

**М.Н. ДОЛГОДУШ**, ад'юнкт АГЗ України,  
**В.М. КОМЯК**, канд фіз.-мат. наук, ст.н.с. ІРЭ НАН України,  
**О.Е. МАРЫКИВСКИЙ**, канд фіз.-мат. наук, ст.н.с. ІРЭ НАН України  
(г. Харьков).

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСУ**

Розглядаються можливості використання авіаційних засобів дистанційного зондування (ДЗ) природного середовища для визначення випромінювальних характеристик надгрунтового покриття з метою визначення природної пожежної небезпеки (ППН) лісу. Показано, що задача визначення ППН ідентична задачі дослідження радіаційного індексу сухості.

The possibilities of using of air means of a remote environment are considered. The purpose - definition of natural fire danger of a wood. Is shown, that the given problem is identical to the research problem of a radiation index of dryness.

*Постановка проблеми.* До недавнього часу розвиток методів дистанційного зондування в різних частках електромагнітного спектра було цілком направлено на визначення окремих параметрів земної поверхні – вологості, температури, засоленості ґрунту і т.д. Передбачалося, що споживачі дистанційної інформації по окремих параметрах об'єкта оцінять його стан і зможуть прийняти рішення.

Особливістю дистанційних методів є те, що вони орієнтовані на визначення параметрів, традиційно використовуваних в різних галузях науки і народного господарства для характеристик природних об'єктів. Ці окремі параметри широко використовуються в більшості випадків по тій причині, що вони можуть визначатися достатньо простими засобами ще в той період, коли дистанційні методи не отримали широкого розвитку. Це природно, так як немає сенсу використовувати ті параметри, які не можуть бути визначені або їх визначення пов'язано з необґрунтовано високими витратами. Розвиток дистанційних методів дозволяє в даний час ставити задачу визначення таких характеристик середовища, які є нетрадиційними, але можуть виявитися корисними, зокрема в прикладному аспекті. В ряді випадків взаємозв'язок електромагнітних полів з такими характеристиками може бути представлений у вигляді достатньо простих і адекватних фізических моделей, що дозволяють вирішувати обернені задачі нескладними методами в реальному масштабі часу. К таким нетрадиційним для ДЗ параметрам можна віднести показники

природной пожарной опасности в лесу. Данные о ППО необходимы для оперативной работы при борьбе с лесными пожарами, планирования и размещения комплекса противопожарных мероприятий, разработки и усовершенствования средств и способов борьбы с огнем и целому ряду других вопросов охраны леса от пожаров [1, 2]. В соответствии с описанной в [1] методикой пожарная опасность определяется путем вычисления показателей влажности покрова (ПВ – 1) и влажности подстилки (ПВ – 2) после осадков разной величины.

*Анализ последних достижений и публикаций.* Показатели ПВ – 1 и ПВ – 2 разработаны на основе экспериментальных исследований изменений послышной влажности лесных горючих материалов в зависимости от метеорологических факторов, обуславливающих эти изменения. Фактором, определяющим увлажнение лесных горючих материалов, были выделены осадки (мм), а испарение влаги – величина  $t(t - \tau)$  по замерам в дневные часы. Здесь  $t$  – температура воздуха,  $\tau$  – температура точки росы. Обоснованием использования  $\sum t(t - \tau)$  как фактора, обеспечивающего испарение влаги, содержащейся в лесных горючих материалах, явилась выявленная связь  $\sum t(t - \tau)$  с суммой радиационного баланса (кал/см<sup>2</sup>.сутки). Коэффициент корреляции  $r = 0,985$ . В работе [3] было показано, что знание реальной влажности лесных горючих материалов может существенно повысить точность определения ППО. При этом предполагалось, что эти данные могут быть получены с борта летательного аппарата средствами ДЗ.

Реализация такой схемы определения ППО является весьма сложной и недостаточно надежной [4], поскольку требует: дистанционных измерений одновременно в нескольких спектральных интервалах  $I_1, \dots, I_N$  соответственно числу  $N$  измеряемых параметров природных объектов; адекватных физических или статистических моделей взаимосвязи типа

$$I_1 = \psi_1 (n_1, \dots, n_N), \tag{1}$$

$$I_N = \psi_N (n_1, \dots, n_N);$$

корректного решения системы уравнений типа (1) для определения параметров  $n_N$ ; моделей оценки общего состояния  $S$  по величинам  $n_N$ . Каждая из перечисленных задач представляет собой достаточно сложную и не всегда надежно решенную проблему.

Другим возможным способом оценки состояния природных объектов по данным дистанционных измерений является установление прямой зависимости измеряемого сигнала  $I_N$  (или его характеристик) с общим состоянием объекта  $S$ , т.е. описание его состояния в единицах, непосредственно измеряемых дистанционными датчиками. В этом случае решение задачи включает два этапа: выбор параметра (или параметров)  $I$  и точное определение характери-

стики  $C$ ; установление взаимосвязи  $C = F(I_N)$  с целью определения состояния объекта  $C$  по данным дистанционных измерений  $I_N$ .

Весьма значительный интерес представляет возможность перейти от характеристик природных объектов традиционными параметрами к характеристике их состояния параметрами, непосредственно измеряемыми дистанционными методами (например, яркостной температурой в радиодиапазоне). Наличие такой возможности позволяет избежать «набегающих» ошибок моделей, особенно многопараметрических, которые значительно возрастают при решении обратных задач.

