

Юрий Чигарев
Петр Синкевич
Александр Кузьмицкий
Виктор Гриб
Сергей Лодята
Белорусский аграрный технический университет
Белорусская сельскохозяйственная академия (г. Горки)
ЗАО «Агротехнаука»
пр. Скорины, 99
220608 Минск
Беларусь

ПОСТРОЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Резюме

Обострившаяся проблема воспроизводства плодородия почв, вызванная современным техногенезом, породила новую проблему – сохранение устойчивого состояния агроэкологических систем. Замечено, что с выходом на поля тяжелой техники агроэкологические системы по своему поведению заметно отличаются не только от природных биоценозов, но и от агроэкологических систем 50-х, 70-х годов.

Для изучения агроэкологических систем существует два способа. Первый – пассивное наблюдение, второй – наблюдение в условиях активного эксперимента. Причем, активный эксперимент часто проводится не с самим объектом, а с его математической моделью. В зависимости от сложности описания агроэкологической системы, ее модель может быть реализована либо аналитически, либо на ЭВМ. В данной работе строится аналитическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Построение имитационной модели агроэкологической системы следует связать с прогнозированием поведения данного объекта в зависимости от интенсивности антропогенного воздействия.

Агроэкологической системой будем считать «окультуренный» деятельность человека биоценоз.

Природные биоценозы находятся в постоянном изменении, развитии и в тоже время характеризуются устойчивостью поведения, скоординированностью связей между компонентами. Устойчивость состояния биоценозов зависит от сложившейся структуры, видового разнообразия, роста популяции. Состояние природных биоценозов более устойчиво, чем культурных биоценозов (агроэкосистем), последние характеризуются нарушенной структурой почвы и незначительным разнообразием видов¹. Потеря устойчивости природных и культурных биоценозов ведет к изменению местной фауны, растительного мира и микроклимата. Происходит разбалансирование устойчивых связей более глобального характера как природных, так и искусственных экосистем, а, следовательно, и изменение жизнедеятельности биосферы.

¹ Под устойчивым поведением биоценоза (природного и культурного) понимаем такое его состояние, к которому он самопроизвольно возвращается, будучи выведен из него внешними воздействиями.

Несмотря на то, что теория сельскохозяйственных машин и тракторов в настоящее время развивается в направлении агротехнической проходимости, кризис плодородия почв растет. Потеря плодородия почв отрицательно сказывается на равновесном состоянии агроэкологических систем. Энергетический цикл агросистем отличается от природных экосистем той особенностью, что имеет внешнее химико-механическое воздействие. Агроэкологические системы являются сложными, состоящими из двух подсистем – термодинамических (несаморегулируемых) и живых (саморегулируемых). Для сохранения устойчивого состояния экосистем, нужно знать каким градиентом энергии должна обладать система, чтобы совершать работу с целью предотвращения термодинамического равновесия, которое может возникнуть в результате механического воздействия на почву со стороны сельскохозяйственных машин и орудий. Увеличение интенсивности механического воздействия на почву ведет к росту энтропии в агроэкоэcosysteme и, в случае не прекращения давления на почву, энтропия может достигнуть максимума и система может разрушиться.

Таким образом, от меры антропогенного воздействия на почву зависит состояние равновесия агроэкоэcosystemы.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

Устойчивость поведения агроэкоэcosystemических систем зависит от двух факторов – неконтролируемого (климатических условий) и контролируемого (агротехники).

Построим одномерную математическую модель агросистемы в условиях управления ею со стороны человека.

Предположим, что кинетическая энергия экосистемы равна $E = \frac{1}{2} a\dot{x}^2$,

а потенциальная энергия равна $V = \frac{1}{2} cx^2$. Если воздействие на экосистему со стороны агротехники обозначить через $z(t)$, то неконсервативную силу Q можно представить в виде $Q = -b\dot{x} + z(t)$. Тогда динамическое уравнение экосистемы с одной степенью свободы будет

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = z(t). \quad (1)$$

В формуле (1) a является коэффициентом инерции частиц почвы, участвующих в эрозийных процессах, c – коэффициент жесткости скелета почвы, состоящего из твердых и жидких частиц, b – обобщенный коэффициент сопротивления, x – обобщенная координата, характеризующая отклонения агроэкоэcosystemы от равновесного состояния ($x_0 = 0$).

