



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006135882/09, 10.10.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.10.2006

(45) Опубликовано: 10.08.2008 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2092819 C1, 10.10.1997. RU 2010219
C1, 30.03.1994. RU 2081407 C1, 10.06.1997. WO
2004046702 A1, 03.06.2004. WO 9737213 A1,
09.10.1997.

Адрес для переписки:

660036, г.Красноярск, Академгородок, Институт
физики СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Бобров Павел Петрович (RU),
Мионов Валерий Леонидович (RU),
Яценко Александр Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

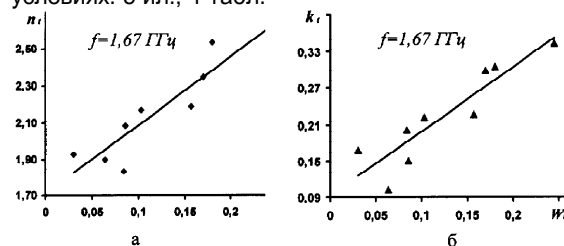
Институт физики им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения РАН (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ УСТОЙЧИВОГО ЗАВЯДАНИЯ

(57) Реферат:

Способ определения влажности устойчивого завядания может быть использован в сельскохозяйственном производстве при анализе свойств почв. Для определения максимальной доли связанной воды W_t в полевых условиях осуществляется измерение коэффициента радиотеплового излучения почвы перед промерзанием и мерзлой почвы в начальный период промерзания, когда температура почвы не опускается ниже -5°C , и величину W_t находят с использованием полученных регрессионных уравнений или графиков, связывающих W_t с измеренным коэффициентами излучения, а затем величина W_t применяется для вычисления

влажности устойчивого завядания из соотношения $W_{yз}=0,93 W_t$, где W_t - содержание связанной воды, $W_{yз}$ - влажность устойчивого завядания. Техническим результатом изобретения является разработка дистанционного способа определения влажности устойчивого завядания в полевых условиях. 5 ил., 1 табл.



Фиг. 1а и б



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01N 22/04 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006135882/09, 10.10.2006**

(24) Effective date for property rights: **10.10.2006**

(45) Date of publication: **10.08.2008 Bull. 22**

Mail address:

**660036, g.Krasnojarsk, Akademgorodok,
Institut fiziki SO RAN, patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Bobrov Pavel Petrovich (RU),
Mironov Valerij Leonidovich (RU),
Jashchenko Aleksandr Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut fiziki im. L.V. Kirenskogo
Sibirskogo otdelenija RAN (RU)**

(54) **METHOD OF MOISTURE DETERMINATION OF STABLE WILTING**

(57) Abstract:

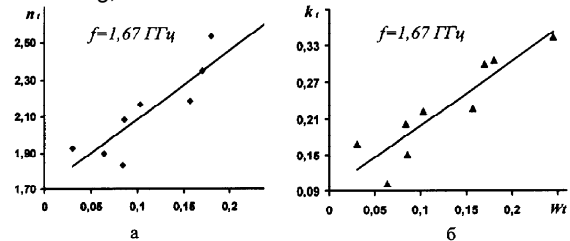
FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: method of moisture determination of stable wilting can be used in agriculture during the soil features analysis. To determine the maximum content of bound water W_t in the field conditions, the rate measurement of thermal radio radiation of soil is carried out before freezing and of frozen soil in the beginning period of freezing, when the soil temperature is not lower than -5°C , and value W_t is determined by using the regression equation and graphics, which connect W_t with the defined rate of radiation, then value W_t is used to determine moisture of stable wilting from

the ratio $W_{\text{sw}}=0.93 W_t$, where W_t is content of bound water, W_{sw} is moisture of stable wilting.

EFFECT: development of the remote method of moisture determination of stable wilting in the field conditions.

5 dwg, 1 tbl



Фиг. 1а и б

Изобретение относится к способам измерений и может быть использовано в сельскохозяйственном производстве при анализе свойств почв.

