

УЧЁТ ФИТОЦЕНОЗА КАРТОФЕЛЬНОГО ПОЛЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Ю.В.ЧИГАРЕВ, д. ф.-м.н., профессор (УО БГАТУ), (Щецинская сельскохозяйственная академия, Польша)

Введение. Под экологическим кризисом понимают явления, связанные с разрушением природной среды (как естественной, так и искусственной). Критические явления агроландшафтов связаны с понятием устойчивости их состояния. Понятие устойчивости сводится к тому, что параметры изучаемого процесса не должны выйти за пределы заранее определённой области значений, в общем случае не совпадающими с начальными. Физически устойчивым

кризиса во многом зависит от агрофизического состояния почвы. Современные технологии возделывания с/хозяйственных культур предполагают многократный въезд с/х техники на поля, в результате которых происходит разрушение структуры почвы, её переуплотнение, увеличение в сотни раз эрозийных процессов. Поэтому поиски достоверных критериев оценки агрофизических свойств почвы и их изменений в зависимости от механического

воздействию местной фауны, растительного мира и микроклимата. Происходит разбалансирование устойчивых связей более глобальных как природных, так и искусственных экосистем, а следовательно, и изменение жизнедеятельности биосферы.

Очевидно, что дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства будет связано с рациональным использованием земельных ресурсов и выбором таких ходовых систем и технологий

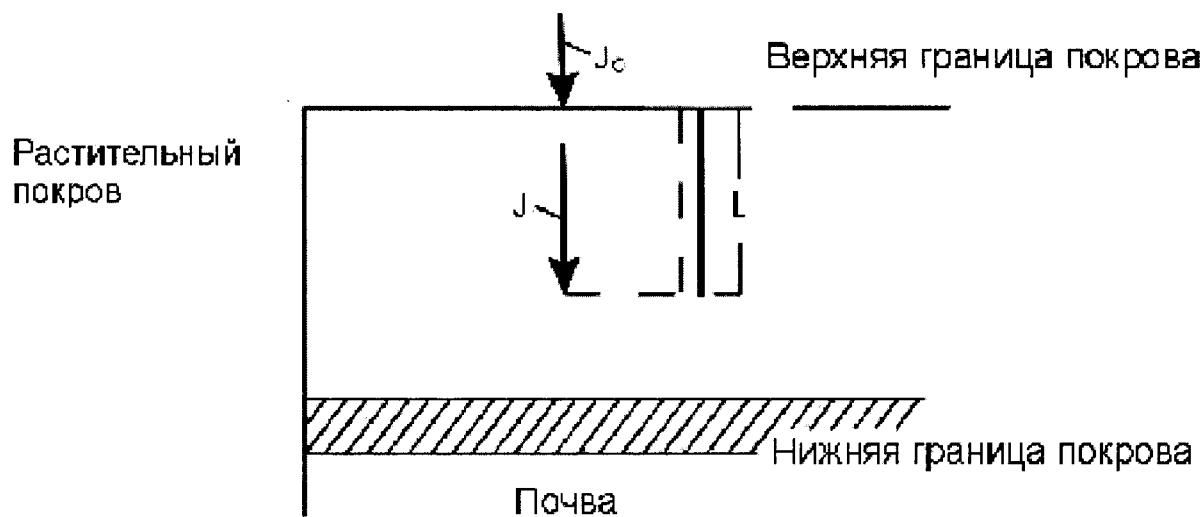


Рис.1. Схема действия светового потока на растительный покров

считается состояние агроэкосистемы, к которому она возвращается, будучи выведенной из него внешними воздействиями (природными либо со стороны человека).

Развитие агроэкологического

воздействия мобильной энергонасыщенной техники являются актуальными не только с точки зрения повышения урожайности, но и с экологической.

