanie i analiz dannyh lesnoj taksatsii dlya zadach ocenki bioraznoobraziya [Statistical modelling and data analysis of forest inventory for

the purpose of biodiversity evaluation]. *Lesovedenie* [Silviculture]. 2004. No 3. Pp. 35-43

6. Rosen P. A., Hensley S., Joughin I. R., et al. Goldstein RM Synthetic aperture radar interferometry. *Proc IEEE* 88(3). 2000. Pp. 333–382.

7. Grabarnik P.Ya. Analiz gorizontальной struktury drevostoya [Analysis of the horizontal structure of the forest stand]. *Lesovedenie* [Silviculture] 2010. № 2. Pp. 77-85.

8. Skosyrev V.N., Osipov M.L. Osobennosti i svoystva sverhkorotkoimpulsnoj radiolokatsii [Features and properties of the ultra-short pulse radiolocation]. *Vestnik Bauman MSTU. Seriya «Priborostroenie». Spetsvypusk «Radioelektronika»* [Vestnik of Bauman Moscow State Technical University. «Instrument» series. «Electronics» special issue. 1999. No 4. Pp. 21–30.

9. Yakubov V.P., Telpuhovskij E.D., Tsepelev T.M. et.al. Radiolokatsionnaya tomografiya [Radar tomography]. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of atmosphere and ocean]. 2006. No 12. Pp.1081-1086.

The article was received 09.12.15.

Citation for an article: Dorzhiev B. Ch., Ochirov O. N., Sodnomov B. V. Possibilities of Radio Tomography for the Determination of Horizontal Stand Structure. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2016. No 2(30). Pp. 36-44. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.36

Information about the authors

DORZHIEV Bair Chimitovich – Senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Radio Sounding in the Natural Environment. Research interests – radio waves propagation, ultra-short pulse radio detection and ranging, remote sensing. Author of 68 publications.

OCHIROV Oleg Nikolaevich –Senior Engineer , Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Radio Sounding in the Natural Environment. Research interests – radio waves propagation, ultra- short pulse radio detection and ranging, remote sensing, remote sensing, radio signals digital processing. Author of 30 publications.

SODNOMOV Bator Valeryevich – Engineer, Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Radio Sounding in the Natural Environment. Research interests – radio waves propagation, ultra-short pulse radio detection and ranging, remote sensing data processing. Author of 8 publications.