Известен прямой лабораторно-вегетативный способ определения ВУЗ, который заключается в том, что учитывается влажность почвы в тот момент, когда выращиваемые растения с хорошо развитой корневой системой устойчиво увядают из-за иссушения почвы [Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). Л.: Гидрометеиздат, 1973, 328 с.]. Известен также способ косвенного определения ВУЗ, использующий технику измерения максимальной гигроскопичности почвы [Вальков В.Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. М: Агропромиздат, 1986, 208 с.]. Недостатком перечисленных выше способов является длительность процесса, составляющая от 4 до 20 дней.

Наиболее близким техническим решением является радиофизический способ определения влажности устойчивого завядания, основанный на измерениях в лабораторных условиях ряда значений показателя преломления почвы в зависимости от ее влажности в диапазоне сверхвысоких частот [п. РФ №2092819, МПК G01N 22/04, опублик. 10.10.97 г.]. После чего по полученной графической зависимости находят значение влажности W_t , соответствующей точке перехода от связанной влаги к свободной, являющейся максимальным значением объемной доли связанной влаги в данном типе почвы, и определяют влажность устойчивого завядания из соотношения

$$W_{y3}=0,93 W_t.$$

Недостатки этого способа заключаются в следующем: во-первых, для лабораторных измерений показателя преломления производится отбор почвенных образцов, при этом нарушается почвенная структура и происходит изменение плотности. Измеряется, таким образом, значение влажности W_t почвенного образца, находящегося в лабораторной измерительной ячейке, а не W_t для почвы естественного сложения. Во-вторых, способ не является оперативным, так как требуется определенное время на подготовку нескольких (около 10) образцов, их высушивание, увлажнение, взвешивание, измерение диэлектрической проницаемости каждого образца.

Техническим результатом изобретения является разработка дистанционного способа определения влажности устойчивого завядания.

Технический результат достигается тем, что в способе определения влажности устойчивого завядания из соотношения $W_{y3}=0,93 W_t$, где W_t - максимальная доля связанной воды, W_{y3} - влажность устойчивого завядания, новым является то, что он основан на излучении электромагнитных волн почвами, при котором измеряют коэффициенты излучения почвы перед промерзанием и в начальный период промерзания дистанционно. Т.к. значение влажности W_t определяется без нарушения естественного сложения почвы путем измерения коэффициента радиотеплового излучения в сверхвысокочастотном диапазоне электромагнитных волн влажной ($W>W_t$) почвы до промерзания и в начальной стадии промерзания, когда температура почвы не опускается ниже -5°C . При этом в почве существует незамерзшая связанная вода в количестве, равном W_t , комплексная диэлектрическая проницаемость которой мало отличается от соответствующих величин связанной воды при положительных температурах [Комаров С.А., Миронов В.Л. Микроволновое зондирование почв. - Новосибирск: Научно-издательский центр СО РАН, 2000, 289 с.]. Коэффициент излучения почвы определяется следующим образом:

$$\chi = \frac{T_{\text{я}}}{T}, \quad (1)$$

где $T_{\text{я}}$ - радиояркая температура почвы, измеряемая дистанционно с помощью микроволнового радиометра, T - термодинамическая температура почвы, измеряемая дистанционно с помощью инфракрасного термометра или контактным термометром. Значения коэффициента излучения при зондировании в надир связаны с диэлектрическими характеристиками почвы следующим образом:

$$\chi = 1 - \left| \frac{\dot{n} - 1}{\dot{n} + 1} \right|^2 \quad (2)$$

где $\dot{n} = n + j\kappa$ - комплексный показатель преломления почвы, n - показатель преломления почвы, κ - показатель поглощения. С целью обоснования заявленного способа проведена обработка данных диэлектрических измерений 9 почв, различающихся органоминеральным и гранулометрическим составом, отобранных в различных климатических зонах России и США [V.L.Mironov, "Spectral Dielectric Properties of Moist Soils in The Microwave Band," in Proc. IGARSS'04, Anchorage, USA, vol. V, pp.3474-3477, 2004] и найдены уравнения линейной регрессии зависимостей $n_t = n(W_t, f)$ и $\kappa_t = \kappa(W_t, f)$, где n_t и κ_t показатель преломления почвы и показатель поглощения, соответственно, при влажности почвы, равной W_t , f - частота электромагнитного излучения. Частотная зависимость этих величин связана с частотной дисперсией комплексного показателя преломления связанной воды. Для иллюстрации частотной зависимости ниже приведены найденные уравнения регрессии, имеющие вид для частоты 1,67 ГГц:

