

ДИНАМИКА ВЫМОКАЮЩИХ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

С помощью теоретико-катастрофической мозаично-ярусной модели лесного фитоценоза демонстрируется, что лес в своей динамике стремится к состояниям равновесия.

Ключевые слова: лесной фитоценоз, динамика леса, состояния равновесия.

Введение

Равновесные состояния леса – это состояния, к которым стремится лесная экосистема в своем развитии, будучи подвергнутой начальным возмущениям. Так определяется равновесие математиками Иоссом и Джозефом в книге «Элементарная теория устойчивости и бифуркаций» [1, с. 9]. Фактически это определение повторяет слова, с помощью которых в биологии описывается климаксная стадия сукцессии.

Наблюдаемое значение продуктивности (фитомассы) лесного фитоценоза, находящегося в состоянии *равновесия*, будем интерпретировать как конкретное растительное сообщество. Смена равновесия, сопровождающаяся изменением значения продуктивности лесного фитоценоза, – это смена одних сообществ другими (по Сукачеву – динамика растительного покрова).

Предположим, что в момент $t = 0$ лес имеет продуктивность $x = x_0$. Нас интересует, как будет меняться продуктивность $x = x(t)$ со временем и будет ли состояние леса стремиться к равновесному?

Динамика четырехъярусного вымокающего леса

Для ответа на поставленный вопрос обратимся к модели вымокающего леса Называевского района Омской области, описанной в [2, с. 159–168; 3], т. е. рассмотрим уравнение динамики четырехъярусного леса, имеющее вид

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x} V_{W=W_0}(x), \quad (1)$$

где $V_{W=W_0}(x) = 210(x-12)^6 - 2835(x-12)^4 + 0,02(x-12)^2$ – потенциал березового леса с нормальной влажностью почвы $W = W_0$. Вид потенциала отвечает катастрофе типа «бабочка» [2]. Значение продуктивности $x = 12$ т/га за год соответствует данным работы [4] для 50–90-летних модальных березовых насаждений Омской области для I, II бонитета. Таковыми, как правило, являются Называевские березовые колки.

Равновесия лесного сообщества, описываемого уравнением (1), найдутся как решения x уравнения

$$\frac{\partial}{\partial x} V_{W=W_0}(x) = 0.$$

График потенциала $V_{W=W_0}(x)$ дан на рис. 1. На нем имеются три равновесия (две «ямки» и одна «горка»), причем левое, как показано в [2, с. 159–168], – это рождающееся состояние, отражающее процесс вымокания и деградации леса.

Поле изоклин для уравнения (1) дано на рис. 2.

