

УДК 519.86

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ДЛЯ ФОРМАЛИЗОВАННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С., Саушкин В.В., Бокарева Н.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический
университет им. Г.Ф. Морозова»

E-mail: rc@icmail.ru

Аннотация: Лесные массивы являются сложными системами. Исследование динамики их состояния существенно затруднено отсутствием фундаментальной концепции, которая позволила бы создать универсальный подход к моделированию отклика этих природных комплексов на флуктуации внешних факторов, таких как температура или влажность окружающей среды. В работе предлагается использовать стратовую модель к описанию лесных массивов. Такой подход позволит оценить степень влагосодержания в лесном массиве и ввести параметры отклика этой системы на изменения факторов окружающей среды.

Ключевые слова: фундаментальные концепции, системный подход, формализованное моделирование, степень высыхания, влагосодержание.

FUNDAMENTAL CONCEPT FOR FORMALIZED MODELING OF THE STATE
OF FOREST ARRAYS

Evsikova N.Yu., Kamalova N.S., Saushkin V.V., Bokareva N.S.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State
University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»

E-mail: rc@icmail.ru

Summary: Forests are complex systems. The study of the dynamics of their state is significantly complicated by the lack of a fundamental concept that would allow creating a universal approach to modeling the response of these natural complexes to fluctuations of external factors, such as temperature or humidity of the environment. The paper proposes to use a stratum model for the description of forests. This approach will allow us to assess the degree of moisture content in the forest and introduce the parameters of the response of this system on changes in environmental factors.

Keywords: fundamental concepts, systematic approach, formalized modeling, degree of drying, moisture content.

Лесные массивы – это сложные системы, состояние которых непрерывно изменяется в зависимости от внешних и внутренних факторов. Поэтому при решении задач по оценке их состояния необходим комплексный системный подход. Существующие модели динамики состояния этих природных комплексов выполняют задачу оценки вероятности возникновения и развития кризисной ситуации, а не собственно моделирования отклика системы на влияние флуктуаций внешних факторов. И характеристики состояния лесных массивов практически не разработаны.

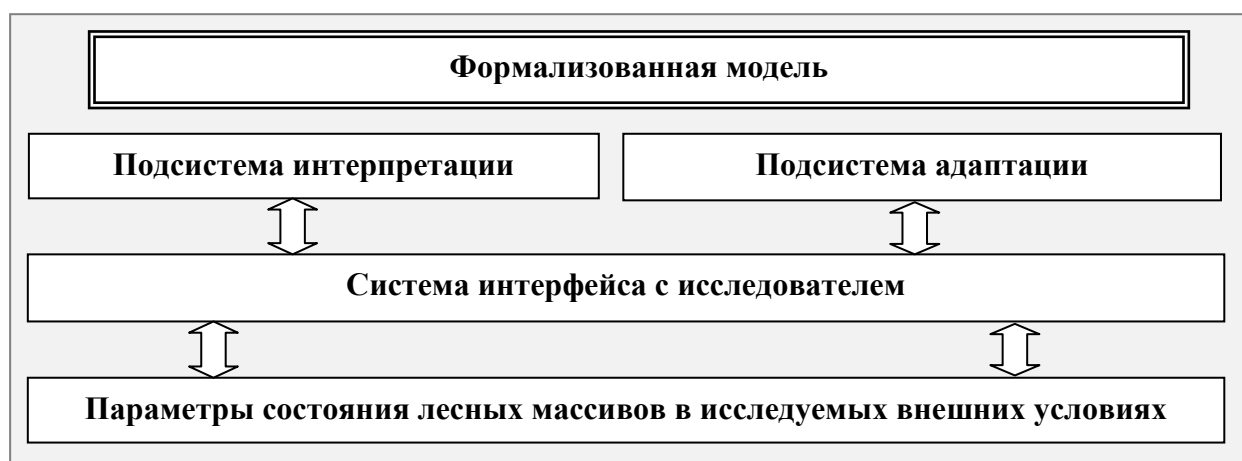
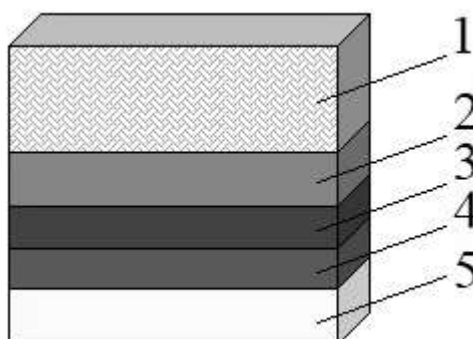