$$n_t = 5,21 \cdot W_t + 1,66, \quad \kappa_t = 0,77 \cdot W_t + 0,12, \quad (3)$$

для частоты 6 ГГц:

$$n_t = 4,97 \cdot W_t + 1,64, \quad \kappa_t = 0,86 \cdot W_t + 0,1. \quad (4)$$

Если почва содержит некоторую объемную долю льда $W_c = \rho \cdot (W - W_t)$, где W влажность почвы перед ее замерзанием, $\rho = 1,09$ - отношение плотности воды к плотности льда, то показатель преломления и показатель поглощения определяются из соотношений, найденных из обобщенной рефракционной модели [V.L.Mironov, M.C.Dobson, V.H.Kaup, S.A.Komarov and V.N.Kleshchenko, "Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol.42, no.4, pp.773-785, 2004]:

$$n = n_t + (n_c - 1) \cdot W_c, \quad \kappa = \kappa_t + \kappa_c \cdot W_c, \quad (5)$$

где $n_c = 1,77$ - коэффициент преломления льда, а $\kappa_c = 0,028$ - показатель поглощения.

Для определения объемной доли льда в почве необходимо произвести измерение коэффициента почвы перед ее замерзанием. В этом случае комплексный показатель преломления определится из соотношений:

$$n_t = n_u + (n_u - 1) \cdot W_c, \quad \kappa_t = \kappa_t + \kappa_u \cdot W_c, \quad (6)$$

где n_u , κ_u - показатель преломления и показатель поглощения свободной воды, определяемые по модели Дебая для заданной частоты и температуры.

Разности показателей преломления $n_t - n$ и показателей поглощения $\kappa_t - \kappa$ зависят только от W_c , поскольку n_c , n_u , κ_c и κ_u известны. Однако из-за нелинейности выражения (2) разность коэффициентов излучения $\Delta\chi = \chi - \chi_1$ замерзшей и незамерзшей почв слабо зависит также от W_t . Объемная доля льда может быть определена из уравнения регрессии, которое для $W_t = 0,15$ имеет вид:

$$W_c = 1,85 \cdot \Delta\chi^2 + 0,78 \cdot \Delta\chi + 5 \cdot 10^{-4} \quad (7)$$

Подобные уравнения могут быть получены для любых других значений W_t .

Таким образом, по двум измеренным значениям коэффициента излучения незамерзшей и мерзлой почвы можно найти первое приближение для объемной доли льда W_{cl} в мерзлой почве, приняв вначале в качестве нулевого приближения для W_t значение $W_{t0} = 0,15$, равное среднему арифметическому из наибольшего и наименьшего значений, наблюдаемых для всех типов почв. Затем по измеренному значению коэффициента излучения мерзлой почвы и первому приближению для объемной доли льда можно определить первое приближение для максимальной доли связанной воды W_{tl} . Этот итерационный процесс можно продолжать до получения значений W_t и W_c с заданной точностью.

Используя уравнение (2) и данные, приведенные на фиг.1, получаем график зависимости $W_t = W_t(\chi)$ при $W_t = 0$ (фиг.2).

Для почв с большими значениями W_t соответственно большие значения имеют n и κ . Увеличение показателя преломления приводит к уменьшению коэффициента излучения в соответствии с выражением (1). При наличии в почве льда с помощью выражений (2), (3), (5), (6) получаем графики зависимости $W_c = W_c(\Delta\chi, W_t)$ для частоты 1,67 ГГц (фиг.3).

