

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ФИЗИКА**

УДК 574
ББК 28.080.3

Володченкова Людмила Александровна

соискатель

кафедра социально-экономической географии и туризма
Омский государственный педагогический университет
г. Омск

Гуц Александр Константинович

доктор физико-математических наук,
профессор
кафедра кибернетики
Омский государственный университет
г. Омск

Volodchenkova Lyudmila Alexandrovna

Applicant for a Degree

Chair of Social and Economic Geography and Tourism
Omsk State Pedagogical University
Omsk

Guts Alexander Konstantinovich

Doctor of Mathematics and Physics,
Professor
Chair of Cybernetics
Omsk State University
Omsk

Прогнозирование состояний соснового леса

при нарастании засухи или пожарной опасности

Predictive Modeling of Pine Forest State in Case of Drought or Fire Danger

Дается описание равновесных состояний соснового леса в процессе развития засухи или пожарной опасности на основе математической теории катастроф. Показано как можно прогнозировать будущие состояния леса до пожара и после пожара.

The description of equilibrium states of pine forest in case of drought or fire danger on the basis of the mathematical theory of catastrophes is given in the article. It is shown how to predict the future states of forest before and after a fire.

Ключевые слова: экология, лесной биоценоз, засуха, пожар, прогнозирование.

Key words: ecology, forest biogenesis, drought, fire, predictive modeling.

Целью статьи является изучение и прогнозирование равновесных состояний леса до и после пожара засухи (пожара). Для теоретического описания наблюдающегося экологического кризиса мы используем математическую теорию катастроф Рене Тома [5].

В качестве возможных внешних факторов, влияющих на лесную экосистему, взяты влажность почвы w , мозаичность леса m , наличие конкуренции k и степень пожарной опасности (равно – степень засухи) a .

В работах [2,3] было показано, что четырехярусному лесу можно поставить в соответствие так называемую потенциальную функцию вида

$$V(x, k, m, a, w) = \frac{\alpha}{6}(x - x_0)^6 + k(x - x_0)^4 + m(x - x_0)^3 + a(x - x_0)^2 + w(x - x_0),$$

где x – продуктивность фитомассы, Первый член $\alpha(x - x_0)^6 / 6$ ($\alpha > 0$) определяется наличием только четырех ярусов леса. Учет каждого нового яруса увеличивает показатель степени x на единицу. Коэффициент $\alpha = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4$, где α_j – доля фитомассы j -го яруса в фитомассе всего леса.

Далее

$$k = -c_k (CI - CI_0), m = c_m \left(\frac{s^2}{\mu} - 1 \right), a = -c_a (КП - КП_0), w = c_w (W - W_0),$$

где

CI – индекс конкуренции [1];

s^2 / μ – коэффициент дисперсии, являющийся показателем равномерности распределения деревьев в пространстве; если s^2 / μ близко к нулю, то распределение регулярное, к единице – случайное, а чем более единицы, – тем контактиознее (пятнистее), т.е. мозаичнее;

$КП$ – комплексный показатель пожарной опасности В.Г.Нестерова текущего дня, рассчитываемый по формуле:

$$КП = \sum_{j=1}^n T_j (T_j - T_j^r),$$

где T_j – температура воздуха j -го дня; T_j^r – температура точки росы j -го дня; $j = 1$ – день, когда был дождь, $j = 1, \dots, n$ – дни без осадков, n – число дней после последнего дождя [4];

W – влажность почвы;



c_k, c_m, c_a, c_w – постоянные коэффициенты.

Величины $CI_0, КП_0, W_0$ – это критические значения факторов, обозначающие границы экологической устойчивости фитоценоза. Через x_0 обозначим минимально допустимую для изучаемого типа леса продукцию фитомассы.

Увязывание антропогенного фактора с комплексным показателем В.Г.Нестерова объясняется тем, что возникновению пожара по вине людей способствует *засушливая* погода. Комплексный показатель В.Г.Нестерова как раз и вычисляется с целью оценивания степени пожарной опасности в лесу по условиям погоды. Очевидно, что одновременно наша модель хорошо описывает засуху.