Если ввести оператор $D = d/dt$ и передаточную функцию

$$\Phi(D) = \frac{1}{aD^2 + bD + c},$$

то уравнения (1) можно записать в виде

$$x = \Phi(D) \cdot z(t). \quad (2)$$

Здесь $z(t)$ называется входным сигналом, а $x(t)$ – сигналом на выходе системы.

Решение (1) при условии $b^2 - 4ac < 0$ и начальных условиях $x(t_0) = 0$, $\dot{x}(t_0) = 0$ будет

$$x(t) = \int_{t_0}^t \frac{1}{a\omega} e^{-\lambda(t-\tau)} \cdot \sin \omega(t-\tau) z(\tau) d\tau \quad (3)$$

где

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{a} - \frac{b^2}{4a^2}}; \quad \lambda = \frac{b}{2a}.$$

Обозначим

$$k(t) = \frac{1}{a\omega} e^{-\lambda t} \sin \omega t. \quad (4)$$

Тогда уравнение (3) с учетом (4) будет следующим

$$x(t) = \int_{t_0}^t k(t-\tau)z(\tau)d\tau. \quad (5)$$

Накопления антропогенных изменений в экосистеме связано со сроком ее эксплуатации под действием климатического и механического воздействия.

Исследуем агроэкологическую систему, которая подвергается антропогенному воздействию со стороны агротехники довольно продолжительное время, т.е. $t_0 \rightarrow -\infty$. Пусть входной сигнал $z(t)$ является постоянным $z(t) = c\alpha$. Тогда собственные колебания агроэкологической системы, описываемые уравнением (1), асимптотически затухают, а решение примет вид

$$x(t) = \lim_{t_0 \rightarrow -\infty} \int_{t_0}^t k(t-\tau)z(\tau)d\tau = \lim_{t_0 \rightarrow -\infty} \int_0^{t-t_0} k(\zeta)z(t-\zeta)d\zeta$$

или

$$x(t) = \int_{t_0}^t k(t-\tau)z(\tau)d\tau = \int_0^\infty k(\zeta)z(t-\zeta)d\zeta.$$

Учитывая, что $k(t)$ определяется формулой (4) получим

$$\lim_{t_0 \rightarrow -\infty} x(t) = \frac{c\alpha}{a\omega} \lim_{t_0 \rightarrow -\infty} \left[\frac{-\omega \sin \omega \zeta - \omega \cos \omega \zeta}{\lambda^2 + \omega^2} e^{-\lambda \zeta} \right]_0^{t-t_0}.$$

Так как $\lambda^2 + \omega^2 = c/a$, то полученное выражение принимает вид

$$\lim_{t_0 \rightarrow -\infty} x(t) = \alpha.$$

Таким образом, при выше указанных условиях физическое состояние агроэкологической системы является установившимся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе исследование проведено только для случая установившегося движения агроэкологической системы. В этом случае вопрос о достижении экосистемой критического уровня остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заславский В.Г., Полуэктов Р.А., Управление экологическими системами, Москва, 1988.

ENERGY MODEL OF AGROECOLOGICAL SYSTEMS

Yury Chygarev

Summary

The present state of soil fertility reclamation has become more aggravated by technogenesis of nowadays and has generated a new problem – how to maintain stability of agroecological systems.

Natural biocenoses are found in constant modification and development but at the same time they show stability. By "steady biocenosis behaviour" we mean such a state of biocenosis which is spontaneously recovered after having been disturbed by external impacts. Biocenosis stability depends on an established structure, species diversity, population growth. An agroecological system (AES), as we understand it, is a biocenosis "brought under cultivation" (affected) by human activity. The state of natural biocenoses is steadier as compared to AES with the latter having soil erosion and poor species diversity. When natural and cultural (cultivated) biocenoses lose their stability it results in the modification of local fauna, flora and microclimate.

Regardless of the fact that the theory of agricultural machines develops in the direction of agricultural machinery cross-country capacity, the crisis of soil fertility intensifies. The loss of soil fertility has a negative effect on AES equilibrium. The energy cycle of AES has a distinctive characteristic property as compared to that of natural ecological systems, namely external chemical and mechanical impact. AES has a complex structure consisting of two sub-systems – a thermodynamic one (non-self-regulated) and a live one (self-regulated). To keep ecological systems stable, it is necessary to know what gradient of energy the system should have to keep working with the aim to prevent thermodynamic equilibrium disturbance that may arise from a mechanical impact of agricultural machines on soil. The raise of mechanical impact intensity on soil results in the entropy growth in AES and, in case the pressure on soil continues, the entropy can reach its maximum level and the system may be destroyed.