5 Наконец, с помощью выражений (2), (3), (5) получаем графики зависимости $W_t = W_t(\chi)$ при различных значениях объемной доли льда W_c (фиг.4). На этом рисунке кривая 1 ($W_c=0$) соответствует линии регрессии, показанной на фиг.2, а кривые 2,3 и 4 соответствуют значениям $W_c > 0$.

10 Эти же зависимости могут быть описаны регрессионным уравнением

$$W_t = (-1,59 - (0,66 \cdot W_c^2 + 0,14 \cdot W_c + 4 \cdot 10^{-5})) \cdot \chi + (1,48 + (0,12 \cdot W_c^2 + 0,06 W_c - 2 \cdot 10^{-5})). \quad (8)$$

Заявляемое техническое решение отличается от прототипа тем, что оно основано на излучении электромагнитных волн почвами, при котором измеряют коэффициенты излучения почвы перед промерзанием и в начальный период промерзания дистанционно. Эти отличия позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна». Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях при изучении данной и смежных областей техники и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

20 На фиг.1а и 1б, соответственно, представлены значения показателя преломления n_t и показателя поглощения κ_t для почв с различными значениями максимальной доли связанной воды W_t и регрессионные прямые для частоты 1,67 ГГц.

На фиг.2 дан график зависимостей $W_t = W_t(\chi)$, при $W_c=0$, где \blacklozenge - экспериментальные данные при $W_c=0$; — - линейная регрессия.

25 На фиг.3 представлены графики зависимости $W_c = W_c(\Delta\chi, W_t)$ для частоты 1,67 ГГц; - $W_t=0,05$; -- $W_t=0,15$; --- $W_t=0,25$.

На фиг.4 даны графики зависимости $W_t = W_t(\chi_2)$, при различных значениях объемной доли льда W_c , где: - $W_c=0$; --- $W_c=0,11$; --- $W_c=0,22$, - · - · $W_c=0,33$.

30 Предлагаемый способ реализован следующим образом. Перед началом заморозка над поверхностью выровненной, увлажненной до влажности большей, чем W_t , почвы размещается на высоте не менее чем 2 м от поверхности микроволновый радиометр, антенна которого направлена в надир (допускаемы отклонения от вертикали $\pm 10^\circ$). В соответствии с методикой радиометрических измерений определяется радиояркостьная температура $T_{я1}$ незамерзшей почвы и с помощью ИК-термометра термодинамическая температура T_1 почвы. По формуле (1) определяется коэффициент излучения χ_1 . С началом заморозания почва радиояркостьная температура возрастает, испытывает некоторые интерференционные осцилляции во времени, по окончании которых можно производить измерения радиояркостьной температуры почвы, промерзшей на глубину, большую, чем глубина зондирования. Это значение $T_{я}$ и термодинамическую температуру T почвы в этот момент используют для определения коэффициента излучения χ мерзлой почвы. Далее, с помощью регрессионного уравнения (7) или графика (фиг.3) рассчитывают первое приближение для объемной доли льда W_{c1} , используя нулевое приближение для значения $W_{t0}=0,15$. С использованием W_{c1} и значения χ , полученного для мерзлой почвы, из уравнения (8) или графика (фиг.4) определяется первое приближение для максимальной доли связанной воды W_{t1} . Далее, с использованием значения W_{t1} производится второе приближение для количества льда W_{c2} , а затем с помощью уравнения (8) или графика (фиг.4) находится второе приближение W_{t2} и т.д. Последнее, приемлемое по точности, приближение значения W_t используется для определения влажности устойчивого завядания по формуле $W_{y3}=0,93 W_t$.