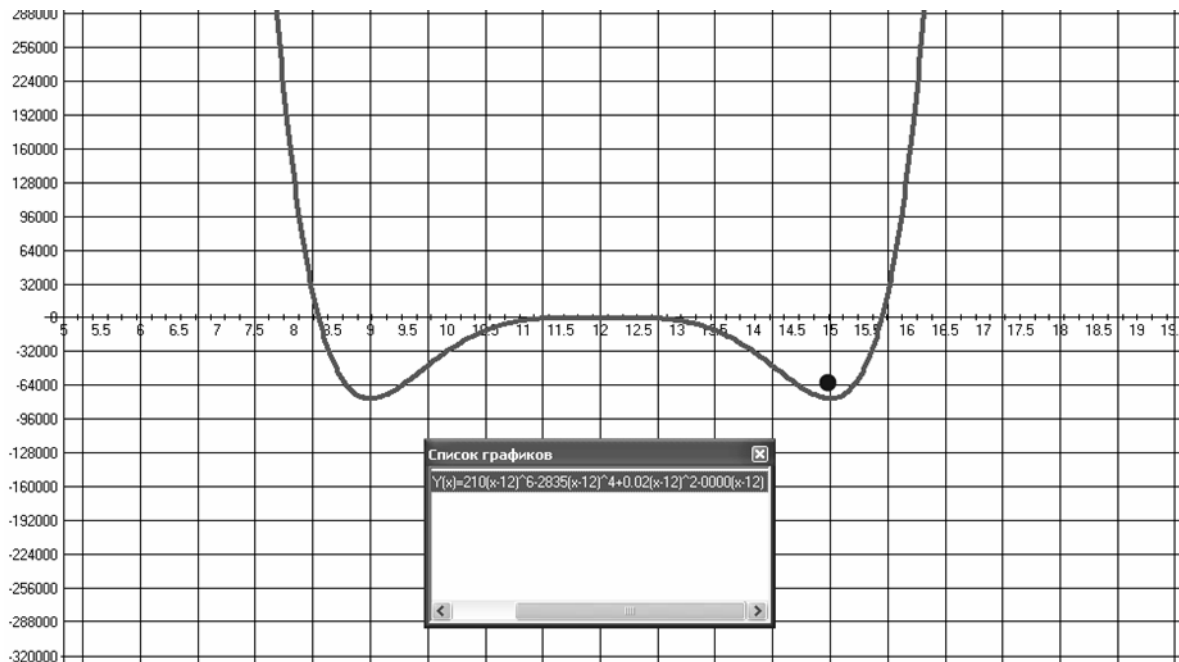
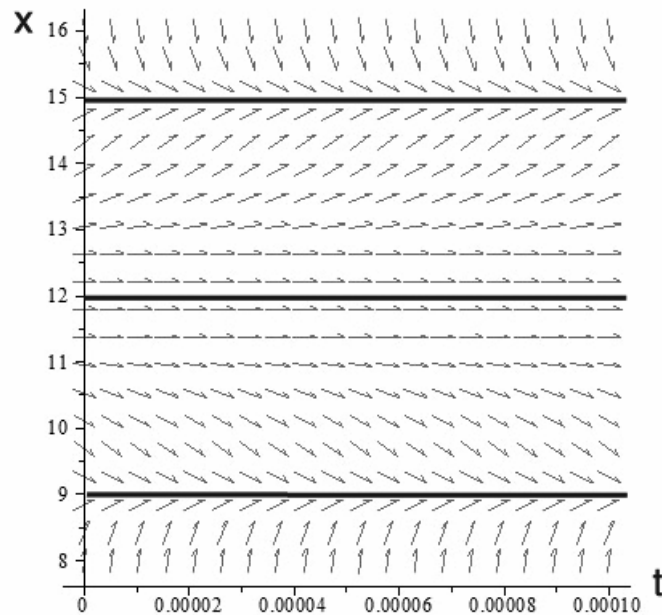
Рис. 1. График потенциала $V_{W=W_0}(x)$ 

Рис. 2. Изоклины для уравнения (2)

(прямые жирные отрезки – равновесные состояния леса: верхнее и нижнее – устойчивые, среднее – неустойчивое)

Мы видим, что состояние $x = 12$ («горка» для потенциала $V(x)$) является неустойчивым равновесием, а состояния $x \approx 9$ или $x \approx 15$ («ямки» для $V(x)$) – устойчивые равновесия. Любое решение уравнения (1) с начальным данным $x = x_0$, где $x \in [6, 16] \setminus \{12\}$, как видно из рисунка, – это траектория, касательная к направленным стрелкам-изоклинам, и движение по этой траектории (динамика леса) в направлении, указываемом изоклинами, будет вести к стремлению скатиться в «ямку», т. е. лес в своем развитии будет стремиться к устойчивому равновесию.

Рассмотрим теперь уравнение леса с подправленным потенциалом:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x} V_{W=W_0+60\%}(x), \quad (2)$$

где

$$V_{W=W_0+60\%}(x) = 210(x-5)^6 - 2835(x-5)^4 + 0,02(x-5)^2 + 120 \cdot 10^3(x-5).$$

Этот потенциал учитывает наступление 4-й стадии вымокания [2], когда влажность почвы столь высока, что, по существу, мы имеем дело с лесом, стоящим в воде. График этого потенциала дан на рис. 3.