Потеря устойчивости культурных биоценозов ведёт к изме-

обработки почвы, которые бы не ухудшали ее агрофизические свойства, а, наоборот, способствовали бы их сохранению и увеличению плодородия. Успешное решение этой проблемы во многом зависит от почвенного покрова территорий,

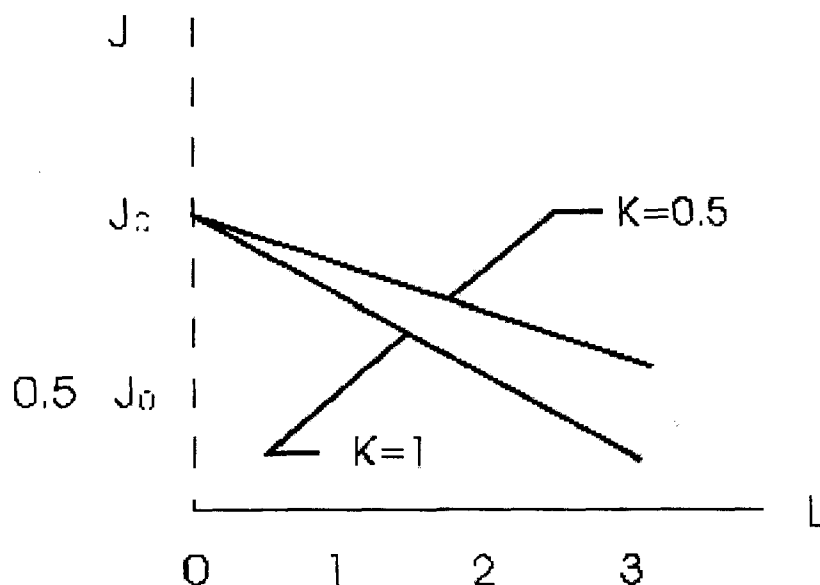


Рис. 2. График зависимости $J = J_0 e^{-kL}$ для двух значений коэффициента затухания

его качественного состояния и особенностей. Для изучения свойств почвы в США уже создаются передвижные лаборатории, оснащенные ЭВМ.

Почва, как одна из главных составляющих агросистемы, оказывает существенное влияние на ее поведение, а следовательно, и на состояние биосферы.

Поэтому исследования, проводимые в области изучения влияния уплотнения почвы на урожай с/х культур (в частности, картофеля), актуальны не только с точки зрения продо-

Методы решения.

Рассмотрим математическую модель роста ботвы картофеля (надповерхностная зеленая масса или растительный покров). В сохранении устойчивого равновесия агроэкосистемы существенную роль играет состояние фитоценоза (зеленой массы поля), которая связана с формированием фотосинтеза листьев картофеля, их дыханием и выделением CO_2 . Формирование фотосинтеза зависит от плотности светового потока, падающего на лист, который в преде-

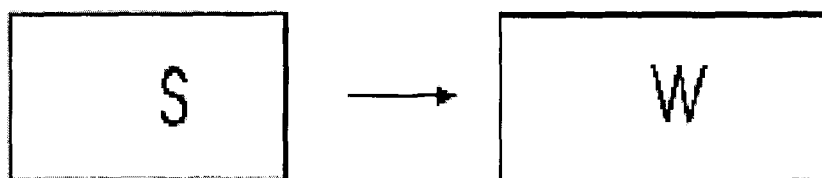


Рис. 3. Двухкомпонентная модель роста

вольственной и энергетической задач, стоящих в Республике Беларусь, но и с решением, экологической проблемы, которая актуальна сегодня для всего мирового сообщества.

лах растительного покрова (поля) есть величина переменная. Поэтому для выбора культур требуются модели фотосинтеза. Одной из распространенных моделей является модель Монси-Саэки, которая

в аналитической форме имеет вид

$$J = J_0 e^{-kL}, \quad (1)$$

где J_0 — плотность светового потока $Вт/м^2$, падающего на горизонтальную плоскость, условно соответствующую нагруженной поверхности растительного покрова;

J — плотность светового потока, падающего на горизонтальную плоскость внутри растительного покрова на глубине L , причем L по величине равна индексу площади листьев (относительный показатель, измеряемый площадью листьев на единицу зеленой площади);

k — коэффициент затухания ($k=const$).