50 Для проверки заявленного способа использовались данные экспериментов с борта самолета по измерению коэффициента излучения мерзлых и незамерзших почв, приведенные в [Комаров С.А., Миронов В. Л. Микроволновое зондирование почв. - Новосибирск: Научно-издательский центр СО РАН, 2000, 289 с.] (гл.4, 4.1). Рабочая

частота 1,67 ГГц. Для этих почв были проведены лабораторные измерения W_t способом, указанным в прототипе. Результаты определения W_{y3} заявляемым способом в сравнении с данными лабораторных экспериментов [Комаров С.А., Миронов В.Л. Микроволновое зондирование почв. - Новосибирск: Научно-издательский центр СО РАН, 2000, 289 с.]

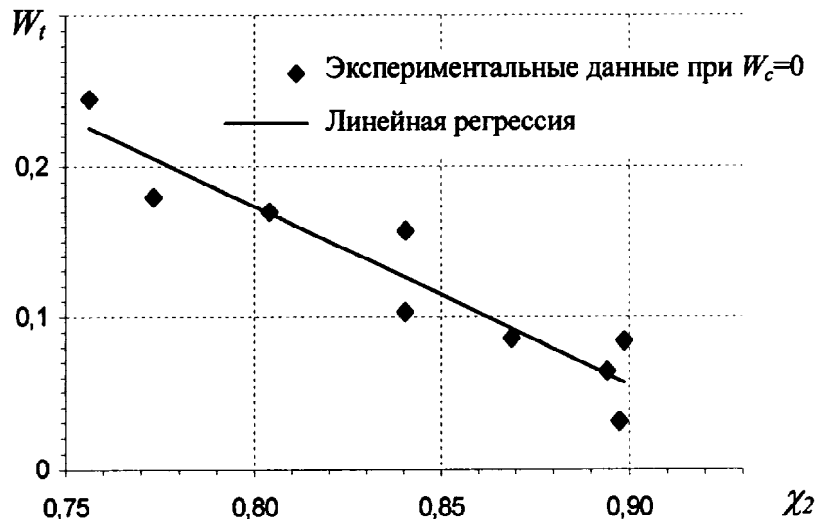
5 приведены в таблице 1.

Таблица								
№ эксперта	Коэфф. излуч. незамерзшей почвы χ_1	Коэфф. излуч. мерзлой почвы χ_2	$\Delta\chi$	W_c , см ³ /см ³	W_t , см ³ /см ³ радиометрическим способом	W_t , см ³ /см ³ лабораторным способом	W_{y3} , см ³ /см ³ радиометрическим способом	W_{y3} , см ³ /см ³ лабораторным способом
10 1	0,75	0,84	0,09	0,095	0,12 (1-е прибл.)	0,13	0,11	0,12
				0,090	0,12 (2-е прибл.)			
2	0,65	0,83	0,18	0,205	0,11 (1-е прибл.)	0,13	0,107	0,12
				0,20	0,115 (2-е прибл.)			

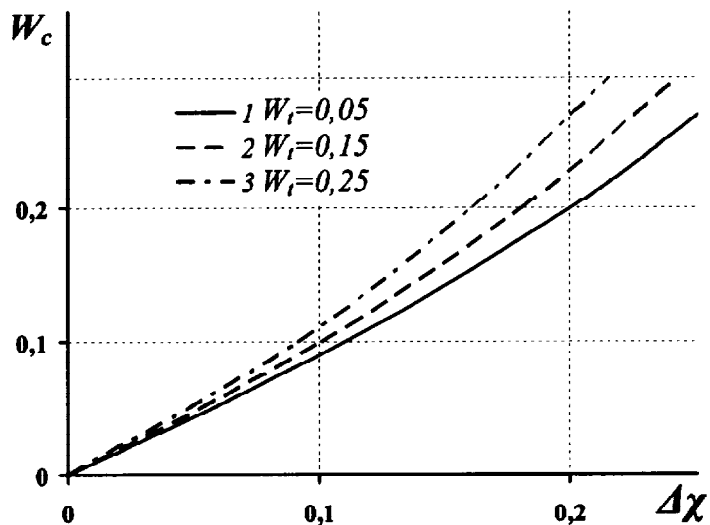
Преимущества заявленного технического решения. Заявленное решение обеспечивает 15 снижение трудоемкости и повышение оперативности измерения влажности устойчивого завядания. При установке радиометра на автомобильном шасси измерения производятся с разрешением 3-4 м, определяемым размерами излучающего пятна на поверхности земли, и производительностью 0,5-1 га/ч. При установке на самолете измерения производятся с разрешением 3-5 км и производительностью около 5000 га/ч. При установке радиометра на 20 космическом аппарате разрешение составляет 10-50 км. В настоящее время разрабатываются методы повышения разрешающей способности спутниковых радиометров путем совместной обработки данных радиометра и радиолокатора, установленных на одном космическом аппарате (международные программы дистанционного зондирования влажности SMOS и Aquarius).

