



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01S 19/03 (2018.08); *G01S 19/14* (2018.08); *G01S 19/07* (2018.08); *G01S 7/40* (2018.08); *G01S 7/41* (2018.08); *G01S 13/48* (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018119448, 25.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.05.2018Дата регистрации:
21.03.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.05.2018

(45) Опубликовано: 21.03.2019 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,
стр. 38, ИФ СО РАН, отдел патентной и
изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Макаров Даниил Сергеевич (RU),
Савин Игорь Викторович (RU),
Сорокин Анатолий Васильевич (RU),
Фомин Сергей Викторович (RU),
Харламов Дмитрий Валентинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (ФИЦ КНЦ СО
РАН, КНЦ СО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: КАШКИН В.Б.

Экспериментальное определение
электрофизических параметров лесного
покрова с использованием сигналов
глобальных навигационных систем
ГЛОНАСС и GPS. Радиотехника и
электроника. 2006, т.51, N 7, с.825-830. RU
2444027 C2, 27.02.2012. RU 161829 U1,
10.05.2016. RU 113046 U1, 27.01.2012. US
5192208 A, 09.03.1993. WO 2007069253 A1,
(см. прод.)

(54) Способ определения коэффициентов погонного ослабления сигналов навигационных космических аппаратов в лесном массиве с координатной привязкой

(57) Реферат:

Изобретение относится к дистанционному мониторингу лесных массивов с использованием сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) в диапазоне L1 и может найти применение для круглогодичной регистрации коэффициентов ослабления сигналов НКА в лесу с использованием непрерывного пространственно-временного радиозондирования лесного массива. Достижимый технический результат – упрощение процедуры измерения сигналов НКА. Указанный

результат достигается за счет того, что осуществляют регистрацию пространственно-временных координат НКА и безразмерной амплитуды сигналов в открытом пространстве и ослабленных лесным массивом, при этом измерение сигналов производят одной приемной антенной с вертикально ориентированной осью диаграммы направленности, расположенной на мачте варьируемой высоты на границе лесного массива с возможностью последовательной

записи сигналов НКА на открытом пространстве и внутри леса и последующим расчетом коэффициентов погонного ослабления сигналов НКА γ в лесном массиве по формуле

$$\gamma = -\frac{10 \cdot \ln \frac{P}{P_0}}{L}, \quad (2)$$

где P - безразмерная амплитуда сигнала, прошедшего через лес; P_0 - безразмерная амплитуда сигнала в свободном пространстве, L - длина трассы прохождения сигнала в лесу,

рассчитываемая по формуле

$$L = \frac{(H-h) \cdot \cos(\alpha) - d \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi)}, \quad (1)$$

где H - средняя высота деревьев; h - высота расположения антенны над почвой; d - расстояние от антенны до кромки леса; α и φ - углы азимута и возвышения НКА. Техническим результатом данного изобретения является упрощение процедуры измерения сигналов навигационных космических аппаратов. 3 ил.

(56) (продолжение):

21.06.2007. JP 11287869 A, 19.10.1999. EP 1789814 B1, 15.08.2012.

RU 2682718 C1

RU 2682718 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01S 19/03 (2018.08); *G01S 19/14* (2018.08); *G01S 19/07* (2018.08); *G01S 7/40* (2018.08); *G01S 7/41* (2018.08); *G01S 13/48* (2018.08)

(21)(22) Application: **2018119448, 25.05.2018**(24) Effective date for property rights:
25.05.2018Registration date:
21.03.2019

Priority:

(22) Date of filing: **25.05.2018**(45) Date of publication: **21.03.2019** Bull. № 9

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,
str. 38, IF SO RAN, otdel patentnoj i
izobretatelskoj raboty**

(72) Inventor(s):

**Makarov Daniil Sergeevich (RU),
Savin Igor Viktorovich (RU),
Sorokin Anatolij Vasilevich (RU),
Fomin Sergej Viktorovich (RU),
Kharlamov Dmitrij Valentinovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)
(RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING THE COEFFICIENTS OF ATTENUATION OF NSC SIGNALS IN FOREST WITH COORDINATE REFERENCING**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to remote monitoring of forests using signals of navigation spacecraft (NSC) in the L1 range and can be used for year-round recording of attenuation coefficients for NSC signals in the forest using continuous space-time radio sounding of the forest. Space-time coordinates of the NSC and the dimensionless amplitude of signals in open space and signals weakened by the forest are recorded, while the signals are measured by a single receiving antenna with a vertically oriented axis of the radiation pattern located on the mast of varying height at the forest boundary with the possibility of sequential recording of the NSC signals in open space and in the forest and the subsequent calculation of the coefficients of the attenuation of the NSC signals γ in the forest according to the formula