Цель работы – изучение возможности использования дистанционного СВЧ-радиометрического метода для оценки такого «нетрадиционного» (с прикладной точки зрения) интегрального параметра земной поверхности, как природная пожарная опасность в лесу. В работе предпринята попытка с помощью использования простых моделей установить взаимосвязь основного радиометрического параметра – яркостной температуры в радиодиапазоне с неким интегральным природным параметром. Для этого рассмотрены некоторые теоретические аспекты этой взаимосвязи.

*Постановка задачи и ее решение.* Первая попытка в этом направлении была сделана в [5], где была показана связь яркостной температуры в радиодиапазоне с радиационным индексом сухости.

Яркостная температура  $T_{я}$ , общепринятая мера собственного радиотеплового излучения, может быть представлена в виде:

$$T_{я} \cong \epsilon(\epsilon^*) T_0, \quad (2)$$

где  $\epsilon(\epsilon^*)$  – коэффициент излучения почвы;  $\epsilon^*$  – ее комплексная диэлектрическая проницаемость;  $T_0$  – термодинамическая температура почвы.

Известно, что величина  $\epsilon$  почвы зависит, прежде всего, от ее влажности и значительно в меньшей степени (почти на порядок) от других параметров – плотности, степени минерализации и др. В [5] было получено приближенное (с погрешностью ~ 5%) соотношение для яркостной температуры

$$T_{я} \cong k_1 \frac{T_0}{k_2 W + 1}. \quad (3)$$

где  $W$  – объемное влагосодержание почвы ( $\text{г см}^{-3}$ );  $k_1$  – коэффициент, зависящий от ее плотности и имеющий смысл коэффициента излучения абсолютно сухой почвы;  $k_2$  – некоторый коэффициент, зависящий от длины волны принимаемого излучения и степени минерализации почвенного раствора. В виде (3) яркостная температура в радиодиапазоне соответствует широко известному интегральному показателю – радиационному индексу сухости.

В радиодиапазоне суточные вариации температуры почвы (надпочвенного покрова и подстилки) практически не оказывают влияния на яркостную температуру  $T_{я}$ . Как показано в [5], крутизна зависимости  $T_{я}(W)$  практически на порядок превышает крутизну зависимости  $T_{я}(T_0)$ .

Для полного соответствия результатов ДЗ измеряемым параметрам, собственное радиотепловое излучение исследуемого слоя должно полностью формироваться этим слоем. Это требование приводит к необходимости проведения измерений яркостных температур лесных горючих материалов в миллиметровом диапазоне радиоволн, где из-за достаточно высокого поглощения в напочвенном покрове [6] излучение полностью формируется тонким (5 – 10 см) слоем, что позволяет с достаточно высокой точностью определить параметр ПВ – 1. Для определения параметра ПВ – 2 необходимо проводить измерения  $T_{я}$  в более длинноволновом (например, сантиметровом) диапазоне радиоволн.

В [5] был использован безразмерный интегральный параметр, называемый радиационным индексом сухости,

$$S = \frac{R}{Lx}, \quad (4)$$

где  $R$  – годовой радиационный баланс;  $x$  – годовые осадки;  $L$  – скрытая теплота испарения.

**Выводы.** С учетом  $R \approx \sum (t - \tau)$  для выбранного для анализа интервала времени можно утверждать, что яркостная температура в радиодиапазоне полностью коррелирует с искомым параметром ППО, и по измерениям  $T_{я}$  с борта летательного аппарата, например, системой раннего обнаружения лесных пожаров [3], можно строить прогнозные карты пространственного распределения ППО.

При этом, как отмечено и в [5] для радиационного индекса сухости, измеряемые радиометром мгновенные значения радиояркостных температур не являются в полной смысле величинами, соответствующими природной пожарной опасности. Яркостная температура соответствует скорее «мгновенным» значениям ППО, т.е. является оценкой текущего состояния природных объектов.

**Список литературы:** 1. *Определение природной пожарной опасности в лесу* / С.М. Вонский, В.А. Жданко, В.И. Корбут и др. – Л.: ЛенНИИЛХ. – 1975. – 38 с. 2. *Літвін М.В.* Прогнозування настання пожежонебезпечного періоду в лісах // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника.

1998. – Вып. 15. – С. 190-193. 3. *Покровский Р.Л.* Ранее обнаружение очагов ландшафтных пожаров и прогноз динамики их распространения: дис. к. т. н.: 21.06.02. – Харьков, 2002. – 221 с. 4. *Реутов Е.А.* О взаимосвязи поля собственного СВЧ и ИК-излучения природных объектов с их состоянием // Исслед. Земли из космоса. – 1989. – № 1. – С. 70-76. 5. *Реутов Е.А., Шутко А.М.* О взаимосвязи радиояркостной температуры с радиационным индексом сухости // Исслед. Земли из космоса. – 1987. – № 6. – С. 42-48. 6. *Валендик Э.Н., Богомолов А.А.* Дистанционная оценка влаго-содержания растительного напочвенного покрова по его СВЧ излучению // Прогнозирование лесных пожаров. Сб. статей. Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1978. – С. 26-40.

Поступила в редакцию 4.05.04