На рис. 1 показана схема действия светового потока на растительный покров.

На рис. 2 приводится график зависимости (1) для 2-х значений.

Рассмотрим модель роста ботвы картофеля. На рис. 3 показана двухкомпонентная модель роста.

Здесь под S понимается ресурс питательной среды (субстрат), а также условия, влияющие на развитие растений;

Под W — понимаем рост ботвы (или корнеплода) или массу сухого вещества.

Можно предположить, что на рассматриваемом отрезке времени

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = -\frac{d\bar{S}}{dt}$$

(2)

или

$$\frac{d\bar{W}}{dt} + \frac{d\bar{S}}{dt} = \frac{d}{dt}(W+S) = 0$$

Откуда следует, что

$\bar{W} + \bar{S} = const$ для любого момента времени.

Если представить темп роста в виде

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = v(\bar{W}, S) \quad (3)$$

то с учётом (2) получим

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = v(\bar{W}, C - \bar{W}) = h(W) \quad (4)$$

т.е. приходим к функции одной переменной.

Примем следующие допущения:

1) количество энергии роста пропорционально сухой массе растения;

2) механизм роста работает с максимальным темпом на протяжении всего времени, пока существует питательная среда;

3) процесс роста необратим и прекращается как только истощается питательная среда, тогда уравнение роста можно записать в виде

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = \mu \bar{W} \quad (5)$$

здесь μ — параметр относительного темпа роста, который зависит от вида сухой массы ресурса питательной среды, от скорости роста.

После интегрирования (5) имеем

$$\bar{W} = \bar{W}_0 e^{\mu t} \quad (t_0 \leq t \leq t_k), \quad (6)$$

где t_0 — время начала роста;

t_k — время окончания роста.

При

$$t > t_k \quad W = W_C, \quad \text{где } W_C = \text{const}$$

В этом случае

$$\bar{W}_0 + S_0 = \bar{W}_C$$

и рост внезапно прекращается, когда

$$t_k = \left\{ \ln \left[\frac{(\bar{W}_0 + S_0) / \bar{W}_0}{\mu} \right] \right\} / \mu \quad (7)$$

Уравнение (6) можно переписать в виде

$$\ln \bar{W} = \ln \bar{W}_0 + \mu t \quad (8)$$

Из (6) и (8) видно, что рост за-

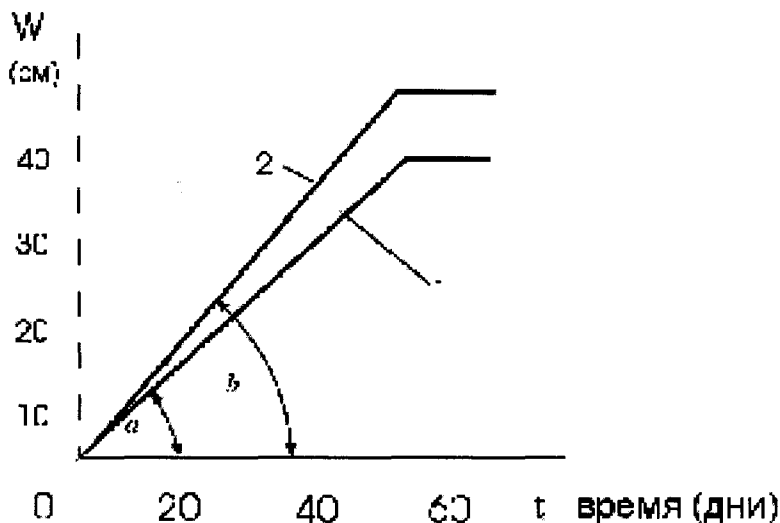


Рис. 4

висит от ресурса и условий питательной среды.

На основании анализа роста ботвы на контрольном и опытном полях был получен график роста, рис. 4.

Кривая 1 соответствует контрольному полю, а кривая 2 — опытному полю. Для кривой 1 коэффициент $\mu_1 = 0.75$, а для кривой 2 — $\mu_2 = 0.9$.

