

УДК 536-12

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ
ДИНАМИКИ ХОДА РОСТА ДРЕВОСТОЕВ

Лисицын В.И., Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С.

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

E-mail: viktor-lisicyn@yandex.ru

E-mail: rc@icmail.ru

Аннотация: Моделирование экосистем является актуальным методом прогноза их состояния и профилактики катастрофических ситуаций. Большинство лесных биоценозов моделируют как термодинамически открытые системы. В работе проводится анализ модели Берталанфи при построении кривых хода роста однопорodных древостоев с помощью термодинамической теории открытых экологических систем.

Ключевые слова: экосистемы, моделирование, динамика роста, однопорodный разновозрастной древостой.

THERMODYNAMIC APPROACH TO MODELING
DYNAMICS OF THE TREE GROWTH

Lisicyn V.I., Evsikova N.Yu., Kamalova N.S.

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

E-mail: viktor-lisicyn@yandex.ru

E-mail: rc@icmail.ru

Summary: Ecosystem modeling is an actual method for predicting their state and preventing catastrophic situations. Most forest biocenoses are modeled as thermodynamically open systems. The paper analyzes the Bertalanffy model at constructing growth curves for monobreed stands using the thermodynamic theory of open ecological systems.

Keywords: ecological systems, modeling, growth dynamics, monobreed coeval forest stand.

Моделирование динамики роста древостоев имеет не только теоретическое, но и практическое значение [1-6]. Необходимость теоретического обоснования современных эколого-физиологических моделей является очень важной задачей несмотря на многочисленные публикации, посвященные проблемам моделирования лесных экосистем [например, 1-3]. Для построения моделей лесной динамики, как правило, используется модель типичного объекта лесоведения – однопородный одновозрастной древостой [4-6]. Обоснование модели при проведении оценок (например, прироста биомассы) необходимо проводить в рамках фундаментальных подходов природы макросистем.

Процессы самоорганизации и эволюции биоценозов изучаются с точки зрения термодинамики открытых систем [7, 8]. Лесные биоценозы являются примером таких систем. Таким образом, при моделировании динамики роста древостоев, а также при интерпретации полученных результатов следует использовать методы термодинамики открытых систем, в частности сформулированный в работах И. Пригожина принцип минимальной скорости прироста энтропии [9].

Целью представленной работы является оценка предельного значения удельного производства энтропии и биомассы на примере модели одновозрастного древостоя при больших временах произрастания.

Будем исследовать эколого-физиологические модели, построенные с использованием балансовой гипотезы, которая наиболее успешно реализована в модели Берталанфи [10, 11]. Остановимся на варианте модели, состоящей из одного динамического уравнения для биомассы организма m , описывающего рост за счет поглощения ресурса и ограничение за счет расхода ресурса [12]:

$$\frac{dm}{dt} = fgm^q - rm . \quad (1)$$

Поглощение пропорционально поглощаемой поверхности организма F :

$$F = gm^q . \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) f – удельная скорость поглощения ресурса, g и q – аллометрические параметры. Связывающий биомассу m и поглощающую поверхность F ресурс расходуется пропорционально полной биомассе с удельной скоростью r .

Такое же уравнение применяют для описания динамики биомассы M , приходящейся на площадь в 1 га древостоя [12]:

$$\frac{dM}{dt} = pM^q - rM, \quad (3)$$

где p – аллометрический параметр.

Переход от уравнения (1) к уравнению (3) требует обоснования, особенно при построении модели, используемой дальше для расчетов конкретных древостоев, так как $M = Nm$, где N – число деревьев на 1 га, а у N своя динамика. Число деревьев меняется с возрастом по различным причинам, т. е. описание динамики биомассы древостоя требует не менее двух уравнений (по крайней мере, в логике описываемой модели). Но в данной работе для анализа поведения древостоя при больших временах произрастания мы будем использовать уравнение (3) с зависимостью площади поглощающей поверхности, аналогичной (2):

$$F_d = gM^q. \quad (4)$$

Общее решение уравнения (3) хорошо известно:

$$M(t) = \left(\exp(-r(1-q)t) \left(M_0^{1-q} - \frac{p}{r} \right) + \frac{p}{r} \right)^{\frac{1}{1-q}}, \quad (5)$$

где $M_0 = M(t_0)$ – значение биомассы в начальный момент времени $t = t_0$.

