

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫМИ РЕСУРСАМИ

Ф. Н. Лисецкий

ВВЕДЕНИЕ

Территории, используемые в сельском хозяйстве для целей растениеводства и животноводства, то есть агроландшафты, включают как один из ресурсных компонентов почвенные и земельные ресурсы. В соответствии с разделением системы земледелия на четыре основные подсистемы (организационно-хозяйственную, агротехническую, мелиоративную и экологическую) можно по-разному формулировать задачи рационального землепользования. Земельный фонд в разрезе категорий выступает объектом территориального планирования, земельные участки как объекты земельно-кадастрового учета создают основу для налогообложения, почвенный покров, агропроизводственные группы и гишы земель лежат в основе проектных решений при осуществлении внутрихозяйственного землеустройства и выступают объектом агроэкологического внутриландшафтного зонирования и адаптивного растениеводства, проведения почвенно-мелиоративных мероприятий.

Центральное место в проблеме управления почвенными ресурсами занимает управление их количеством (регулирование процессов и видов хозяйственной деятельности, приводящих к сокращению земельных площадей и снижению габитуса почв) и качеством (воспроизводство – простое или расширенное) ресурсов почвенного плодородия).

Воспроизводство почвенного плодородия достигается путем применения определяемого местными экологическими условиями комплекса почвенно-мелиоративных мероприятий (агротехнических, химических, гидротехнических, агрохимических, агробиологических), направленных на наращивание искусственного и мобилизацию естественного плодородия (Розагов, 1987).

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ СИСТЕМЫ

В земледелии традиционные методы принятия решений, основанные на практическом опыте, интуиции и отдельных расчетах, нередко приводили к формированию отрицательных эффектов: недобор продукции, снижение плодородия почвы и эффективности использования ресурсов, загрязнение окружающей среды (Образцов, 1990). Основу системного принципа управления создает процесс принятия плановых, технологических, организационных и других решений. Для решения сложных проблем рационального использования почвенных ресурсов при сельскохозяйственном освоении территорий целесообразно разрабатывать и применять модели, адекватно отражающие основные закономерности пространственно-временной организации и функционирования реальных систем.

Несомненно, что для описания функционирования почвы, представляющей собой полифункциональную открытую динамичную биокосную систему, достаточно трудно разработать имитационную модель. Попытки определить почвенную систему на адекватном этому уровне сложности и затем искать для всего этого математические выражения, по-видимому, представляют собой задачу для будущего. Пока из имеющегося опыта экологического моделирования признается бесперспективность такого подхода, так как модель сама становится слишком сложной, чтобы быть инструментом рационального мышления и управления (Джефферс, 1981).

Примечательно, что в структуре модели природно-хозяйственной системы региона (Горстко, Угольницкий, 1990) почвенные и земельные ресурсы представлены обобщенно через бонитет сельскохозяйственных угодий, выраженный в баллах.

2. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ПОЧВЫ КАК РЕСУРСА

Формализацию почвы не как сложного естественноисторического тела, а как основного элемента земельных ресурсов, предложено (Швебс, 1981) осуществить через выделение двух показателей ресурсной оценки почвы: линейной величины, характеризующей мощность гумусового горизонта (H_G), и количественной оценки производственной ценности почвы в точке профиля (P_C). Показатель P_C определяет величину показателя почвенных свойств (P_C), приходящуюся на слой Δh_i . Обобщенную оценку качества почвенного ресурса – бонитет почвы B_{II} – можно представить формализованным выражением (Швебс, 1981), связующим показатели H_G и P_C :

$$B_{II} = \int_0^H P_C dh \approx \sum_1^n P_{C_i} \Delta h_i = \overline{P_C} H_G. \quad (1)$$

Учет в бонитете эпоры распределения по профилю почвенно-ресурсных характеристик отличает подход, выраженный зависимостью (1), от традиционных способов, принятых в бонитировке почв. Обычно усреднение частных баллов отдельных слоев, или «производственных горизонтов» (0-20 см, 20-40 см и т.д.), проводится как средневзвешенное (чаще всего без экспериментального обоснования весовых коэффициентов). При разработке моделей почвенного плодородия также считается необходимым делать их многослойными: «весь почвенный профиль следует условно разбить на слои и в пределах одного слоя считать все параметры и динамические переменные модели однородно распределенными по слою» (Бондаренко, Швытов, 1979, с. 14).