Рассмотрим сосновые насаждения в южных экорегионах Западной Сибири, который характеризуется следующими значениями параметров до катастрофы (пожара, засухи):

$\alpha = 90 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 2$; $CI = 12$, $CI_0 = 6$ (сосна, [1]); $s^2 / \mu = 1$ (случайное распределение деревьев); $x_0 = 8,5$ т/га за год (согласно [6] для сосновых насаждений Омской области); $W = 28\%$, $W_0 = 27\%$.

Таким образом, мы зафиксировали все факторы, кроме показателя пожарной опасности $КП$.

«Общероссийская шкала имеет пять классов пожарной опасности в лесу по условиям погоды (табл.1). Для отдельных регионов разработаны региональные шкалы пожарной опасности в лесу по условиям погоды, учитывающие местные особенности и те, в которых значения комплексного показателя по классам отличаются от значений общероссийской шкалы» [4].

Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды

Класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды	Значение $KП$	Степень пожарной опасности
I	До 300	—
II	От 301 до 1000	Малая
III	От 1001 до 4000	Средняя
IV	От 4001 до 10000	Высокая
V	От 10000	Чрезвычайная

Исходя из этой таблицы, принимаем, что $KП_0 = 10003,6$.

Для установления равновесий, возникающих при нарастании пожарной опасности для соснового насаждения, будем увеличивать комплексный показатель пожарной опасности $KП$, начиная с IV класса. Иначе говоря, моделируем процесс пожарной опасности в лесу, меняя показатель $KП$ от значения 4003,6 до 12003,6.

Компьютерные эксперименты показали, что можно принять следующие значения для коэффициентов: $c_k = 472,5, c_m = 1, c_a = 1000, c_w = 2 \cdot 10^3$ (каждый в соответствующих единицах измерения).

Потенциал соснового леса имеет вид

$$V(x, k, m, a, w) = 450(x - 8,5)^6 - 2835(x - 8,5)^4 - 1000(KП - KП_0)(x - 8,5)^2 + 2 \cdot 10^3(W - W_0)(x - 8,5) \quad (1)$$

С точки зрения математики равновесия лесной экосистемы – это либо *точка минимума*, либо *точка максимума*, либо так называемая *точка перегиба* потенциальной функции $V = V_{(k,m,a,w)}(x) = V(x, k, m, a, w)$. Как правило, устойчивые равновесия системы – это минимумы функции $V = V(x, k, m, a, w)$. На рисунках графика функции $V = V_{(k,m,a,w)}(x)$ они изображаются ямками (соответственно максимумы – неустойчивые равновесия – изображаются вершинами горок).

Для конкретного набора внешних факторов у функции $V = V_{(k,m,a,w)}(x)$ мо-



жет быть несколько точек минимумов. Скажем, это точки x^1, \dots, x^m . В каком из этих равновесий находится система? Как узнать это? Для этого используют различные правила, т.е. способы, по которым выбираются равновесия. Рассмотрим два основных правила.

Правило Максвелла предписывает взять в качестве равновесия системы такую точку минимума, в которой функция $V = V_{(k,m,a,w)}(x)$ достигает наименьшего значения.

Правило максимального промедления предписывает состоянию оставаться в минимуме при изменении факторов до тех пор, пока он существует.

В момент, когда происходит исчезновение старого минимума и становится необходимым переход в новый, происходит *экологическая катастрофа*.

Окончательный результат компьютерных экспериментов представлен в виде графиков потенциала леса на рис.1-6.

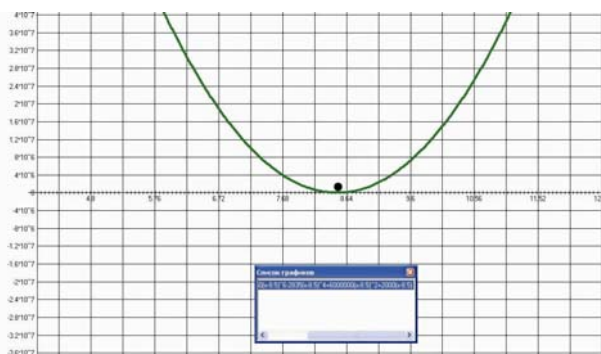


Рис.1. Класс пожарной опасности IV.
 $KП = 4003.6$, $W = W_0 + 1\%$.
 Продукция $x=8,5$.

