

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ**

**Материалы  
Всероссийской научно-практической конференции,  
посвященной Году экологии в России**

**г. Нижневартовск, 23 ноября 2017**

Издательство  
Нижевартовского  
государственного  
университета  
2018

**ББК 20.1я43  
И 74**

Печатается по постановлению редакционно-издательского совета  
Нижевартовского государственного университета

**И 74** Информационные технологии в экологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России (г. Нижневартовск, 23 ноября 2017) / отв. ред. Т.Б. Казиахмедов. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2018. – 203 с.

**ISBN 978–5–00047–417–4**

Авторами рассмотрены вопросы использования информационных технологий, математических методов для решения экологических проблем современности: промышленное загрязнение окружающей среды, истощение природных ресурсов, прогнозирование природных катаклизмов и др. Освещены также темы экологического образования, телемедицины.

Издание адресовано специалистам-практикам, педагогическим работникам, научным сотрудникам, аспирантам и студентам.

**ББК 20.1я43**

Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 16.01.2018  
Формат 60×84/8. Бумага для множительных аппаратов  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. листов 25,5  
Тираж 300 экз. Заказ 1991

Отпечатано в Издательстве  
Нижевартовского государственного университета  
628615, Тюменская область, г. Нижневартовск, ул. Дзержинского, 11  
Тел./факс: (3466) 43-75-73, E-mail: izd@nvsu.ru

**ISBN 978–5–00047–417–4**

© Издательство НВГУ, 2018

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

---

---

УДК 004.9:631.4

А.К. Гуц

*доктор физико-математических наук, профессор*

Д.Н. Лавров

*кандидат технических наук, доцент*

*г. Омск, Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского*

## ТЕОРЕТИКО-КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗГОРАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

---

---

**Аннотация.** Приводится теоретико-катастрофическая модель зарождения лесного пожара. Выведено соответствующее дифференциальное уравнение, которое показывает, что возгорание в лесу – это математическая катастрофа типа сборки.

**Ключевые слова:** лесная экосистема; выбросы углерода; лесной пожар; математическая теория катастроф; возгорание; катастрофа типа сборки.

Лесной пожар – это природное явление, сопутствующее существованию лесных экосистем. Более того, такие экосистемы, как тропические саванны и бореальные леса, адаптировались к периодическому воздействию пожаров. Пожары на их территории ежегодно приводят к выбросу (эмиссии) в атмосферу от 2 до 5 Гт углерода. При пожарах высокой интенсивности значительно снижаются запасы углерода в экосистеме; например в почвенном покрове на 55-60% [1].

Время восстановления запасов углерода после пожаров зависит от типа пожара и состава лесного фитоценоза. «Запас углерода почвенного покрова на третий после пожара год составил 85% от допожарного значения в лиственничниках и 66% в сосняках. Спустя 1–3 года после воздействия высокоинтенсивных пожаров запас углерода ветвей и валежа в лиственничниках в 2,5–3,2 раза больше, чем в сосняках. Увеличение углерода почвенного покрова после пожара низкой интенсивности происходит, как и после высокоинтенсивного, за счет опада с поврежденных пожаром деревьев и отпада сухостоя. Запас углерода органического вещества на поверхности почвы в светлохвойных насаждениях, пройденных пожарами низкой интенсивности, восстанавливается до допожарного уровня за 1–2 года» [1].

Допожарное состояние леса и восстановленный лес могут рассматриваться как в своем роде состояния равновесия лесной экосистемы. Поэтому возгорание и восстановление леса – это бифуркационные переходы между этими двумя равновесными состояниями [2].

Примем, что лесной пожар характеризуется скачкообразным выбросом углерода. Скорость увеличения количества углерода в атмосфере за счет уменьшения его в экосистеме пропорциональна его количеству  $x(t)$  в лесном фитоценозе и в большой мере зависит от превышения температуры  $T$  некоторого критического уровня  $T_0$ , т.е.

$$\frac{dx}{dt} = -[kx + (T - T_0)].$$

Коэффициент  $k = k(x)$  определяет специфику лесного пожара. Низовые пожары выбрасывают значительно меньше углерода. В случае засухи, т.е. при повышенной температуре, и в сочетании с ветреной погодой из низовых пожаров развиваются верховые пожары. При устойчивом (повальном) пожаре – огонь распространяется по всему древостою: от подстилки до крон.

Пусть

$\alpha x(t)$  – доля углерода в лесном опаде, состоящем из мелких ветвей, коры, хвои, листьев; лесной подстилке, сухой траве; в живом напочвенном покрове из трав, мхов, мелкого подроста и коры в нижней частях древесных стволов, которые задействованы в низовых пожарах;

$\beta x(t)$  – доля углерода в кронах деревьев, задействованных в верховых пожарах.

Посредством коэффициента  $k = k(x)$  учитываем взаимовлияние низовых и верховых пожаров, полагая  $k = k(x) = [\alpha x \cdot \beta x - (p - p_0)]$ , где  $p$  – величина, характеризующая уровень противопожарных мероприятий, проводимых лесными управлениями регионов,  $p_0$  – критический уровень для принимаемых противопожарных мер, гарантирующих отсутствие самовозгораний (или даже поджогов).

В результате получаем модель возгорания, имеющая вид дифференциального уравнения

$$\frac{dx}{dt} = -\{[\alpha x \cdot \beta x - (p - p_0)]x + (T - T_0)\},$$

или

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x} V(x, p, T), \quad V(x, p, T) = \frac{1}{4} \alpha \beta x^4 - \frac{1}{2} (p - p_0) x^2 + (T - T_0) x.$$

Другими словами, мы имеем теоретико-катастрофическую модель возгорания, описываемую катастрофой типа сборки [3]. Если рассматривать стационарные равновесия лесной экосистемы, характеризуемых решениями  $x(t)$ , удовлетворяющими условию

$$\frac{dx}{dt} = 0, \quad \text{или} \quad \frac{\partial}{\partial x} V(x, p, T) = 0,$$

то при изменении параметров  $p, T$  по замкнутой траектории вокруг точки  $(p_0, T_0)$  при пересечении так называемого бифуркационного множества происходят скачкообразные изменения содержания углерода в атмосфере. Иначе говоря, большие выбросы углерода, означающее резкое уменьшение величины  $x$  (лесной пожар или вырубка леса) сменяются резким спадом поступления углерода в атмосферу с соответствующим увеличением величины  $x$  (скачок в процессе восстановления леса и депонирования углерода = вторичная сукцессия после пожара и/или прекращение вырубок леса).

### Литература

1. Иванова Г.А., Кукавская Е.А., Жила С.В. Воздействие пожаров на параметры баланса углерода и компоненты экосистемы в светлохвойных лесах Средней Сибири. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-rozharov-na-parametry-balansa-ugleroda-i-komponenty-ekosistemy-v-svetlohvoynyh-lesah-sredney-sibiri> (дата обращения: 10.11.2017).
2. Володченкова Л.А. Кибернетика катастроф лесных экосистем. Омск: Изд-во КАН, 2012. 220 с.
3. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980. 543 с.