

УДК 502: 631.4

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ АГРОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ

Ю.В. Чигарев,*профессор каф. механики материалов и деталей машин, докт. физ.-мат. наук, профессор***И.С. Крук,***проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент***А.С. Воробей,***науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук***Ф.И. Назаров,***зав. каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

В статье рассматриваются вопросы построения математической модели агроэкосистемы, главным компонентом которой является почва. В процессе внешнего механического воздействия, определяемого комплексом технологических операций обработки, почва может потерять устойчивость оптимального физико-механического состояния. Это может привести к агротехническому повреждению ее структуры и свойств, а, следовательно, к изменению равновесного состояния агроэкосистемы.

Ключевые слова: агроэкосистема, почва, устойчивость, потоки энергии, запасы углерода.

The article deals with the problem of building a mathematical model of agro-ecosystem, with the soil being its fundamental component. In the process of external mechanical action, determined by a set of technological tillage operations, the soil can lose the stability of the optimal physical and mechanical state. This can lead to agro-technical damage of its structure and properties and, consequently, to the change in the equilibrium state of the agroecosystem.

Key words: agroecosystem, soil, stability, energy flows, carbon stocks.

Введение

Климатические изменения в современном мире подтверждают достижение критического уровня антропогенного воздействия на различные геосферы, оказывающие влияние на биосферу. Одной из основных составляющих геосферы являются агроэкосистемы. Они представляют собой искусственное преобразование ландшафтов, которые допускают только частичную саморегуляцию фитоценоза, биоценоза и микроценоза. Понятие «экосистемы» было введено английским ученым А. Тенсли в 30-е годы прошлого столетия. Каждая экосистема подразделяется на две составляющие: организмы и неживая среда, окружающая эти организмы. Деление экосистем на естественные и искусственные отделило агроэкосистемы от других. Классификация экосистем приведена в трудах Одума Ю. [1] Миркина Б.М., Наумовой Л.Г. [2], Реймерса Н.Ф. [3] и др.

Вопросы построения математических моделей экосистем и их управления изложены в монографии Заславского В.Г. и Полуэктова Р.А. [4].

Следует отметить, что за последние годы изданы материалы по агроэкологии [5-10], в которых рассмотрены вопросы устойчивости и видов агроэкосистем, их конструирования и проектирования [5-10]. Модели агроэкосистем с использованием энергетических и энтропийных потоков рассмотрены в работах

[11-12]. Устойчивость почв, как основного параметра экосистем, на основе динамики углерода, приведена в работах Рыжовой И.М. [13,14]. В результате анализа отмечено, что параметрами устойчивости агроэкосистемы являются функции, режимы и свойства почв. Поэтому в результате сельскохозяйственного производства, в почве могут быть нарушены трофические и другие связи, которые ведут к потере устойчивого состояния агроэкосистемы. Таким образом, центральным звеном, от которого во многом зависит равновесие агроэкосистемы, является физическое состояние почвы.

Цель настоящей работы – разработка модели, позволяющей дать приближенную оценку устойчивого состояния агроэкосистемы, главным компонентом которой является почва.

Основная часть

Рассмотрим некоторые подходы, связанные с оценкой устойчивого равновесия агроэкосистем. Почва является главным компонентом агроэкосистемы, и практически принимает на себя все накладываемые на нее антропогенные воздействия. Поэтому изменение структуры и свойств почвы ведет к изменению жизни биоценоза, его разновидности и популяции, к снижению урожая и другим последствиям. Приближенно можно считать, что устойчивость агроэкосистемы зависит от способности почвы сохранять структурные

$$2y_2^+ - 1 + (1 - 6y_1^+)^{\frac{1}{3}} = 2y_2^+ - 1 + (1 - 2y_1^+ - 4y_1^{+2}) + 0(y_1^{+2} + y_2^{+2}) = 2y_2^+ - 2y_1^+ - 4y_1^{+2} + 0(y_1^{+2} + y_2^{+2}) \quad (12)$$

Выделив линейные части из уравнений (11) – (12), получим систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy_1^+}{dt} &= -3y_1^+ + 4y_2^+ \\ \frac{dy_2^+}{dt} &= -2y_1^+ + 2y_2^+ \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Определитель для составления характеристического уравнения примет следующий вид:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -3 - \lambda & 4 \\ -2 & 2 - \lambda \end{vmatrix} \quad (14)$$

Тогда имеем

$$\lambda^2 + \lambda + 2 = 0,$$

откуда

$$\lambda_{1,2} = -\frac{1}{2} \pm \frac{i\sqrt{7}}{2}.$$

Так как вещественные части обеих корней λ_1 и λ_2 отрицательны, то решение данной системы будет асимптотически устойчиво.

Рассмотренный подход обычно используют для исследования устойчивости систем на бесконечном интервале времени.