$$\gamma = - \frac{10 \cdot \ln \frac{P}{P_0}}{L}, \quad (2)$$

where P – dimensionless amplitude of the signal passing through the forest; P_0 – dimensionless amplitude of the signal in open space, L – length of the signal path in the forest calculated by the formula

$$L = \frac{(H-h) \cdot \cos(\alpha) - d \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi)}, \quad (1)$$

where H – average height of the trees; h – height of the antenna above the ground; d – distance from the antenna to the edge of the forest; α and φ – azimuth and elevations angles of the NSC.

EFFECT: simplification of the procedure for measuring signals of navigation spacecraft.

1 cl, 3 dwg

Изобретение относится к дистанционному мониторингу лесных массивов с использованием сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) в диапазоне L1 и может найти применение для круглогодичной регистрации коэффициентов ослабления сигналов НКА в лесу с использованием непрерывного пространственно-временного радиозондирования лесного массива.

Определение коэффициентов ослабления сигналов НКА с пространственно-временной локализацией позволяют восстановить пространственно-временную зависимость эффективной комплексной диэлектрической проницаемости древостоя и последующего определения его влажности, востребованной в лесоведении, экологии и решении практических задач, связанных с распространением радиосигналов СВЧ-диапазона в лесу.

Известен способ радиолокационного зондирования лесных покровов с использованием наземного радиолокационного оборудования [патент RU 2536183, МПК G01S 13/88, опубл. 20.12.2014], в котором определяется горизонтальная структура древостоя на основе многопозиционного зондирования леса короткоимпульсным радаром с длительностью импульса 10 нс и несущей частотой 10 ГГц. Способ основан на регистрации осциллограмм отраженных сигналов, позволяющий определить уровни отраженных сигналов и время их возврата к приемной антенне. Запись отраженных сигналов от лесного массива производится автономным измерительным приемно-передающим комплексом радара дискретно через 1,5 метра при перемещении аппаратуры параллельно границе леса на удалении от него на 40-50 м. Последующая математическая обработка позволяет получить радиотомограмму горизонтальной пространственной структуры участка лесного массива, что дает возможность отслеживать изменения пространственной структуры расположения деревьев с временным разрешением порядка длительности вегетативных циклов.

Данный способ ориентирован на мониторинг геометрических характеристик лесных массивов, которые не фиксируют предысторию этих изменений, в частности, биологических изменений состояния древостоя, вызванных различными видами насекомых и заболеваний деревьев.

Наиболее близким аналогом, принятым за прототип, является способ определения эффективного комплексного коэффициента преломления лесного покрова для сигналов диапазона L1 глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS с использованием измерений коэффициента ослабления амплитуды в лесу и относительного сдвига фаз, принимаемых антеннами радиоинтерферометра, одна из которых расположена в лесу, две - вблизи границы леса в открытом пространстве. [Кашкин, В.Б. Экспериментальное определение электрофизических параметров лесного покрова с использованием сигналов глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS / В.Б. Кашкин, В.И. Кокорин, В.Л. Миронов, С.В. Сизасов // Радиотехника и электроника. - 2006. - т. 51. - № 7. - с. 825-830]. Использована серийная аппаратура МРК-11, предназначенная для определения угловой ориентации объектов по измерению разности фаз между тремя разнесенными в пространстве антеннами. Одновременно данная аппаратура регистрирует сдвиги фаз между антеннами и значения безразмерных амплитуд (отношение сигнала к шуму), которое характеризует влияние среды распространения на сигналы НКА, а также углы возвышения и азимуты НКА, усредненные за 1с. Аппаратура обеспечивает одновременную запись сигналов до 18 спутников систем ГЛОНАСС и GPS.

Недостатком способа является наличие трех антенн, одна из которых расположена внутри леса и две на открытом пространстве, что усложняет процедуру калибровки сигнала, входящего в лесной массив и отсутствие возможности проводить определение

коэффициентов ослабления на трассах с координатной привязкой в слоях крон и стволов. Затрудняет реализацию измерений относительно большая протяженность кабельных линий антенн, что ограничивает мобильность измерительного комплекса.

5 Техническим результатом предлагаемого изобретения является упрощение процедуры измерения сигналов навигационных космических аппаратов.