Формула изобретения

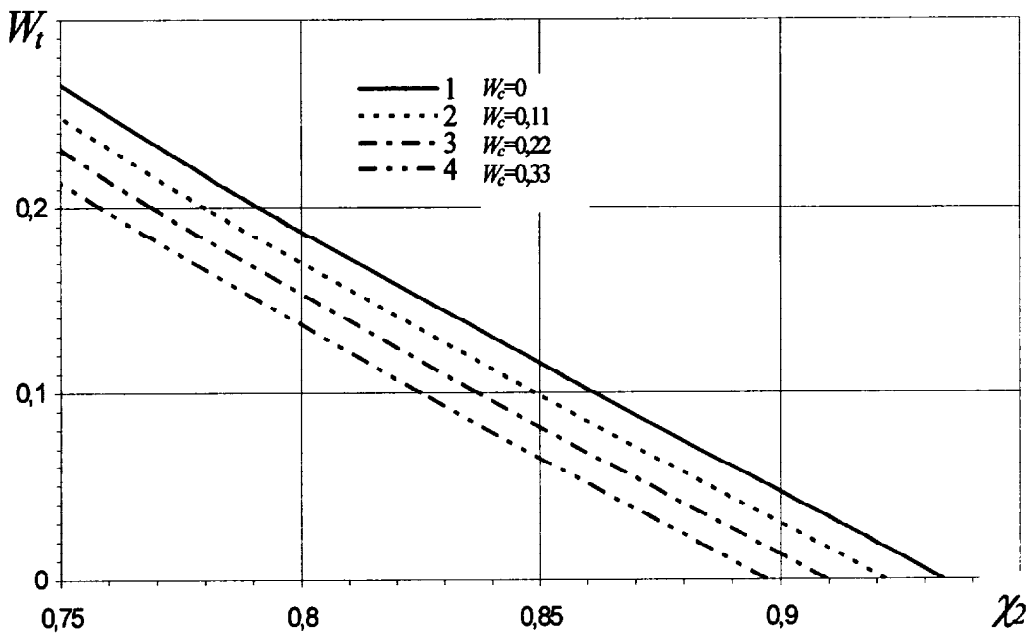
Способ определения влажности устойчивого завядания, основанный на излучении электромагнитных волн почвами, отличающийся тем, что для определения максимальной 30 доли связанной воды в полевых условиях осуществляют измерение коэффициентов излучения почвы перед промерзанием и мерзлой почвы в начальный период промерзания, определяют разность этих величин, задают первое приближение для максимальной доли связанной воды, а затем при помощи полученных регрессионных уравнений или графиков, используя значения измеренной разности коэффициентов излучения и первого 35 приближения для максимальной доли связанной воды, определяют первое приближение для объемной доли льда, после чего первое приближение для объемной доли льда, измеренное значение для коэффициента излучения мерзлой почвы и полученные регрессионные уравнения и графики используют для нахождения второго приближения для максимальной доли связанной воды, при этом описанную итерационную процедуру повторяют до достижения приемлемой точности для значения максимальной доли 40 связанной воды W_t , которое применяют для вычисления влажности устойчивого завядания из соотношения $W_{y3}=0,93 W_t$.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4