Thus, AES equilibrium depends upon the rate of the antropogenic effect on soil.

The stability of AES behaviour depends on two factors - uncontrollable (weather conditions) and controlled (agricultural practice - machinery). This paper deals with the design of a univariate mathematical model of an agroecological system being under human control.

Accumulation of antropogenic modifications in the ecological system is connected with the period of its exploitation. We investigate an agroecosystem that has been affected by agricultural machines for rather a long time. We assume that the effect of agricultural machines on the ecological system is constant. Then the AES natural oscillations damp asymptotically. Thus, the physical state of agrosystem under the above conditions might be considered established.

In this work the investigation has been carried out only for the case of the AES established movement. But the problem of the ecological system reaching a critical level is still to be considered.

MODEL ENERGETYCZNY SYSTEMU AGROEKOLOGICZNEGO

Ju. Czigarew, P. Sinkewicz, A. Kuzmickij, W. Grib, S. Łodjata

Streszczenie

Naturalna biocenoza ulega ciągle zmianom, rozwija się a jednocześnie charakteryzuje się stabilnością. Pod pojęciem stabilności biocenozy rozumie się taki jej stan do którego samoistnie wraca, jeśli nastąpiły jakiegokolwiek zmiany spowodowane czynnikami zewnętrznymi. Stabilność biocenozy zależy od złożoności jej struktury, różnorodności i wielkości populacji.

Agroekologiczny system uważa się za „kulturalny” wówczas, gdy człowiek przez swoje działanie wpływa na biocenozę. Naturalna biocenoza charakteryzuje się większą stabilnością niż agroekosystem, który w ostatnim okresie charakteryzuje się

znacznym naruszeniem struktury gleby i małą jej różnorodnością. Utrata stabilności biocenozy naturalnej i kulturalnej prowadzi do zmian w miejscowej faunie i mikroklimacie. Zachodzą jednocześnie zmiany w procesach życiowych biosfery.

Nie zwracając uwagi na to, że teoria maszyn rolniczych, w obecnym czasie, rozwija się w kierunku agrotechnicznych przemian, następuje spadek żyzności gleb. Obniżenie żyzności gleby wpływa ujemnie na równowagę agroekologicznych systemów. Cykl energetyczny agrosystemu różni się od systemów przyrodniczych tym, że posiada zewnętrzne oddziaływanie chemiczno-mechaniczne. Agroekologiczne systemy cechuje złożoność i można uznać, że składają się z dwu podsystemów - termodynamicznego (niesamoregulujący) i żywego (samoregulujący). Dla zachowania stabilności ekosystemu, należy znać jaki gradient energii powinien posiadać system, aby wykonać pracę powodującą powrót do termodynamicznej równowagi, które może wynikać w związku z mechanicznym oddziaływaniem na glebę maszyn rolniczych. Zwiększenie stopnia mechanicznego oddziaływania na glebę prowadzi do wzrostu entropii w agrosystemie i w przypadku nie przzerwania nacisku na glebę, entropia może osiągnąć maksimum i system może się rozpaść. Dlatego stan równowagi agroekosystemu zależy od wielkości entropogennego oddziaływania na glebę.

Stabilność zachowania systemów agroekologicznych, zależy od dwóch czynników - niekontrolowanego (warunków klimatycznych) i kontrolowanego (agrotechniki). W pracy zbudowano jednowymiarowy model matematyczny dla agrosystemu sterowanego przez człowieka.

Nagromadzenie antropogennych zmian w ekosystemie związane jest z okresem jego eksploatacji. Badano agrosystem, w którym wykonywano zabiegi agrotechniczne przez dowolnie długi okres czasu. Jeśli oddziaływanie na ekosystem przez agrotechnikę jest stałe, wtedy odchylenia własne agrosystemu asymptotycznie zanikają. W ten sposób, przy wyżej podanych warunkach, stan fizyczny agrosystemu jest ustabilizowany.

W pracy przeprowadzono badania tylko dla ustabilizowanego ruchu agroekologicznego systemu. W tym przypadku pytanie o osiągnięciu przez ekosystem poziomu krytycznego pozostaje bez odpowiedzi.