Состояние объектов геосфер можно выразить через общий экологический потенциал как функцию двух переменных:

e_1 — переменная параметров атмосферы, гидросферы и почвы;

e_2 — переменная параметров фитоценоза, зооценоза и микробиоценоза, т.е.

$$e_{ac} = \Phi(e_1, e_2) \quad (9)$$

Дифференциал каждой из переменных можно записать в виде

$$de_1 = \frac{\partial e_1}{\partial A} dA + \frac{\partial e_1}{\partial G} dG + \frac{\partial e_1}{\partial L} dL \quad (10)$$

$$de_2 = \frac{\partial e_2}{\partial \Phi} d\Phi + \frac{\partial e_2}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial e_2}{\partial M} dM \quad (11)$$

Если процесс рассматривать во времени, то уравнения (10)

и (11) преобразуются к виду

$$\frac{\partial e_1}{\partial t} = \frac{\partial e_1}{\partial A} \frac{dA}{dt} + \frac{\partial e_1}{\partial G} \frac{dG}{dt} + \frac{\partial e_1}{\partial L} \frac{dL}{dt} \quad (12)$$

и

$$\frac{\partial e_2}{\partial t} = \frac{\partial e_2}{\partial \Phi} \frac{d\Phi}{dt} + \frac{\partial e_2}{\partial \beta} \frac{d\beta}{dt} + \frac{\partial e_2}{\partial M} \frac{dM}{dt} \quad (13)$$

Показатели A, G, L функционально зависимы от параметров техногенеза со стороны с/хозяйственной техники и технологии обработки почвы (вес тракторов и агрегатов, частоты колеблющихся органов машин, жёсткость шин и рисунка протектора, количество проходов по полю и т.д.). Эти параметры будем символически обозначать ω_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Тогда, обозначая через τ временную координату техногенного процесса, можно записать

$$eA = f_1(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n, \tau)$$

$$eG = f_2(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n, \tau)$$

и т.д.

Поэтому (12) можно представить в виде системы уравнений (14).

Так как объекты региональной биосферы Φ, β, M зависят от объектов геосфер A, β, L , то очевидно, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \omega_1} &= \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_A} \frac{\partial \varepsilon_A}{\partial \omega_1} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_G} \frac{\partial \varepsilon_G}{\partial \omega_1} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_L} \frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \omega_1} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \omega_1} \\ \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \omega_2} &= \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_A} \frac{\partial \varepsilon_A}{\partial \omega_2} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_G} \frac{\partial \varepsilon_G}{\partial \omega_2} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_L} \frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \omega_2} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \omega_2} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \omega_n} &= \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_A} \frac{\partial \varepsilon_A}{\partial \omega_n} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_G} \frac{\partial \varepsilon_G}{\partial \omega_n} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_L} \frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \omega_n} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \omega_n} \\ \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \tau} &= \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_A} \frac{\partial \varepsilon_A}{\partial \tau} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_G} \frac{\partial \varepsilon_G}{\partial \tau} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \varepsilon_L} \frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \tau} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \tau} \end{aligned} \right\} (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_A} &= \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_\Phi} \frac{\partial \varepsilon_\Phi}{\partial \varepsilon_A} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_3} \frac{\partial \varepsilon_3}{\partial \varepsilon_A} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_M} \frac{\partial \varepsilon_M}{\partial \varepsilon_A} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \varepsilon_A} \\ \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_G} &= \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_\Phi} \frac{\partial \varepsilon_\Phi}{\partial \varepsilon_G} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_3} \frac{\partial \varepsilon_3}{\partial \varepsilon_G} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_M} \frac{\partial \varepsilon_M}{\partial \varepsilon_G} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \varepsilon_G} \\ \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_L} &= \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_\Phi} \frac{\partial \varepsilon_\Phi}{\partial \varepsilon_L} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_3} \frac{\partial \varepsilon_3}{\partial \varepsilon_L} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_M} \frac{\partial \varepsilon_M}{\partial \varepsilon_L} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \varepsilon_L} \\ \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \tau} &= \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_\Phi} \frac{\partial \varepsilon_\Phi}{\partial \tau} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_3} \frac{\partial \varepsilon_3}{\partial \tau} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \varepsilon_M} \frac{\partial \varepsilon_M}{\partial \tau} + \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \tau} \end{aligned} \right\} (15)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 &= f_2'(\varepsilon_A, \varepsilon_G, \varepsilon_L, \tau) \\ \varepsilon_M &= f_3'(\varepsilon_A, \varepsilon_G, \varepsilon_L, \tau) \\ \varepsilon_\Phi &= f_1'(\varepsilon_A, \varepsilon_G, \varepsilon_L, \tau) \end{aligned}$$

и уравнение (13) трансформируется в систему дифференциальных уравнений (15).

Масштаб времени техногенного и антропогенного процессов в агроэкосистеме может совпадать т.е. $t = \tau$.

Уравнения (10) - (15) описывают изменение параметров агроэкосистемы в зависимости от составляющих ее объектов и времени. Использование данных уравнений требует накопления и анализа большого массива информации о действительных формированиях и эксплуатации реальных агроэкосистем. Поэтому данная математическая модель агроэкосистемы не совсем удобна для практического использования, хотя имеет очень большие перспективы, т.к. учитывает почти все параметры, влияющие

на ее поведение. Уравнения (10) (15) необходимо приводить к виду, удобному для исследования устойчивости агроэкосистемы.

В проводимых в этом году полевых исследованиях учитывались только некоторые параметры почвы L и фитоценоза Φ , поэтому уравнения (10) и (11) можно переписать в виде

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{\partial e_1}{\partial L} \frac{dL}{dt} \quad (16)$$

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{\partial e_1}{\partial L} \frac{dL}{dt} \quad (17)$$

Так как $A=G=3=M=0$, В нашем случае рост ботвы можно рассматривать как некоторое состояние фитоценоза, т.е. $\Phi=W$.

Уравнение, описывающее рост растений картофеля, было получено в формуле (8).

Продифференцируем (8) по времени, полагая: $\ln W_0 = const$ (в частности может $\ln W_0 = 0$) и получим

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(\ln W)}{dt} = \mu \quad (18)$$

Уравнение (17) с учетом (18) примет вид

$$\frac{de_2}{dt} = \frac{\partial e_2}{\partial W} \mu \quad (19)$$

Предположим, что во время роста фитоценоза величина скорости изменения функции e_2 от W величина постоянная т.е.

$$\frac{\partial e_2}{\partial W} = D = const$$

Тогда из (19) будем иметь

$$e_2 = \mu Dt + C_1 \quad (20)$$

Если в начальный момент растительный покров отсутствовал на поле, то $C_1 = 0$. В случае выбора начального момента при имеющемся на поле фитоценозе (например, после всходов и др.), то $C_1 = e_{20}$ и тогда (20) запишется

$$e_2 = e_{20} + \mu Dt \quad (21)$$

Величина $\partial e_2 / \partial W$ зависит от темпов роста ботвы и выражается углом наклона прямой к оси W (абсцисс). Чем медленнее рост, тем больше угол наклона. Таким образом, с ростом ботвы коэффициенты μ и D ведут себя по-разному: при замедленном росте μ уменьшается, а D увеличивается. Поэтому для разных видов и состояний агрофитоценозов можно считать $\mu D = const = \lambda$, так как будет $\mu = const$ и $D = const$.

Таким образом, в частном случае можно получить явный вид переменной e_2 , описывающей в общем экологическом потенциале e_{ac} состояние фитоценоза.

Аналогичные рассуждения можно провести и по отношению к переменной e_1 , которая в нашем случае будет определяться только параметрами L почвы, в частности, плотностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чигарев Ю.В. Термодинамический подход к исследованию критических условий агроэкологических систем. Весці АНБ, сер.физ.-техн. н., 1995.- С. 94-96.
2. Заславский В.Г. Полуэктов Р.А. Управление экологическими системами. М.- Наука. 1988.- С.320.