Технический результат достигается тем, что способ определения коэффициентов погонного ослабления сигналов навигационных космических аппаратов в лесном массиве с координатной привязкой включает регистрацию пространственно-временных координат НКА и безразмерной амплитуды сигналов в открытом пространстве и
10 ослабленных лесным массивом, новым является то, что измеряют сигналы навигационных аппаратов одной приемной антенной с вертикально ориентированной осью диаграммы направленности, расположенной на мачте варьируемой высоты на границе лесного массива с возможностью последовательной записи сигналов НКА на открытом пространстве и внутри леса, и последующим расчетом коэффициентов
15 погонного ослабления сигналов НКА γ в лесном массиве по формуле -

$$\gamma = - \frac{10 \cdot \ln \frac{P}{P_0}}{L}, \quad (2)$$

где P - безразмерная амплитуда сигнала, прошедшего через лес; P₀ - безразмерная
20 амплитуда сигнала в свободном пространстве, L - длина трассы прохождения сигнала в лесу, рассчитываемая по формуле -

$$L = \frac{(H-h) \cdot \cos(\alpha) - d \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi)}, \quad (1)$$

25 где H - средняя высота деревьев; h - высота расположения антенны над почвой; d - расстояние от антенны до кромки леса; α и φ - углы азимута и возвышения НКА.

Сопоставительный анализ с прототипом позволяет сделать вывод, что заявляемое изобретение отличается от известного тем, что используется одна приемная антенна с
30 вертикально ориентированной осью диаграммы направленности, расположенная на мачте варьируемой высоты на границе лесного массива с возможностью последовательной записи сигналов НКА на открытом пространстве и внутри леса.

Признаки, отличающие заявляемое решение от прототипа, обеспечивают заявляемому техническому решению соответствие критерию «новизна».

35 Признаки, отличающие заявляемое решение от прототипа не выявлены при изучении других известных технических решений в данной области техники и, следовательно, обеспечивают ему соответствие критерию «изобретательский уровень».

Изобретение поясняется фигурами. На фиг. 1 представлены две оптимальные для расчетов траектории ГЛОНАСС №4 и №14, где сплошная линия - прямой сигнал, пунктирная линия - сигнал, прошедший через лес, штрих-пунктирная линия - граница
40 раздела: лес (сверху от линии), свободное пространство (снизу от линии). На фиг. 2 представлена схема регистрации приемной антенной сигналов НКА при различных азимутах и углах возвышения. На фиг. 3 - пространственно-временные зависимости амплитуды сигналов GNSS от времени.

45 Сущность изобретения заключается в реализации способа определения коэффициентов погонного ослабления сигналов навигационных спутников в лесном массиве путем размещения одной антенны вблизи границы леса с возможностью последовательной записи сигналов на открытом пространстве и внутри леса, что обеспечивает калибровку зондирующего пучка и контролируемые протяженность и расположение трасс в лесном

массиве относительно антенны.

Пример осуществления

В данном способе использовалась серийная аппаратура МРК-32 с одной антенной.

Регистрация информации о навигационных параметрах НКА осуществлялась в течение 3-4 часов, что дает возможность выбора вариантов траекторий с последовательной регистрацией информации в массиве леса и свободном пространстве. В полярной системе с расположением антенны в начале координат на горизонтальной плоскости отображаются проекции траекторий НКА, позволяющие выбрать нужные НКА для расчета коэффициентов ослабления. Две оптимальные для расчетов траектории ГЛОНАСС 4 и 14 представлены на фиг. 1.

Пространственно-временные координаты положения навигационных спутников, регистрируемые приемником, в сочетании с измерениями высот лесного массива, расстояния от антенны до почвы и лесного массива позволяют однозначно определить траекторию трассы прохождения сигнала сквозь лесной массив. Это обстоятельство позволяет получать коэффициенты ослабления сигналов НКА в лесном массиве на трассах с координатной привязкой.

На фиг. 2 представлена схема регистрации приемной антенной сигналов НКА при различных азимутах и углах возвышения. Трассы 1 и 3 соответствуют прохождению сигналов до антенны при азимутах в свободном полупространстве перед лесным пологом. Трасса 2 соответствует прохождению сигнала в лесном массиве. Длина трассы (L) прохождения сигнала в лесу рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{(H-h) \cdot \cos(\alpha) - d \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi)}, \quad (1)$$

где H - средняя высота деревьев; h - высота расположения антенны над почвой; d - расстояние от антенны до кромки леса; α и φ - углы азимута и возвышения НКА. Вертикальные и горизонтальные границы леса на фиг. 2 представлены плоскими поверхностями.