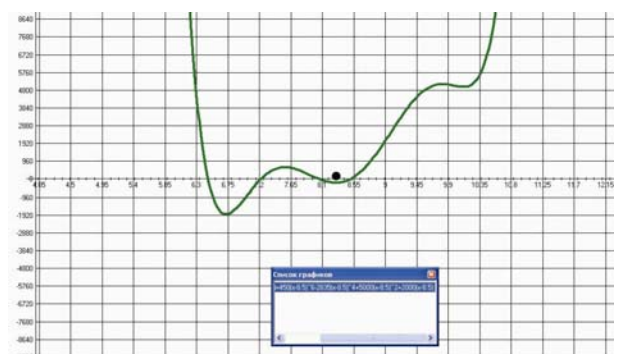


Рис.2. Класс пожарной опасности IV.
 $KП = 9998.6$, $W = W_0 + 1\%$.
 Продукция $x=8,5$.

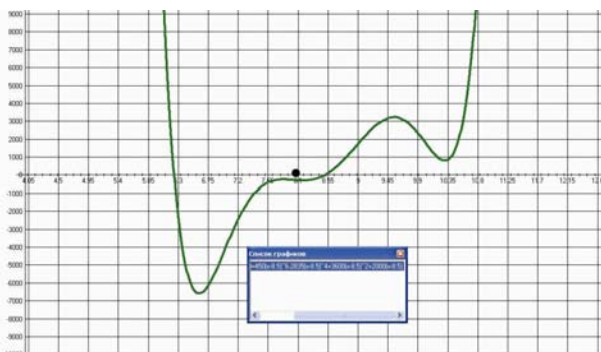


Рис.3. Класс пожарной опасности IV.
 $KП = 10000$, $W = W_0 + 1\%$.
 Продукция $x=8,5$.

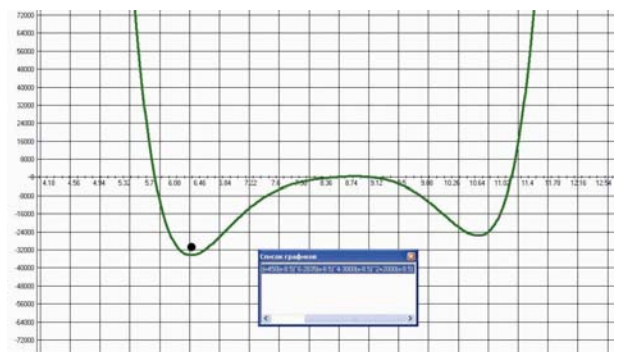


Рис.4. Класс пожарной опасности V.
 $KП = 10006,6$, $W = W_0 + 1\%$.
 Продукция $x=6,3$.

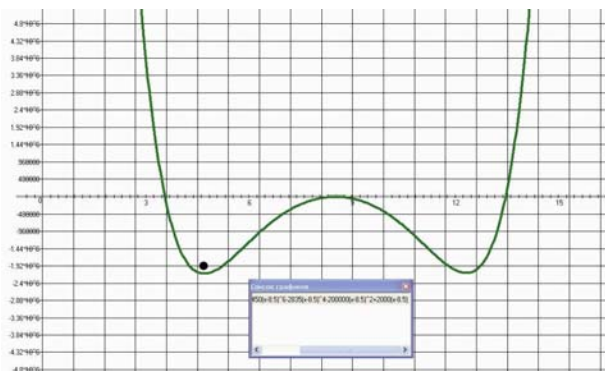


Рис.5. Класс пожарной опасности V.

$$КП = 10203,6, W = W_0 + 1\%.$$

Продукция $x=4,6$.

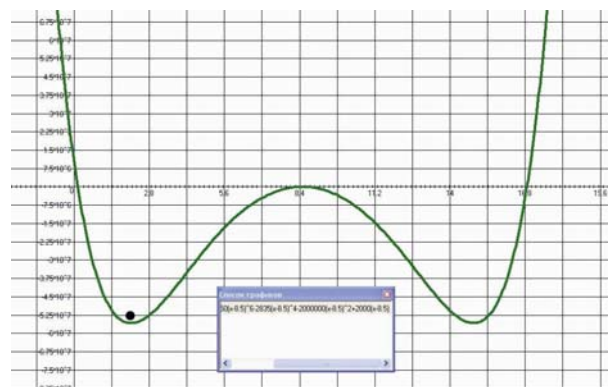


Рис.6. Класс пожарной опасности V.

$$КП = 12003,6, W = W_0 + 1\%.$$

Продукция $x=1,8$.