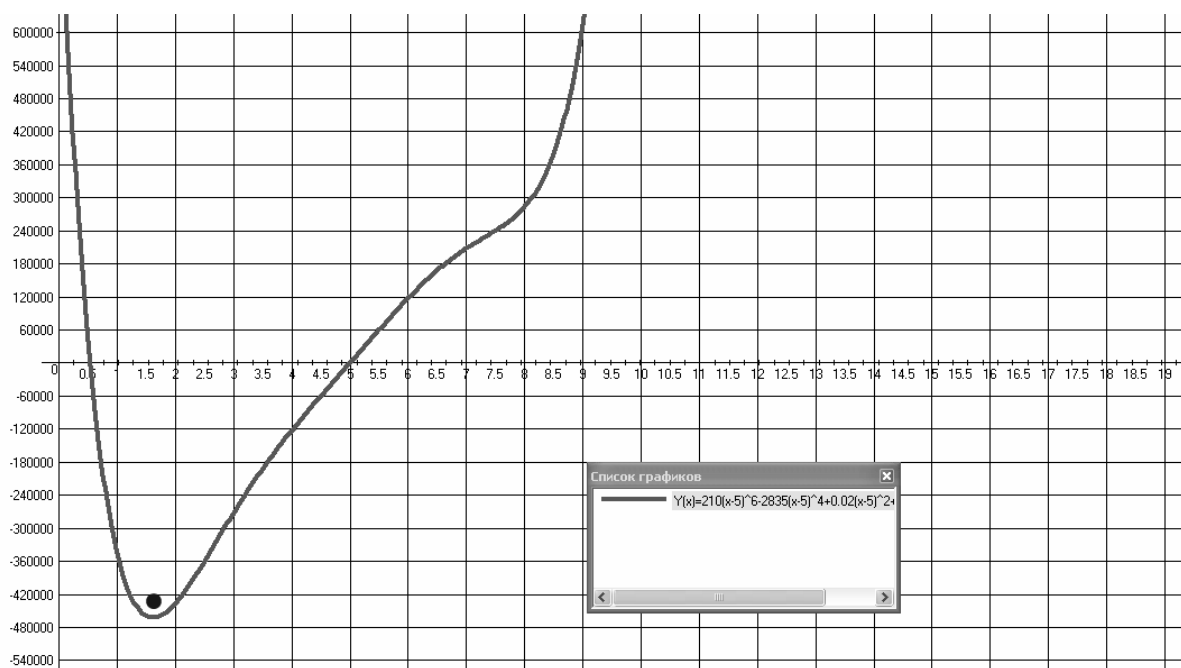


Рис. 3. График потенциала $V_{W=W_0+60\%}(x)$

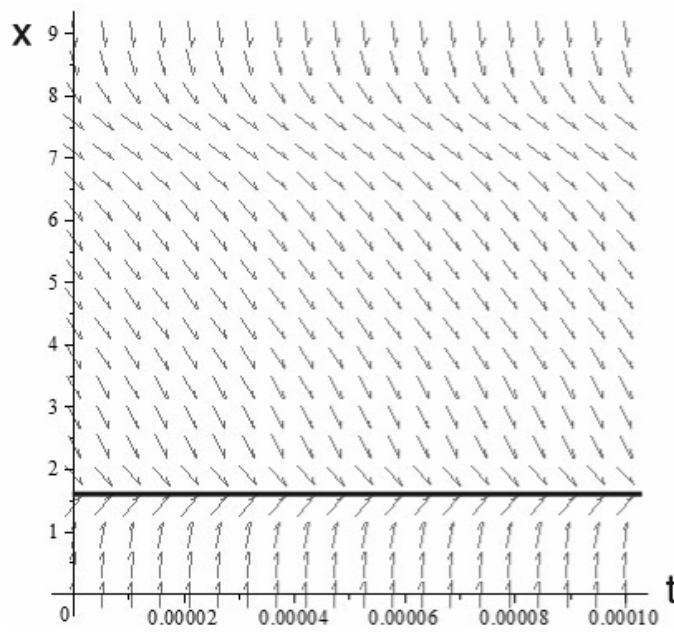


Рис. 4. Изоклины для уравнения (2)
(прямой жирный отрезок – устойчивое равновесие деградированного леса)

Поле изоклин для него дано на рис. 4. Из рисунка видно, что независимо от начального значения продуктивности x_0 лес постепенно приходит к равновесному деградированному состоянию с продуктивностью $x = 1,5$ т/га за год.

Динамика пятиярусного вымокающего леса

Посмотрим, как отличается динамика пятиярусного леса от четырехъярусного.