Реальные лесные массивы ограничены «шероховатыми» поверхностями, что создает градиенты распределения плотности древесины лесного массива на границах.

Пространственно-временные зависимости сигнала представлены на фиг. 3, где серым цветом отображается сигнал, прошедший через лесной полог, черным - через свободное пространство. Сигнал, прошедший через свободное пространство, аппроксимируется с учетом формы полной кривой, полученной ранее для каждого спутника в базе данных характеристик прямых сигналов группировок ГЛОНАСС и GPS. Учет положения максимума амплитуды при максимальном значении угла возвышения дает возможность экстраполировать функцию зависимости амплитуды прямого сигнала от времени на период прохождения сигнала через лес. Расчет значений коэффициентов погонного ослабления γ для выбранных точек (кадров) осуществляется по формуле:

$$\gamma = -\frac{10 \cdot \ln \frac{P}{P_0}}{L}, \quad (2)$$

где P - безразмерная амплитуда сигнала, прошедшего через лес; P_0 - безразмерная амплитуда сигнала в свободном пространстве.

Изменения амплитуды сигнала значительно различаются на трассах прохождения сигнала в лесу и свободном пространстве. Характерная «шумовая дорожка» амплитуды в свободном пространстве связана с шумами генератора и приемника, а также флуктуациями диэлектрической проницаемости атмосферы и ионосферы. При вхождении

в лес сигнал рассеивается и поглощается на неоднородностях распределения элементов деревьев лесного массива.

Навигационные параметры момента записи отсчета и фиксация времени с частотой в 1 с позволяют из зависимостей амплитуды от времени однозначно установить положение траектории прохождения сигнала и определить угловые координаты неоднородностей электрофизических характеристик лесного массива. Пространственное разрешение размеров неоднородностей определяется конусом с вершиной, расположенной на антенне и шероховатым основанием на верхней границе лесного полога. Размер основания определяется угловым размером 1-ой зоны Френеля. Оценка углового разрешения неоднородностей составляет 8-12°.

Дополнительное влияние на регистрируемый сигнал может вносить эффект деполяризации сигнала GNSS и появление кросс-поляризованной компоненты, обусловленной анизотропией эффективной диэлектрической проницаемости слоя стволов.

Представленный выше подход в первичной обработке данных измерений воздействия леса на амплитудные характеристики сигналов GNSS демонстрирует реальную возможность получать сведения о коэффициентах погонного ослабления в лесу с пространственно-временной привязкой.

(57) Формула изобретения

Способ определения коэффициентов погонного ослабления сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) в лесном массиве с координатной привязкой, включающий регистрацию пространственно-временных координат НКА и безразмерной амплитуды сигналов в открытом пространстве и ослабленных лесным массивом, отличающийся тем, что измерение сигналов НКА производят одной приемной антенной с вертикально ориентированной осью диаграммы направленности, расположенной на мачте варьируемой высоты на границе лесного массива, с возможностью последовательной записи сигналов НКА на открытом пространстве и внутри леса с последующим расчетом коэффициентов погонного ослабления сигналов НКА γ в лесном массиве по формуле:

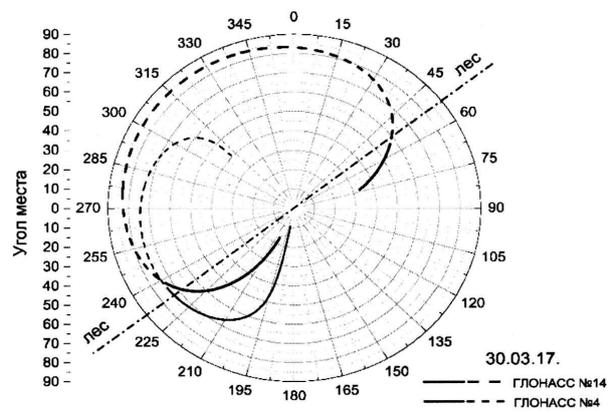
$$\gamma = -\frac{10 \cdot \ln \frac{P}{P_0}}{L}, \quad (2)$$

где P - безразмерная амплитуда сигнала, прошедшего через лес; P_0 - безразмерная амплитуда сигнала в свободном пространстве, L - длина трассы прохождения сигнала в лесу, рассчитываемая по формуле:

$$L = \frac{(H-h) \cdot \cos(\alpha) - d \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi)}, \quad (1)$$