Мы видим, что засуха (пожар) имела место при V классе пожарной опасности, поскольку резко, скачком, уменьшилась продуктивность леса (рис.4). По мере дальнейшего увеличения комплексного показателя пожарной опасности $КП$, т.е. по мере развития засухи (пожара), продуктивность падает с 8.5 до 1.8. Это следует расценивать как итог засухи (или лесного пожара). При этом экосистема никак не могла оказаться в правой ямке (рис.5), хотя это и устойчивое равновесие. На рис.6 ямки имеют уже одинаковую глубину. Если считать, что, например, пожар миновал, имеет место гарь, и воспользоваться правилом Максвелла, то правая ямка – это возможное альтернативное состояние леса. Поскольку оно соответствует более высокой продуктивности, то можно говорить, что переход в правое состояние – это восстановление леса после пожара.

Потенциалом леса (1) можно пользоваться для прогноза. Состояние леса – это точка на кривой графика потенциала с соответствующими значениями $CI, КП, W, x$. По ней можно судить, является ли состояние леса устойчивым, далеко ли до устойчивого, и к какому устойчивому состоянию оно устремится в ходе сукцессии после засухи или послепожарной сукцессии.

Библиографический список

1. Вайс, А.А. Классификация деревьев и горизонтальная структура ценозов [Электронный ресурс] / А.А. Вайс. // Научный журнал КубГАУ. - 2007. - №.31(7). - С.1-13. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/07/pdf/14.pdf>.



2. Володченкова, Л.А. Описание и моделирование катастроф лесных биоценозов [Текст] / Л.А. Володченкова, Н.А. Калинин // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. - 2009. - № 12. - С.298-309.

3. Володченкова, Л.А. Катастрофы типа «бабочка» в лесных экосистемах [Текст] / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Математические структуры и моделирование. - 2009. - Вып.19. - С.48-68.

4. Воробьев, Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы [Текст]/ Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л.Воробьева; МЧС России. - М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. - 312 с.

5. Постон, Т. Теория катастроф и ее приложения [Текст]/ Т. Постон, И. Стюарт. - М.: Мир, 1980. - 570 с.

6. Швиденко, А. Модели и таблицы биологической продуктивности [Электронный ресурс]/ А. Швиденко, Д. Щепашенко, С. Нильссон, Ю. Булуй // Леса и лесное хозяйство России. - Режим доступа: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/home_ru.html.

Bibliography

1. Poston, T. Theory of Catastrophes and Its Applications [Text] / T. Poston, I. Stewart I. - M: Mir, 1980. - 570 p.

2. Shvidenko, A. Models and Tables of Biological Productivity [Electronic Resource] / A. Shvidenko, D. Shchepashchenko, S. Nilsson, Yu. Buluy // Forests and Forestry of Russia. - Access Mode: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom.

3. Volodchenkova, L.A. The Description and Modelling of Forest Biocenosis Disasters [Text] / L.A. Volodchenkova, N.A. Kalinenko // Bulletin of Chelyabinsk State Pedagogical University. - 2009. - № 12. - P.298-309.

4. Volodchenkova, L.A. "Butterfly" Catastrophes in Forest Ecosystems [Text] / L.A. Volodchenkova, A.K. Guts // Mathematical Structures and Modelling. - 2009. - №.19. - P.48-68.

5. Vorobyev, Yu.L. Forest Fire on the Territory of Russia: State and Problems [Text] / Yu.L.Vorobyev, V.A. Akimov, Yu.I. Sokolov. - M.: DEKS-PRESS, 2004.

6. Weiss, A.A. Classification of Trees and Horizontal Cenosis Structure [Electronic Resource] / A.A. Weiss // Scientific Journal of KubSAU. - 2007. - №.31 (7). - P.1-13. - Access mode: <http://ej.kubagro.ru/2007/07/pdf/14.pdf>.