

М.Н. ДОЛГОДУШ, адъюнкт АГЗ Украины,
В.М. КОМЯК, канд физ.-мат. наук, ст.н.с. ИРЭ НАН Украины,
О.Е. МАРЫКИВСКИЙ, канд физ.-мат. наук, ст.н.с. ИРЭ НАН Украины
(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. Передполагалося, що споживачі дистанційної інформації по окремих параметрах об'єкта оцінять його стан і зможуть прийняти рішення.

Особенністю 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 наше час ставити задачу визначення таких характеристик досліджуваної 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 показателі

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, τ – 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/см².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 $T_{\text{я}}$, общепринятая мера собственного радиотеплового излучения, может быть представлена в виде:

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

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

Известно, что величина ϵ 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

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

где W – объемное влагосодержание почвы (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 $T_{\text{я}}$. Как показано в [5], крутизна зависимости $T_{\text{я}}(W)$ практически на порядок превышает крутизну зависимости $T_{\text{я}}(T_0)$.

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 редколлегию 4.05.04