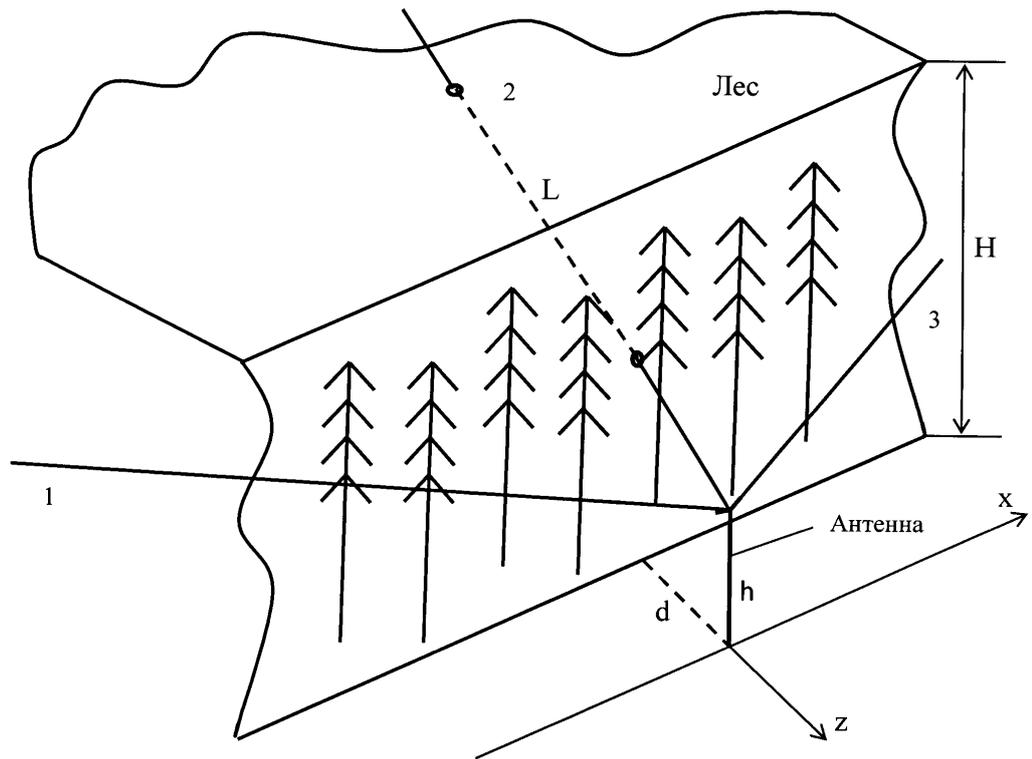
где H - средняя высота деревьев; h - высота расположения антенны над почвой; d - расстояние от антенны до кромки леса; α и φ - углы азимута и возвышения НКА.

Способ определения коэффициентов погонного ослабления
 сигналов навигационных космических аппаратов в
 лесном массиве с координатной привязкой



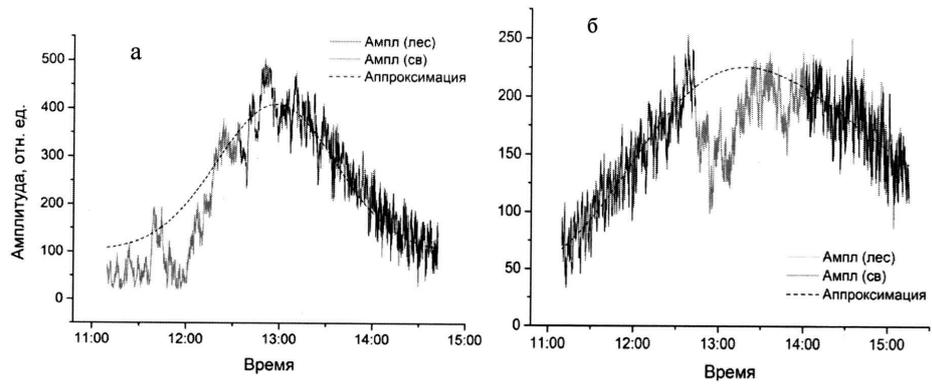
Фиг. 1

Способ определения коэффициентов погонного ослабления
 сигналов навигационных космических аппаратов в
 лесном массиве с координатной привязкой



Фиг. 2

Способ определения коэффициентов погонного ослабления
 сигналов навигационных космических аппаратов в
 лесном массиве с координатной привязкой



Фиг. 3