Рисунок 1 – Структура формализованной модели



- 1 – многоярусные древостои с подлеском;
- 2 – напочвенный растительный покров;
- 3 – лесная подстилка;
- 4 – залежи горючих материалов и перегноя;
- 5 – слой негорючих материалов

Рисунок 2 – Многослойная концепция лесных массивов

В последнее время активно развиваются технологии моделирования различных систем [1-5], на имитационных моделях исследуются процессы, которые в реальных условиях могут привести к катастрофическим ситуациям. Такой подход позволяет значительно снизить затраты на поиск оптимальных методов контроля состояния различных систем. Применение технологий моделирования к лесным массивам затруднено отсутствием фундаментальных системных концепций состояния этих комплексных систем.

На рисунке 1 приведена общая структура формализованной модели, используемой для реализации имитационного способа оценки состояния природных комплексов. Такая модель включает в себя подсистемы интерпретации и адаптации модели к оригиналу, что позволяет базировать оценку параметров состояния с достаточной степенью уверенности в адекватности принципов моделирования. В этих подсистемах происходит корректировка базовых аксиом и правил вывода модели, которые по существу являются некоторыми алгоритмами, состоящими из элементарных операций. В свою очередь, базовые операции должны иметь прозрачную математическую интерпретацию и ясный физический смысл.

В работе предлагается обоснование фундаментальной концепции для создания подобных операций. Концепция должна включать в себя физическую модель лесного массива, позволяющую оперировать характеристиками системы в зависимости от цели исследования и методов измерения флуктуаций параметров ее состояния. Например, при оценке допустимых критических значений влагосодержания в лесном массиве удобно представить его как многослойную комплексную структуру (рис. 2). В рамках такого подхода влагосодержание в каждом слое будет зависеть от ряда факторов окружающей среды, к которым относятся прежде всего количество выпадаемых осадков, флуктуации температуры окружающей среды, изменение состава каждого слоя по степени потребления влаги. Если использовать неоднократно опробованный при моделировании подход принципа суперпозиции внешних воздействий, то можно интерпретировать известные данные систем прогноза пожаров для формирования аксиом на основе математического анализа для оценки степени проницаемости влаги для каждого слоя.

Первый слой обычно состоит из древостоев нескольких ярусов, кустарникового подлеска и воздуха, поэтому его проницаемость во многом определяется влажностью окружающей среды, а способность к накоплению – влагосодер-

жанием стволов, по которым происходит влагоперенос.

Напочвенный растительный покров содержит виды, не регулирующие впитывание, при этом их накапливающие влагу свойства существенно зависят от внешних факторов. Влагосодержание подстилки и опада определяется физическими законами увлажнения и высыхания, достаточно разработанными в современных системах прогноза возникновения пожаров [6-9].

В рамках предложенной концепции скорость изменения влагосодержания можно оценить исходя из простых предположений [10-12]. Скорость относительного изменения влагосодержания в слое $\frac{dm_i}{m_i dt}$ определяется суперпозицией влияния указанных выше факторов, которые оцениваются как относительное изменение доли влаги, стимулирующей данный фактор. Тогда, для i -го слоя

$$\frac{dm_i}{m_i dt} = \chi_i = \tau_{oi} - \tau_{ni}, \quad (1)$$

где τ_{oi} – доля влаги, накапливаемой в единицу времени в слое в результате выпадения осадков или из грунтовых вод, τ_{ni} – доля влаги, испаряющейся в единицу времени в зависимости от внешних условий. Поскольку процесс накопления влаги стремится к насыщению (в зависимости от внешних условий), то скорость накопления уменьшается с ростом влагосодержания. Поэтому соотношение (1) преобразуется к виду:

$$\frac{dm_i}{m_i dt} = \chi_i - \beta_i m_i, \quad (2)$$

где β_i – характеризует изменение скорости относительного накопления в результате насыщения в каждом слое. Решение дифференциального уравнения (2) находится аналитически:

$$\frac{m_i}{m_{oi}} = \frac{e^{\chi_i t}}{1 + \kappa m_{oi} (e^{\chi_i t} - 1)}. \quad (3)$$

Соотношение (3) позволяет оценивать относительное влагосодержание по параметрам, определяемым эмпирически: m_{oi} – начальное содержание влаги в слое, χ_i – скорость относительного накопления в результате влияния внешних факторов, $\kappa = \chi_i / \beta_i$ – коэффициент, характеризующий отношение процессов насыщения и накопления в каждом слое.