Рассматриваем уравнение динамики пятиярусного леса вида

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x} V^{(5)}_{W=W_0}(x), \quad (3)$$

где $V^{(5)}_{W=W_0}(x) = 720(x-12)^7 - 2835(x-12)^4 + 0,02(x-12)^2$ – потенциал березового леса с нормальной влажностью почвы $W = W_0$. Вид потенциала отвечает катастрофе типа «вигвам» [2]. График этого потенциала дан на рис. 5. На нем имеются три равновесия: $x = -\infty$, $x = 12$ и $x = 13,3$, причем левое $x = -\infty$ – это состояние «где-то там», соответствующее полной деградации леса.

Поле изоклин для уравнения (3) дано на рис. 6.

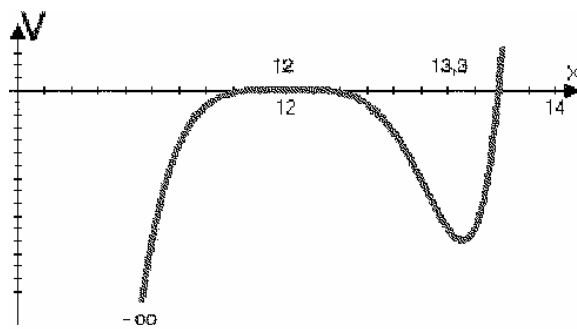


Рис. 5. График потенциала $V_{W=W_0}^{(5)}(x)$.

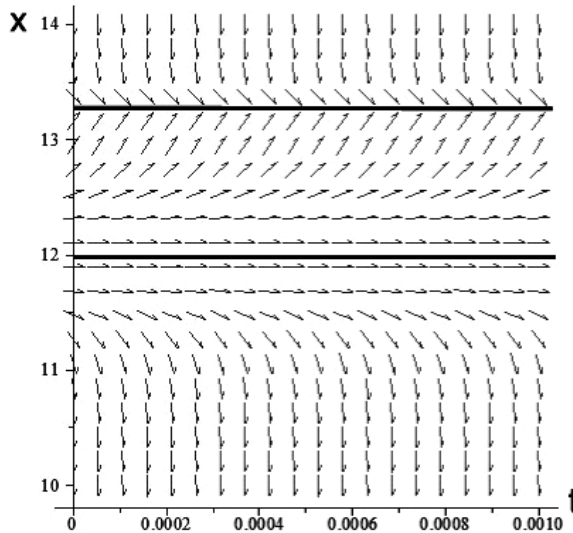


Рис. 6. Изоклины для уравнения (3)
(прямые жирные отрезки – равновесные состояния
леса: верхнее – устойчивое («ямка»),
нижнее – неустойчивое («горка»))

Прямые жирные отрезки на рисунке – это равновесные состояния леса. Верхнее – устойчивое («ямка») – отвечает локальному минимуму потенциала, нижнее – неустойчи-

вое («горка») – соответствует локальному максимуму потенциала.

Если начальное состояние $x_0 < 12$, то все траектории удаляются от равновесия $x = 12$. Иначе говоря, с течением времени продуктивность леса всё время падает. Лес «ищет» равновесие, которое находится в $x = -\infty$. Это как раз тот случай, когда сказывается локальный характер катастрофы «вигвам», что следует воспринимать как ограниченность предложенной модели леса либо как указание на нежизнеспособность леса.

Заключение

Мы видим, что предложенные в работе [3] теоретико-катастрофические модели лесных фитоценозов не только способны описывать, в общем-то, теоретически существующие, т. е. абстрактные, равновесные состояния леса, но и демонстрируют, что лес в своей динамике так или иначе стремится к этим состояниям равновесия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иосс Ж., Джозеф Д. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций. М.: Мир, 1983.
- [2] Гуц А. К., Володченкова Л. А. Кибернетика катастроф лесных экосистем. Омск: КАН, 2012.
- [4] Швиденко А., Щепаченко Д., Нильссон С., Булуй Ю. Модели и таблицы биологической продуктивности // Леса и лесное хозяйство России. Данные и анализ. URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/home_ru.html.
- [3] Володченкова Л. А., Калинин Н. А., Гуц А. К. Прогнозирование экологических кризисов лесных фитоценозов, выводящих лесные экосистемы из равновесных состояний // Вестн. Ом. ун-та. 2009. № 4. С. 298–309.