Для практических задач выражение (1) может быть упрощено. Представим почвенный профиль как совокупность горизонтов, сравнительно однородных по уровню плодородия. Обозначим долю i -го горизонта в общей величине бонитета через K_i . Бонитет почвы определяется посредством учета m диагностических признаков, причем значение каждого из них ($1 \dots j \dots m$) обозначим как N с соответствующим индексом. Вклад j -го признака в общей оценке качества почвы представим посредством s_j . Тогда, приняв за основу сравнения значения диагностических признаков наиболее плодородной почвы региона (эталоны) – $N_{j(э)}$, можно записать формулу вычисления бонитета как «послойной» оценки качества всего почвенного профиля в следующем виде:

$$B_{II} = \frac{100}{n} \sum_1^n K_i \left(\frac{1}{m} \sum_1^m S_j \frac{N_{j(i)}}{N_{j(э)}} \right). \quad (2)$$

Таким образом, вычисление итогового балла по ряду диагностических признаков и дальнейшее осреднение полученных значений по определенным слоям почвенного профиля проводится как сложное средневзвешенное с учетом «веса» отдельных горизонтов (K_i) и признаков (s_j). Экспериментальное и статистическое обоснование значений коэффициентов K_i для сравнительно однородных горизонтов ряда черноземных почв выполнено в более ранней нашей работе (Лисецкий, 1988). Что касается требований к основному перечню диагностических признаков почвы, позиционирующих ее ресурсные возможности по отношению к почвам с иными природными и/или антропогенными особенностями в пределах почвенно-ресурсного округа, то они могут быть сформулированы путем обобщения достигнутого опыта земельно-оценочных работ. Во-первых, целесообразно выбрать относительно консервативные физико-химические показатели, отражающие устойчивые, прежде всего позитивные, результаты природно-антропогенной эволюции почв; во-вторых, оценочные почвенные свойства должны не

только устойчиво коррелировать с урожайностью той или иной физиологически однородной группы сельскохозяйственных культур, но и определять важнейшие технологические, фито-санитарные, эколого-протекторные и другие качества почвы, прямо не связанные с плодородием; в-третьих, эти показатели должны быть мало коррелируемы. Роль коэффициентов взвешивания на неравнозначность диагностических признаков может выполнять произведение коэффициента корреляции на стандартизованный коэффициент регрессии, полученные при расчете уравнения множественной регрессии, где функция – урожайность (Y), а аргументы – основные почвенные свойства ($N_1 \dots N_j \dots N_m$):

$$S_j = r_{yN_j} \cdot b_j \frac{\sigma_{N_j}}{\sigma_y},$$

где b_j – чистый коэффициент регрессии; σ_{N_j} , σ_y – среднее квадратическое отклонение независимых переменных и результирующего признака соответственно.

3. МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО РЕСУРСА

Американские исследователи (Stamey, Smith, 1964) предложили следующую формализованную запись изменения почвенных ресурсов во времени:

$$I(x,y) - \int_{t_0}^{\infty} [E(x,y,t) - R(x,y,t)] dt \geq M(x,y), \quad (3)$$

где $I(x,y)$ – исходные характеристики почвы в точке (x,y) в настоящий момент времени (t_0); $M(x,y)$ – минимально допустимые характеристики почвы в точке (x,y) ; $E(x,y)$ – скорость водно-эрозионных потерь почвы (обычно мм/год, или т/га в год); в этих же единицах измерения определяются значения $R(x,y)$ – скорости воспроизводства ресурсов почвенного плодородия, включая природные механизмы и антропогенные воздействия по управлению плодородием (система удобрения, мелиоранты, система обработки почвы и др.).

В отдельных странах решение об обосновании значений $M(x,y)$ обычно принимается на основе мнений специалистов в области охраны почв об уровне почвенного ресурса, который обеспечивает возможности обеспечения ими в отдаленной перспективе. По этой задаче, ответственной для каждой нации, существует обширная и дискуссионная литература (обзор некоторых подходов представлен в нашей работе (Лисецкий, 1991)). Показательно, что в 90-е годы некоторые страны Восточной Европы приняли в качестве национальных нормативов допустимые эрозионные пределы, установленные американскими специалистами применительно к своим, т.е. к совершенно иным, природным и хозяйственным условиям.

Для перехода от точки пространства к площади земельного участка предложено уравнение (3) представить в следующем виде

$$\int_A \int I(x,y) dA - \int_A \int \left\{ \int_{t_0}^{\infty} [E(x,y,t) - R(x,y,t)] dt \right\} dA \geq \int_A \int M(x,y) dA. \quad (4)$$

Изменение бонитета почвы во времени, опираясь на структуру формулы (1), можно представить следующим образом (Швебс, 1981):

$$\int_0^t \frac{d(H_r \Pi_c)}{d\tau} dt = \int_0^t H_r \frac{d\Pi_c}{d\tau} dt + \int_0^t \Pi_c \frac{dH_r}{d\tau} dt. \quad (5)$$

Модель рационального использования земельных ресурсов с учетом перспективы использования земель в сельскохозяйственном производстве $t=\infty$ разработчиком предложено получить путем соотношения фактических изменений бонитета почв с его целесообразно-допустимыми изменениями:

$$\int_0^{H_r} \Pi_c dh + \int_{t=0}^{\infty} H_r \frac{d\overline{\Pi_c}}{dt} dt + \int_{t=0}^{\infty} \overline{\Pi_c} \frac{dH_r}{dt} dt \geq \left(\int_0^{H_r} \Pi_c dh \right)_{\text{опт}} \quad (6)$$

Затем эта модель была представлена шире, как логико-математическая модель рационального использования воспроизводимых природных ресурсов (Швебс, 1985).

В результате аппроксимации этого выражения и последующего учета основных явлений, обуславливающих изменение земельного ресурса во времени, уравнение было преобразовано (Швебс, Лисецкий, 1985) к виду

$$\Delta(H_r \Pi_c)_{t(\Phi)} = \sum_1^t H_{r(t)} \Delta \Pi_{c(n)} + \sum_1^t H_{r(t)} (\Delta \Pi_{c(\varepsilon)} + \Delta \Pi_{c(y)} + \Delta \Pi_{c(m)}) + \sum_1^t \Pi_{c(t)} \Delta H_{r(n)} - \sum_1^t \Pi_{c(0-10)} \Delta H_{r(\varepsilon)},$$

где ΔH_r – изменение мощности гумусового горизонта в результате почвообразовательного процесса $\Delta H_{r(n)}$ и разрушения эрозией $\Delta H_{r(\varepsilon)}$; $\Delta \Pi_c$ – изменение показателя почвенных свойств в результате почвообразовательного процесса – $\Delta \Pi_{c(n)}$, в связи с воздействием эрозии – $\Delta \Pi_{c(\varepsilon)}$, при внесении удобрений – $\Delta \Pi_{c(y)}$, в результате проведения иных мелиоративных мероприятий – $\Delta \Pi_{c(m)}$; $\Pi_{c(0-10)}$ – показатель почвенных свойств верхнего (смываемого) слоя почвы.

В итоге, разработано три основных сценария (варианта) землепользования, где применимы различные способы оптимизации использования почвенного ресурса.

Сценарии целесообразно-допустимых изменений бонитета почв во времени (в процессе землепользования)	Изменение почвенного ресурса
$(H_r \overline{\Pi_c})_{\text{исх}} > (H_r \overline{\Pi_c})'_{\text{опт}}$	Регулируемое расходование до допустимых пределов
$(H_r \overline{\Pi_c})''_{\text{опт}} \geq (H_r \overline{\Pi_c})_{\text{исх}} \leq (H_r \overline{\Pi_c})'_{\text{опт}}$	Простое воспроизводство в режиме динамического равновесия
$(H_r \overline{\Pi_c})_{\text{кр}} > (H_r \overline{\Pi_c})_{\text{исх}} < (H_r \overline{\Pi_c})''_{\text{опт}}$	Различное воспроизводство

Критическое значение почвенного ресурса определяется уровнем, переход через который приводит к полной деградации почвы. С некоторым упрощением показатель почвенных свойств – Π_c можно заменить на содержание органического вещества в почве ($G, \%$). Экспериментально установлено, что значение $(H_r G)_{\text{кр}} = 25$.

Методики, разработанные для реализации сценариев целесообразно-допустимых изменений бонитета почв во времени и дополненные региональным справочно-информационным обеспечением, вошли составной частью в программный комплекс, реализованный для IBM PC совместимых машин. Программный комплекс, реализующий методику по отмеченным трем сценариям, был назван КСОАП:02 «Компьютерная система оптимизации агроландшафтного проектирования» (Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова).

4. ЭМПИРИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫМИ РЕСУРСАМИ

Для решения прикладных задач допустимо несколько упрощенное представление бонитета в виде произведения мощности гумусового горизонта ($H, \text{см}$) на среднее содержание гумуса в нем ($G, \%$). Такая замена обусловлена объективными трудностями моделирования поведения нескольких (обычно, от 3 до 7) ресурсно значимых свойств почв с необходимым отражением эффекта синергизма и может быть признана правомочной при формулировании следующей цели: использование всесторонней оценки

процесса гумусообразования как индикатора общей направленности почвообразования, а гумусного состояния почв как интегрального и легко диагностируемого показателя, позволяющего отслеживать природно и антропогенно обусловленные изменения почвенного ресурса в агроландшафте. Противоречивый характер процесса формирования почв при их агрогенной эволюции определяет особое значение синтеза изменений мощности гумусового горизонта (Н) и содержания гумуса (G) в обобщенном показателе. В отличие от (5) процесс изменения бонитета во времени можно представить в более обоснованном виде. Для этой цели предлагается использовать уравнение, отражающее дифференцированный вклад в величину бонитета почв (Б) важнейших составляющих ресурсной оценки почвы – мощности гумусового горизонта (Н) и содержания гумуса (G):

$$\frac{dB}{dt} = \xi H^{\xi-1} G^{\eta} \frac{dH}{dt} + \eta H^{\xi} G^{\eta-1} \frac{dG}{dt}, \quad (8)$$

где ξ и η – показатели степени при Н и G соответственно. Обоснование непрерывных функций dH/dt и dG/dt проведено на основе обобщения большого количества эмпирических данных. Дифференцированный вклад отдельных составляющих (Н и G) в оценку общего изменения почвенного ресурса отражают значения коэффициентов ξ и η (для черноземов лесостепи 0,21 и 0,62, для черноземов степи – соответственно 0,29 и 0,74).

Модель, отражающая процесс гумусонакопления для основных зональных типов почв, т.е. описывающая поведение функции dG/dt , разработана ранее (Белов, Лісецький, 1992).

Хронофункция, отражающая изменение гумусового горизонта почв во времени – dH/dt , требует значительного эмпирического обоснования основных хроносрезов голоценовой эволюции почв (в последние 10 тысяч лет). Организованные и проведенные нами почвенно-хронологические исследования были направлены на решение задачи создания регионального банка данных о воспроизводстве почв в условиях лесостепной зоны. На протяжении 1996-2004 годов на территории Центрального Черноземья и смежных областей Украины проведены многочисленные экспедиции с участием сотрудников кафедры природопользования и земельного кадастра БелГУ, аспирантов и студентов. В настоящий момент банк почвенно-хронологических данных насчитывает более 300 объектов.

Для теоретического обоснования выбора функции, описывающей процессы развития во времени морфологических и функциональных почвенных свойств, перспективно обращение к обобщенному классу ростовых функций (Шмидт, 1984). Универсальная запись для такого класса функций имеет вид:

$$H(t) = H_{\infty} \cdot \left(1 - \frac{\exp(a + \lambda t)}{K}\right)^K, \quad (9)$$

где H_{∞} , a и λ – коэффициенты, аналогичные по смыслу коэффициентам в функции Гомпертца; K – коэффициент, отражающий тип функции. При $0 < K \leq 1$ функция имеет экспоненциальный характер, при $K > 1$ – сигмоидный характер, при $K < 0$ – дает логистические кривые, при $K \rightarrow \pm\infty$ – дает функцию Гомпертца. На наш взгляд, коэффициент K может отражать зональные особенности почвообразования.

При использовании такого обобщенного типа функций роста при нелинейном оценивании массива почвенно-хронологических данных по черноземам лесостепи лучшие решения получены при значениях $K > 6$. Как отмечает В.М. Шмидт (1984), функция Гомпертца удовлетворительно выравнивает эмпирические ряды уже при $K = \pm 4$. В связи с этим, достаточно уверенно можно утверждать, что для отражения условий формирования гумусового горизонта черноземов в лесостепной зоне наиболее адекватно использовать функцию Гомпертца.

Особенностью данной функции является наличие трех критических точек, обозначающих «переломные» моменты в динамике ростовых процессов. Их определение основано на вычислении первой и второй производных функций (соответственно скорости и ускорения роста). Одна из критических точек (T_2 , по Шмидту) характеризуется максимальной скоростью процесса. В полученной модели формирования гумусового горизонта лесостепных черноземов максимальная скорость данного процесса для почв с возрастом $n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$ лет составляет $\approx 0,13$ мм/год (рис. 1). Средняя скорость почвообразования для полноголоценовых черноземов оценивается в $\approx 0,04$ мм/год. Очевидно, что такие темпы естественного воспроизводства почвенного ресурса чаще всего не могут компенсировать потерь, обусловленных его хозяйственным использованием.

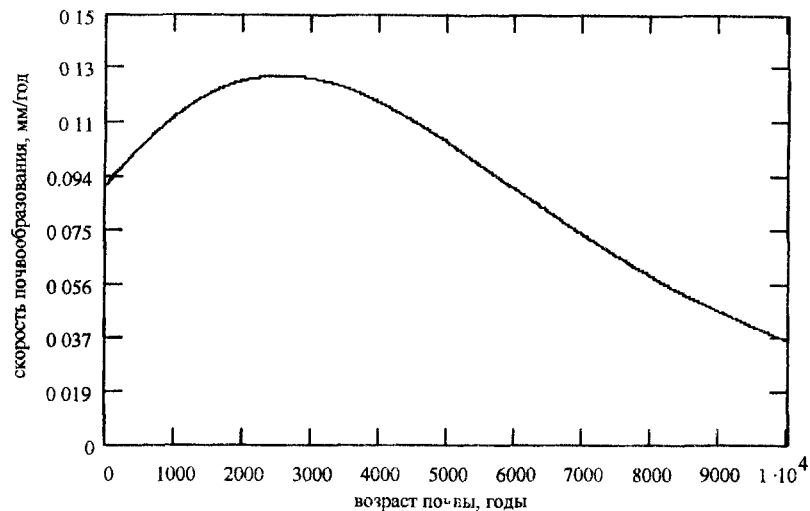


Рис. 1. Расчетная скорость формирования гумусового горизонта лесостепных черноземов

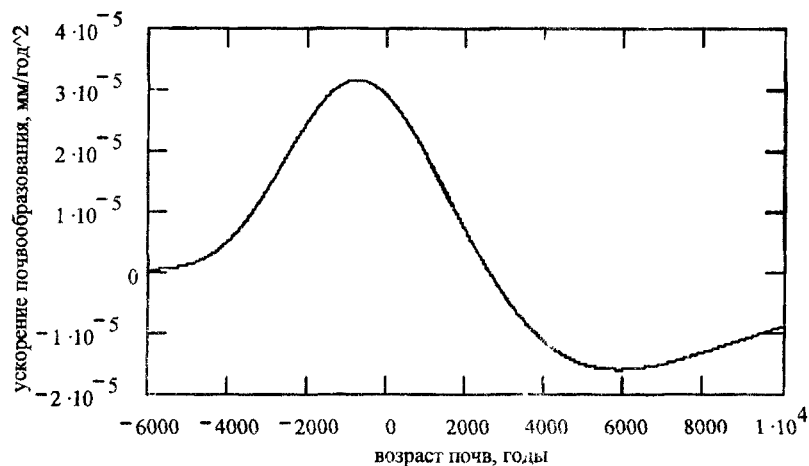


Рис. 2. Ускорение формирования гумусового горизонта черноземов лесостепи

Критические точки T_1 и T_3 в исследуемой функции имеют значения соответственно максимального и минимального ускорения роста (рис. 2).

Таким образом, почвообразование в современных климатических условиях на рыхлых осадочных породах начинается сразу с периода T_1 - T_2 (0-2600 лет), который характеризуется максимальным ускорением и максимальной скоростью почвообразования. Затем наступает период замедления почвообразования (до момента с

минимальным ускорением в точке T_3 – около 6000 лет), к концу которого практически завершается реализация зонального почвообразовательного потенциала, а почва может характеризоваться как «квазиклиматская». Третий период длится неопределенно долго, а скорость почвообразования снижается до значения 0,04 мм/год в 10000-летнем возрасте почв.

Разброс точек по отдельным хроносрезам свидетельствует о сохранении поливариантности почвообразования не только на ранних, но и на более зрелых возрастных стадиях развития почв. Перспективной представляется разработка семейства уравнений, описывающих развитие почвы в основных типах зональных биолитологических условий. В связи с этим предпринята попытка (Голеусов, Лисецкий) дифференциации массива данных со статистически обоснованным отбором точек, характеризующих формирование гумусового горизонта в «благоприятных», «средних» и «неблагоприятных» для протекания данного процесса условиях почвообразования. Полученные в итоге уравнения (их параметры приведены в табл. 1) могут быть использованы в оценке экологического варьирования скорости почвообразования.

Таблица 1

Параметры моделей формирования гумусового горизонта почв в различных условиях почвообразования лесостепной зоны

Условия почвообразования	Параметры модели общего вида $H(t) = H_{\infty} \exp(-\exp(a + \lambda t))$		
	H_{∞}	a	λ
Благоприятные	1200	0,517	-0,00032
Средние	1000	0,664	-0,00032
Неблагоприятные	800	0,786	-0,00032

Как следует из анализа параметров, представленных в табл. 1, уровень благоприятности условий почвообразования можно отразить различными значениями предельной мощности гумусового горизонта и параметра a , отражающего стартовые условия формирования этого почвенного признака. При сходстве условий автоморфного почвообразования основной вклад в определение их благоприятности делает литологический фактор (степень минералогического преобразования породы процессами выветривания и почвообразования, гранулометрический состав и т.п.). Параметр λ остается неизменным для всех трех типов условий, что отражает константность пропорциональной зависимости H от t в биоклиматических условиях лесостепной зоны.

Для получения обобщающей зависимости мощности гумусового горизонта зональных типов (подтипов) почв от времени выразим предельные значения гумусового горизонта через энергетические затраты на почвообразование – функцию Q В.Р. Волобуева. Антропогенно обусловленные изменения величины поступления растительных остатков в отдельные историко-экологические периоды определяют целесообразность выражения этих различий с помощью отношения величины фактической продукции растительности (F_f) к зональной – климатически обусловленной (F_z). Учитывая зависимость мощности гумусового горизонта автоморфных почв от зонально-провинциальных ресурсов тепло- и влагообеспеченности, поступления растительного вещества, времени и гранулометрического состава почвообразующих пород, получим итоговую запись трендовой составляющей процесса формирования гумусового горизонта (Лисецкий, 1987; Lisetskiy, 1994):

$$H_T(t) = \alpha \cdot g \left(\frac{F_f}{F_z} \right)^{\beta} \cdot \exp \left[\gamma \cdot R \cdot \exp \left(-\sigma \frac{R^v}{P} \right) \right] (1 - k \cdot \exp(-\lambda t)), \quad (10)$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \nu, k$ – эмпирически установленные константы; g – коэффициент, отражающий гранулометрический состав почвы; F_F, F_Z – фактическая и зональная продукция растительности; R – радиационный баланс; P – годовая сумма атмосферных осадков.

Периодический характер проявления почвообразования как процесса делает целесообразным дополнение трендовой составляющей процесса формирования гумусового горизонта моделью, описывающей низкочастотный спектр (получена путем классических методов спектрального оценивания) и моделью, описывающей высокочастотный спектр (параметрическая модель авторегрессии-скользящего среднего) (Burjak D.V., Lisetskiy, Burjak N.V., 1996).

Для перехода от оценки мощности гумусового горизонта (H) в точке водораздела, отражаемой моделью (10), к распределению H по профилю склона, воспользуемся записью среднего значения непрерывной функции:

$$H(L) = 1/L \cdot \int_0^L H(l) dl, \quad (11)$$

где $H(L)$ – средняя мощность гумусового горизонта почвы до сечения, удаленного на расстояние L от водораздела; $H(l)$ – мощность в произвольном сечении склона, расположенном на расстоянии l от водораздела.

Мощность гумусового горизонта ($H(L)$, мм) для топокатены с разновозрастным почвенным покровом может быть рассчитана по формуле, полученной путем подстановки (10) в (11):

$$H(L) = 1/L \left[\alpha \cdot g \left(\frac{F_t}{F_z} \right)^\beta \cdot \exp \left[\gamma \cdot R \cdot \exp \left(-\sigma \frac{R^v}{P} \right) \right] (1 - k \cdot \exp(-\lambda t)) \right] dl. \quad (12)$$

Вычисления по формуле (12) допустимо проводить с помощью известных методов численного интегрирования – квадратурных формул (трапеций, Симпсона). Так, формула Симпсона для приближенного вычисления определенного интеграла от непрерывной на $[a, b]$ функции имеет вид:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \sum_{i=1}^n (f(x_{2i}) + 4f(x_{2i+1}) + f(x_{2i+2})), \quad x_i = a + ih, \quad h = \frac{b-a}{n}, \quad n = 2m.$$

Для перехода от оценок по профилям (топокатам) к оценкам по площади склона следует использовать двойное интегрирование, учитывающее поперечную размерность в распределении по склону характеристик факторов почвообразования. Подобный подход реализован в (4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обычно алгоритм обоснования или, что значительно реже, вычисления допустимых потерь почвы в результате землепользования предполагает учет только количественной стороны почворазрушающих процессов (смыва почвы и/или величины дефляционной «сработки» профиля, выраженных в т/га в год). Нами предлагается подход, основанный на использовании критериев «фактические, оптимальные и критические запасы почвенного ресурса» (величины бонитета почв), т. е. позволяет учесть не только количественную, но и качественную оценку ресурса. Более того, в расчетной формуле бонитета почв и его изменения предлагается учитывать дифференцированный вклад в величину бонитета важнейших составляющих ресурсной оценки почвы – мощности гумусового горизонта и содержания гумуса.

Предложенными сценариями (вариантами) управления процессом землепользования практически охватываются все возможные ситуации оценки ресурсов почвенного плодородия. Обособлению ареалов (однотипных рабочих участков), для которых целесообразно рассчитывать сценарии управления почвенными ресурсами, способствует признанная в настоящее время стратегия ландшафтно-экологического обоснования территориальной организации агроландшафтов.

Предлагаемые модели носят динамический характер, что позволяет от дискретных горизонтов планирования (5-летний тур обследования, звено севооборота, севооборот и т.п.) переходить к модели континуального управления, что начинает сближать агроландшафт с программированным продукционным и ресурсовоспроизводящим блоком с другими природно-техническими системами.