Таким образом, многослойная концепция позволяет определять влагосодержание в лесных массивах в любой момент времени. При этом параметры состояния в текущий момент времени имеют прозрачный физический смысл. Соотношение

(3) показывает, что влагосодержание лесных массивов, как и состояние любой физической системы, при неизменных внешних условиях стремится к некоторой стационарной величине, слабо меняющейся с течением времени. Следовательно, методы системного анализа позволяют создавать соотношения (например, (3)) для формализованных моделей состояния лесных массивов в режиме реального времени и оценивать критическое значение таких параметров, как влагосодержание.

Исследования проведены в рамках гранта, выделенного ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет имени Г.Ф. Морозова» на проект «Разработка фундаментальной концепции методов измерения термополяризационных электрических полей в стволах древесных растений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Моделирование термополяризационных эффектов в сложных системах / Н. Н. Матвеев, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, Н. И. Коротких // Современный физический практикум : сборник тезисов докладов 12 Международной учебно-методической конференции, Москва, 25-27 сентября 2012 г. / под ред. Н. В. Калачева, М. Б. Шапочкина. – Москва, 2012. – С. 109.

2 Моделирование зависимости ВАХ кремниевого диода для проведения вычислительного эксперимента для анализа характера зависимости концентрации электронов от температуры / Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, В. И. Лисицын, В. В. Лядов // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2013. – № 5 (5). – С. 226-228.

3 Анализ влияния изменений среднесуточной температуры воздуха в зимний период на накопление влаги в лесных почвах / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. И. Лисицын, Б. М. Кумицкий // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2013. – № 5 (5). – С. 355-357.

4 Зимние оттепели и вероятность возникновения лесных пожаров / Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, В. И. Лисицын, Б. М. Кумицкий, С. М. Матвеев // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2013. – № 5 (5). – С. 364-368.

5 Термоэлектрический механизм раннего весеннего сокодвижения / Н. Н. Матвеев, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, В. И. Лисицын, В. В. Саушкин // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2013. – № 5 (5). – С. 374-378.

6 Morvan, D. Modeling of fire spread through a forest fuel bed using a multiphase formulation / D. Morvan, J. L. Dupuy // Combustion and Flame. – 2001. – Vol. 127, Iss. 1-2. – P. 1981-1994. DOI:10.1016/S0010-2180(01)00302-9.

7 Martell, D. L. A Markov Chain Model of Day to Day Changes in the Canadian Forest Fire Weather Index / David L. Martell // International Journal of Wildland Fire. – 1999. – № 9(4). – P. 265-273. – URL : <http://dx.doi.org/10.1071/WF00020>. – Текст : электронный.

8 Софронова, Т. М. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья / Т. М. Софронова, А. В. Волокитина, М. А. Софронов // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 74-80.

9 Гришин, А. М. Моделирование и прогноз экологических катастроф / А. М. Гришин // Экологические системы и приборы. – 2001. – № 2. – С. 12-21.

10 Возможный механизм транспорта растворов солей в ксилеме древесных растений ранней весной / Н. Н. Матвеев, А. А. Рычков, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего лесного образования в г. Воронеж и ЦЧР России, 4-6 октября 2018 г. / науч. ред. С. С. Морковина ; Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – Воронеж, 2018. – Т. 2. – С. 450-457.

11 Принцип работы перераспределения воды в природных системах / Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, А. Д. Ращупкин, А. Э. Косенко // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2018. – Т. 6, № 4 (40). – С. 321-326.

12 The possible mechanism for the water transport in the tree trunks in early spring / N. N. Matveev, A. A. Rychkov, N. S. Kamalova, N. Yu. Evsikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)». – 2019. – P. 012047.