В работах [17,18] предложен подход для оценки устойчивости на конечном интервале времени. Согласно данному подходу, критерий устойчивости агроэкосистем на конечном интервале времени T можно сформулировать следующим образом: если система (8) такова, что при достаточно малом положительном числе δ зависящие от времени величины y_i^+ удовлетворяют условию

$$\sum_{i=1}^n (a_{i1}y_1^+ + a_{i2}y_2^+ + \dots + a_{in}y_n^+)^2 \leq \delta \text{ и на конечном интервале времени } T \text{ начальные значения } y_{io} \text{ при } t = 0 \text{ удовлетворяют}$$

условиям

$$\sum_{i=1}^n (a_{i1}y_{1o}^+ + a_{i2}y_{2o}^+ + \dots + a_{in}y_{no}^+)^2 \leq \delta, \text{ то невозмущенное движение на конечном интервале } T \text{ будет устойчиво.}$$

При данном подходе можно использовать критерий устойчивости Гурвица, например, при оценке устойчивого состояния почвы в зависимости от изменения запасов углерода в ней. Согласно работам [3,14], уравнения отклонений запасов углерода в почве можно получить аналогично вышеприведенным

рассуждениям при выводе уравнений (8). В результате имеем систему

$$\left. \begin{aligned} \dot{y}_1^+ &= +a_{11}y_1^+ + a_{12}y_2^+ \\ \dot{y}_2^+ &= a_{21}y_1^+ + a_{22}y_2^+ \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где \dot{y}_1^+ – отклонение запаса углерода гумуса в почве;

\dot{y}_2^+ – отклонение запаса углерода мортмассы;

a_{11} – постоянная скорости минерализации гумуса;

a_{12} – постоянная скорости гумификации растительных остатков;

a_{22} – постоянная скорости минерализации растительных остатков;

a_{21} – коэффициент скорости абиотических потерь углерода гумуса.

Если в (15) принять $a_{11} = 1$, $a_{12} = 2$, $a_{21} = 4$,

$a_{22} = 3$, то характеристическое уравнение примет вид

$$\lambda^2 - 4\lambda - 5 = 0, \quad (16)$$

корни которого $\lambda_1 = 5 > 0$ и $\lambda_2 = -1 < 0$. Так как для устойчивости системы все вещественные корни должны быть отрицательными, то в данном случае она неустойчива.

Заключение

В результате проведенных исследований предложена модель, позволяющая дать приближенную оценку устойчивости состояния агроэкосистем, главным компонентом которых является почва. Отмечено, что антропогенное воздействие на почву и ее изменение физико-механических свойств описывается системой дифференциальных уравнений. Ее решение сводится к составлению характеристического уравнения, корни которого определяются состоянием почвы, энергетическими входными и выходными потоками. Для оценки устойчивости системы в зависимости от поставленной задачи исследований используются критерий Гурвица, критерий Ляпунова и критерий устойчивости на конечном интервале времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Одум, Ю. Экология / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – С. 325.
2. Миркин, Б.М. Основы общей экологии / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – М.: Университетская книга, 2005. – С. 140.
3. Реймерс, Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс // Россия молодая. – 1994. – С. 367.
4. Заславский, В.Г. Управление экологическими системами / В.Г. Заславский, Р.А. Полуэктов. – М.: Наука, 1988. – С. 296.

5. Агроэкология: учеб. для вузов / В.А. Черников [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

6. Агроэкологическое моделирование и проектирование: учеб. пособие / И.И. Васнев [и др.]. – М.: ФГЦУ ВПОРГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2010. – 120 с.

7. Устойчивость биологических сообществ / Ю.М. Свирижев, Д.О. Логофет. – М.: Наука, 1978. – С. 350.

8. Титова, В.И. Агроэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога) / В.И. Титова, М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова. – Н. Новгород: НГСХА, 2002. – С. 205.

9. Конструирование устойчивых агроэкосистем / О.А. Соколов [и др.]. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1993. – С. 34.

10. Светлосанов, В.А. Устойчивость природных систем к природным и антропогенным воздействиям / В.А. Светлосанов. – М.: Тип. «11-й формат» ИНН. – 2009. – С. 100.

11. Чыгароу, Ю.У. Ацэнка агра-тэхнічнага пашкоджання глебы пры тэхнічным дэфармаванні / Ю.У. Чыгароу // Весці акадэміі навук БССР. Серыя сельскагаспадарчых навук. – 1991. – № 3. – С. 51-54.

12. Фельдман, О.В. Поточковые модели агроэкосистем / О.В. Фельдман // Математическое моделирование. – 1999. – № 10. – Т. 11. – С. 31-48.

13. Рыжова, И.М. Анализ устойчивости почв на основе теории нелинейных динамических систем / И.М. Рыжова // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С. 583-590.

14. Рыжова, И.М. Анализ устойчивости почв на основе нелинейных моделей круговорота углерода: автореф. ... дис. докт. биол. наук: 03.00.27 / И.М. Рыжова; Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 2006. – С. 48.

15. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука (гл. ред. физ.-мат. лит.), 1986. – С. 544.

16. Труфанова, Т.В. Дифференциальные уравнения в примерах и задачах / Т.В. Труфанова, В.В. Сельвинский. – Благовещенск: АГУ, 2002. – Ч. III. – С. 59.

17. В.В. Солодовников. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования / В.В. Солодовников. – М.: Машиностроение, 1969. – Кн. 3, ч. 1, гл. 1. – С. 607.

18. Каменков, Г.В. Об устойчивости движения на конечном интервале времени / Г.В. Каменков // Прикладная математика и механика, 1953. – Т. XVII, вып. 5. – С. 18.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.12.2022

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА