

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.487:631.472.54

© 1994

Ф. Н. ЛИСЕЦКИЙ

МОДЕЛЬ ТРЕНДОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГОЛОЦЕНОВОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

(Представлено академиком
НАН Украины В. Г. Барьяхтаром)

Ретроспективный взгляд на процесс автоморфного почвообразования в течение голоцена позволяет выделить в нем два основных компонента: трендовую составляющую, характеризующую становление почвы как естественно-исторического тела от нуля-момента до квазиравновесного состояния с факторами среды, и периодические колебания, обусловленные ритмикой аэрогидротермических условий. При рассмотрении детерминированной тенденции голоценового почвообразования зонально-фациальные различия почв отчетливо выявляются в достижении ими соответствующих предельных значений важнейших агроресурсных характеристик — мощности гумусового горизонта и содержания гумуса в нем (рисунки). Это позволяет каждый из ресурсоформирующих процессов, в частности процесс формирования гумусового горизонта, выразить уравнением вида

$$\frac{dH}{dt} = \lambda H_{\text{пр}} F(t),$$

где $F(t)$ — функция времени; λ — коэффициент, зависящий от биоклиматических условий почвообразования. Для обоснования вида $F(t)$ возможна аналогия тренда процесса формирования почвенного ресурса с общей закономерностью ростовых процессов в экосистемах, которые в обоих случаях подчиняются ходу s-образных кривых. Среди аппроксимирующих их функций — логистической и Гомпертца [1] последняя представляется более предпочтительной из-за ее асимметрии, выражающейся в большей растянутости верхней ветви. Исходя из этого, процесс формирования гумусового горизонта почв (H) можно представить в виде

$$H = H_{\text{пр}} (\exp(-\exp(a + \lambda t))),$$

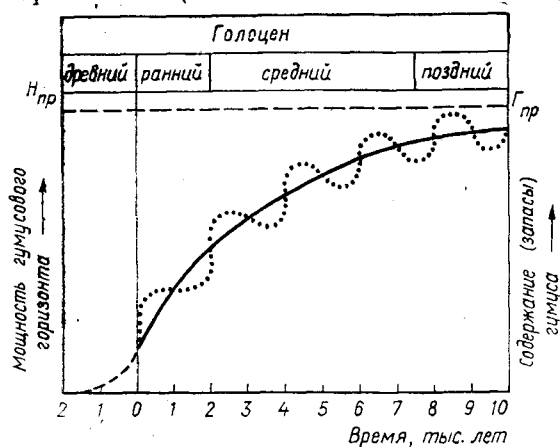
где a — константа. По этому уравнению получим выражение первой производной:

$$H_i = -\lambda H_{\text{пр}} \exp(a + \lambda t) \exp(-\exp(a + \lambda t)). \quad (1)$$

После интегрирования (1) и перехода к временной шкале голоцена зависимость, отраженная на рисунке, применительно к процессу формирования гумусового горизонта приобретает аналитический вид:

$$H = H_{\text{пр}} (\exp(-\exp(a + \lambda t)) - \exp(-\exp(a - 2000 \lambda))), \quad (2)$$

где t изменяется от -2000 до 0 (предыстория почв) и от 0 до $10\,000$ лет (голоценовая их история). Применение модели вида (2) к описанию почвообразовательного процесса, по-видимому, оправдано при рассмотрении всего голоцена с интерпретацией его субарктического периода (по Блитт — Сериандеру) как предыстории формирования современного почвенного покрова. Соответственно, на нуль-моменте современного почвообразования (около $10\,000$ лет назад) допускается наличие у почвообразующих пород первичного плодородия. Предположение об унаследованности почвой рубежа древнего и раннего голоцена предпочтительного плодородия материнской по-



зующих пород первичного плодородия. Предположение об унаследованности почвой рубежа древнего и раннего голоцена предпочтительного плодородия материнской по-

Голоценовая эволюция автоморфной почвы на рыхлых материнских породах и формирование ее ресурсных характеристик: мощности гумусового горизонта (H) и содержания (запасов) гумуса в нем (Γ)

роды подтверждается степным характером пыльцевого комплекса в причерноморском горизонте лесса, наличием, несмотря на диагенез, органического вещества на уровне, лишь немногим уступающем погребенным почвам лессовой формации Украины, и эффективного плодородия.

Для решения прикладных задач аналитический вид части кривой, выражаемой уравнением (2), в интервале $0 \div 10\,000$ лет может быть упрощен. В частности, при решении дифференциального уравнения

$$\frac{dH}{dt} = \lambda(H_{пр} - H)$$

получим уравнение

$$H = H_{пр}(1 - \exp(-2000\lambda) \exp(-\lambda t)),$$

которое после замены константы $\exp(-2000\lambda)$ на k приобретет вид экспоненциальной функции:

$$H = H_{пр}(1 - k \exp(-\lambda t)), \quad (3)$$

где k характеризует зональные уровни плодородия материнских пород в нуль-момент почвообразования, достигнутые за период предыстории; λ — коэффициент, $1/\text{год}$; t — период, лет.

Предпочтительность замены на интервале $0 \div 10\,000$ лет функции Гомперта экспоненциальной функцией определена по массиву педохронологических данных для черноземов обыкновенных ($N=82$). Сопоставление уравнений, полученных по моделям (2) и (3), показало, что разность расчетных значений мощности для последних $10\,000$ лет по непараметрическому критерию Вилкоксона незначительна на 5% -м уровне значимости, однако модель (3) имеет преимущества в точности аппроксимации. Это определило возможность систематизации педохронологических данных, накопленных по Восточно-Европейской равнине, в виде экспоненциальных функций изменения мощности гумусового горизонта в ходе онтогенеза. С учетом особенностей анализа исходных данных, обусловленных целью исследования, целесообразно провести отождествление различных (ретроспективные и ретрогнозные) датировки почв по шкалам внешнего времени, представляя их как универсальные оценки возраста почв. Проведенные автором в 1988—1993 гг. почвенно-эволюционные исследования в Украинском Причерноморье (70 археологических

памятников XXXIII в. до н. э.— XI в. н. э. (поселения, курганы, оборонительные валы) и 20 задернованных поверхностей XIV—XX вв. (жилые и хозяйственные постройки, окопы военного времени и др.) позволили значительно увеличить (по сравнению с более ранними проработками [2]) количество анализируемых данных (до 430). В итоге рассчитаны следующие значения эмпирических параметров λ и k в (3): соответственно $28 \cdot 10^{-5}$ и 0,76 для подзолистых, дерново-подзолистых почв; $24 \cdot 10^{-5}$ и 0,90 для черноземов лесостепи; $18 \cdot 10^{-5}$ и 0,89 для черноземов обыкновенных; $19 \cdot 10^{-5}$ и 0,85 для черноземов южных и темно-каштановых почв; $26 \cdot 10^{-5}$ и 0,74 для каштановых, светло-каштановых, бурых пустынно-степных почв.

Для получения обобщающей зависимости мощности гумусового горизонта зональных типов (подтипов) почв от времени выразим предельные значения гумусового горизонта через энергетические затраты на почвообразование (Q , МДж/(м²·год)), которые после приведения авторской записи [3] к выражению в единицах СИ, рассчитываются по формуле

$$Q = 41,87 R \cdot \exp\left(-18,8 \frac{R^{0,73}}{P}\right),$$

где R — радиационный баланс, ккал/(см²·год); P — годовая сумма осадков, мм. По обобщенным данным, включавшим фациальные параметры предельной мощности гумусового горизонта автоморфных почв Восточно-Европейской равнины ($H_{пр}$, мм) для отдельных градаций гранулометрического состава и соответствующие показатели тепло- и влагообеспеченности почвенных районов ($N=282$), получена зависимость вида

$$H_{пр} = 10,85 g \exp(0,0044 Q), \quad \eta \pm t_{05} S_{\eta} = 0,72 \pm 0,08, \quad (4)$$

где g — поправочный коэффициент на гранулометрический состав почв (1,0 — средне- и тяжелосуглинистые; 1,4 — супесчаные и песчаные; 0,95 — легкосуглинистые; 0,72 — глинистые). Парная зависимость (4) оправдана только при полной реализации энергетического эквивалента потенциала гидротермических условий в зональной величине растительной продукции. С учетом данных по Восточно-Европейской равнине и результатов собственных исследований 1981—1991 гг. на территории Северного Причерноморья ($N=70$) получена зависимость средней годичной продукции в почвенно-растительных формациях — F_z , т/(га·год), (в сухой массе) от энергетических затрат на почвообразование (Q):

$$F_z = 8,7 \cdot 10^{-8} Q^{2,69}, \quad \eta \pm t_{05} S_{\eta} = 0,85 \pm 0,13. \quad (5)$$

Средняя скорость формирования гумусового горизонта почв различной степени смывтости (дефлированности) и скорость рецентного почвообразования (V_r) (в числителе — мм/год, в знаменателе — т/га при плотности сложения 1,2 т/м³)

Почвы	Степень смывтости (дефлированности)			V_r
	слабая	средняя	сильная	
Подзолистые, дерново-подзолистые	0,04	—	—	0,06
	0,47			0,7
Черноземы лесостепи	0,05	0,11	0,18	0,33
	0,59	1,30	2,22	4,0
Черноземы обыкновенные	0,05	0,09	0,15	0,22
	0,54	1,06	1,82	2,6
Черноземы южные, темно-каштановые	0,04	0,08	0,11	0,19
	0,50	0,95	1,35	2,3
Каштановые, светло-каштановые, бурые пустынно-степные	0,02	0,05	0,07	0,09
	0,27	0,55	0,88	1,1

Антропогенно обусловленные различия в величине поступления растительных остатков определяют целесообразность выражения этих различий с помощью отношения фактической продукции растительности (F_f) к зональной (F_z). Учет основных факторов почвообразования, отраженных в (3)—(5), позволяет представить модель трендовой составляющей процесса формирования гумусового горизонта зональных почв (H , мм) в следующем аналитическом виде:

$$H = 10,85 g (F_f/F_z)^{0,37} \exp(0,0044 Q)(1 - k \exp(-\lambda t)). \quad (6)$$

Используя уравнение (6), можно получить два вида оценок скорости формирования гумусового горизонта, применимых как нормативные показатели в практике почвозащитного проектирования. Во-первых, это потенциальные скорости воспроизводства почвенного ресурса, определяемые, прежде всего, онтогенетической зрелостью почвенного профиля. Аналогизация разновозрастных почв с профилями, испытывшими водно-эрозионные и дефляционные деформации и находящимися под мелиоративными воздействиями с вещественно-энергетическим потенциалом зонального почвообразования, позволяет использовать нормативы воспроизводства почв, представленные в таблице. Второй вид оценки — скорость рецентного почвообразования — отражает почвообразовательный потенциал современных зональных биоклиматических условий на материнской породе, поднятой к дневной поверхности прямым или косвенным антропогенным влиянием. Учитывая нелинейный характер формирования почвенного профиля на этапе становления, наиболее корректным следует признать способ дискретных оценок скоростей рецентного почвообразования по хроноинтервалам, используя модель (6). Но для общей экспертизы эффективности и приемлемых сроков осуществления программ по консервации разрушенных земель путем их залужения или лесомелиорации, рекультивации постпромышленных ландшафтов и т. п. представляют интерес среднегодовые скорости рецентного почвообразования, рассчитанные для периода, обеспечивающего формирование первых 20 см плодородного слоя почвы (см. таблицу).

1. Шмидт В. М. Математические модели в ботанике.— Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984.— 288 с.
2. Лисецкий Ф. Н. Оценка скорости воспроизводства почвенного ресурса // Докл. ВАСХНИЛ.— 1987.— № 6.— С. 16—18.
3. Волобуев В. Р. Энергетика почвообразования // Изв. АН СССР. Сер. биол.— 1959.— № 1.— С. 45—54.

Одесский государственный университет
им. И. И. Мечникова

Поступило 14.10.93

Запропонована математична модель природного тренду зональних ґрунтів Східно-Європейської рівнини на протязі голоцену. Модель відображає умови тепло- і вологозабезпечення, які узагальнені в енергетичних витратах на ґрунтоутворення, річну продукцію рослинності, гранулометричний склад ґрунтів та час їх формування. Розраховані швидкості зонального ґрунтоутворення для профілів з різною онтогенетичною зрілістю.

A mathematical model of natural trend of zonal soils of the Eastern-European (Russian) Plain during the holocene are proposed. The model reflects the conditions of warmth and moisture (in the form of power outlay on soil formation), annual production of vegetation, granulometric composition of soils and their age. The renewal rates of zonal soil formation for profiles with different ontogenesis maturity are calculated.