Необходимость постоянного контроля над эффективностью принимаемых решений по воспроизводству ресурсов почвенного плодородия определяет большую востребованность в организации почвенно-экологического мониторинга земель.

Библиографический список

1. Белов, В. В. Розрахунок інтенсивності гумусонагромадження в умовах природного ґрунтоутворювального процесу [Текст] / В. В. Белов, Ф. М. Лисецький // Агрохімія і ґрунтознавство. – 1992. - Вип. 55. – С. 82-88.
2. Бондаренко, Н. Ф. Блок-схема интегрированной имитационной модели плодородия почвы [Текст] / Н. Ф. Бондаренко, И. А. Швытов // Доклады ВАСХНИЛ. – 1979. – № 2. – С. 12-15.
3. Горстко, А. Б. Введение в моделирование эколого-экономических систем [Текст] / А. Б. Горстко, Г. А. Угольников. – Ростов н/Д : Изд-во Ростов. ун-та, 1990. – 112 с.
4. Джефферс, Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии [Текст] / Дж. Джефферс. – М. : Мир, 1981. – 256 с.
5. Лисецкий, Ф. Н. Оценка скорости воспроизводства почвенного ресурса [Текст] / Ф. Н. Лисецкий // Доклады ВАСХНИЛ. – 1987. – № 6. – С. 16-18.
6. Лисецкий, Ф. Н. Профильное распределение плодородия в почвах Степи Украины и его изменение под влиянием эрозионных процессов [Текст] / Ф. Н. Лисецкий // Почвоведение. – 1988. – № 4. – С. 68-76.
7. Лисецкий, Ф. Н. Почвозащитное земледелие в США [Текст] / Ф. Н. Лисецкий // Земледелие. – 1991. – № 4. – С. 75-78.
8. Лисецкий, Ф. М. Датування ґрунту різновікових поверхонь городища Мохнач ґрунтохронологічним методом [Текст] / Ф. М. Лисецький, П. В. Голеусов // Археологічні відкриття в Україні 2001-2002 рр. / ІА НАН України. – Київ, 2003. – С. 160-165.
9. Образцов, А. С. Системный метод: применение в земледелии [Текст] / А. С. Образцов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 303 с.
10. Розанов, Б. Г. Расширенное воспроизводство почвенного плодородия (некоторые теоретические аспекты) [Текст] / Б. Г. Розанов // Почвоведение. – 1987. – № 2. – С. 5-15.
11. Швец, Г. И. Теоретические основы эрозиеведения [Текст] / Г. И. Швец. – Киев ; Одесса : Вища шк., 1981. – 224 с.
12. Швец, Г. И. Логико-математическая модель опционального использования воспроизводимых природных ресурсов [Текст] / Г. И. Швец // География и природные ресурсы. – 1985. – № 3. – С. 151-160.
13. Швец, Г. И. Допустимая норма смыва и оптимизация использования земельных ресурсов [Текст] / Г. И. Швец, Ф. Н. Лисецкий // Эродированные почвы и повышение их плодородия. – Новосибирск, 1985. – С. 160-164.
14. Шмидт, В. М. Математические методы в ботанике [Текст] / В. М. Шмидт. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.
15. Burjak, D. V. Forecasting of long-term changes in land management by modeling of the global astroclimatic-soil formation processes and asymptotic solutions for constructing models [Electronic resource] / D. V. Burjak, F. N. Lisetskiy, N. V. Burjak // Environment and quality of life in Central Europe: problems of transition : conf. Proceedings, Prague, 1996. – Access mode: <http://www.natur.cuni.cz/~demodept/proceedings>.
16. Lisetskiy, F. N. The place of soil formation values in the problem of rate setting soil loss tolerance [Text] / F. N. Lisetskiy // Proceedings of an International Workshop on Soil Erosion / The Center for Technology Transfer and Pollution Prevention, Purdue University. West Lafayette, IN. – 1994. – P. 391-399.
17. Stamey, W. L. A conservation definition of erosion tolerance [Text] / W. L. Stamey, R. M. Smith // Soil Science. – 1964. – V. 97, № 3. – P. 183-186.