Рассмотрим изменение энтропии S открытой системы. Оно состоит из потока энтропии $d_e S$, следующего в систему извне (чаще всего в виде энтропии, переносимой электромагнитным излучением Солнца), и потока энтропии $d_i S$, производимой внутри системы. Согласно 2-му закону термодинамики поток энтропии внутри системы всегда положителен. Итак, в открытой термодинамической системе возможны три варианта:

$$1) \quad \frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt} > 0, \quad (6)$$

$$2) \quad \frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt} < 0, \quad (7)$$

$$3) \quad \frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt} = 0. \quad (8)$$

В случае 1 (уравнение (6)) происходит деградация системы, в случае 2 (уравнение (7)) – в системе увеличивается порядок, происходит рост биомассы, случай 3 (уравнение (8)) соответствует стационарной ситуации, для которой возможен баланс энергий и баланс энтропии. Для нашей ситуации важен второй вариант, когда в открытой системе при росте организма будут существовать по крайней мере два процесса:

а) процесс, сопровождающийся поглощением коротковолнового электромагнитного излучения – процесс дифференциации;

б) процесс, сопровождающийся общим ростом биомассы, распадом, вследствие затрат на дыхание, конкуренцию и т. п.

Чтобы разделить эти процессы, мы будем рассматривать изменение удельной энтропии:

$$\sigma = \frac{S}{M}, \quad (9)$$

где M – общая биомасса.

Из (9) найдем производную энтропии по времени:

$$\frac{dS}{dt} = M \frac{d\sigma}{dt} + \sigma \frac{dM}{dt}. \quad (10)$$

Процесс дифференциации приводит к уменьшению удельной энтропии, поскольку порядок в системе возрастает, происходит рост биомассы, что соответствует положительной производной $\frac{dM}{dt}$. Поглощение энергии Солнца пропорционально площади поглощающей поверхности, т.е. поток энергии в систему пропорционален F :

$$\frac{d_e S}{dt} = bF, \quad (11)$$

а поток энтропии внутри системы пропорционален объему образовавшейся биомассы:

$$\frac{d_i S}{dt} = \alpha(t)V. \quad (12)$$

Объем биомассы и биомасса при постоянной плотности ρ биомассы прямо пропорциональны, т.е.

$$M = \rho V. \quad (13)$$

Объем и площадь поверхности связаны уравнением:

$$\Phi(F, V) = 0. \quad (14)$$

Функция $\alpha(t)$ есть не что иное, как удельное производство энтропии, а b – аллотропическая постоянная. После несложных преобразований для производной биомассы имеем:

$$\sigma \frac{dM}{dt} = \alpha(t)M + bF - M \frac{d\sigma}{dt}. \quad (15)$$

Предположим, что существует предельное значение удельной энтропии:

$$\sigma^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \sigma(t) . \quad (16)$$

Поскольку в этом случае $\lim_{t \rightarrow \infty} M \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) \rightarrow 0$, а для биомассы и площади поверхности предельные значение при больших t

$$M^* = \lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = \left(\frac{p}{r} \right)^{\frac{1}{1-q}} , \quad (17)$$

$$F^* = \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = \left(\frac{p}{r} \right)^{\frac{q}{1-q}} , \quad (18)$$

то для удельного производства энтропии получаем оценочное соотношение:

$$\alpha^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \alpha(t) = bg \frac{r}{p} , \quad (19)$$

согласно которому удельное производство энтропии становится постоянным и положительным, что в свою очередь соответствует распаду системы. С другой стороны, для биомассы тоже имеется предельное соотношение.

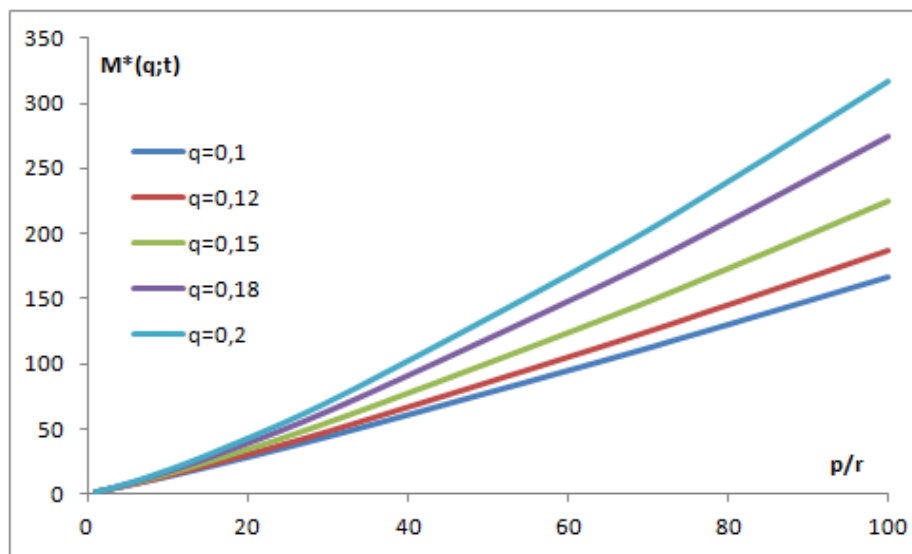


Рисунок 1 – Предельные значение биомассы при больших t для различных величин q

Согласно модели (см. уравнение (17)) величина предельного значения биомассы зависит от отношения скоростей нарастания биомассы и расхода ресурса и варьируется в зависимости от аллометрического параметра q (см. рис. 1). Этот результат противоречит основному выводу о распаде системы. Наличие такого противоречия при больших временах прироста наглядно показывает, что при дальнейших исследованиях необходимо обобщить модель Берталанфи

для описания уменьшения биомассы, что будет означать распад системы в соответствии с уравнением (19) [11].

В заключение хотелось бы отметить, что оценка предельного значения удельного производства энтропии и биомассы должна стать неотъемлемой частью обоснования моделей лесной динамики, поскольку достаточно наглядно показывает уровень адекватности и необходимого обобщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Имитационное моделирование цикла болезни лесов с помощью инструмента anylogic / А. О. Ступин, Ю. В. Фомина, Е. Л. Вайтекунене, С. Н. Ежеманская // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 1. – С. 88-90.

2 Моделирование динамики лесных экосистем как инструмент прогнозирования и управления лесами // П. Я. Грабарник, В. Н. Шанин, О. Г. Чертов, И. В. Припутина, С. С. Быховец, Б. С. Петропавловский, П. В. Фролов, Е. В. Зубкова, М. П. Шашков, Г. Г. Фролова // Лесоведение. – 2019. – № 6. – С. 488-500.

3 Kamalova, N. S. Innovative approach to the assessment of moisture content of forest areas within the framework of the fundamental multi-layered concept / N. S. Kamalova, N. Yu. Evsikova, V. V. Saushkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – P. 012043.

4 Карев, Г. П. Моделирование динамики однопородных древостоев / Г. П. Карев, Ю. И. Скоморовский // Сибирский экологический журнал. – 1999. – № 4. – С. 403-417.

5 Лисицын, В. И. Эколого-физиологическое моделирование динамики численности однопородного древостоя по методу Карева Г. П. / В. И. Лисицын, Н. Ю. Евсикова // Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесопроизводству : материалы международной научно-технической юбилейной конференции, 20-21 апреля 2017 года / редкол. : М. В. Драпалюк (пред.), С. М. Матвеев (отв. ред.), М. В. Анисимов (отв. секретарь), С. Ю. Крохотина; Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова. – Воронеж, 2017. – С. 96-98.

6 Лисицын, В. И. Эколого-физиологическая модель динамики роста

однопородного древостоя / В. И. Лисицын // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2017. – Т. 5, № 1 (27). – С. 213-215.

7 Jorgensen, S. E. Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems / S. E. Jorgensen, Y. V. Svirezhev. – Oxford : Elsevier, 2004. – 366 p.

8 Зотин, А. И. Термодинамический подход к проблемам развития, роста и старения / А. И. Зотин. – Москва : Наука, 1974. – 184 с.

9 Prigogine, I. Etude thermodynamique des processus irreversibles / I. Prigogine. – Desoer : Liege, 1947.

10 Корзухин, М. Д. Синэкология леса / М. Д. Корзухин, Ф. Н. Семевский. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1992. – 192 с.

11 Корзухин, М. Д. Построение кривых хода роста древостоев на основе обобщенной модели Бергаланфи по данным государственного лесного реестра / М. Д. Корзухин // Лесоведение. – 2019. – № 2. – С. 105-114.

12 Александров, Г. А. Критерий подобия для роста лесных насаждений / Г. А. Александров, Г. С. Голицын // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 446. – С. 110-113.