

УДК 631.48→631.6.02

Ф.Н. Лисецкий

Белгородский государственный университет

## ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ПРОБЛЕМА ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЛАНДШАФТОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

**Введение.** Оценки скорости почвообразовательного процесса и его важнейшего показателя – скорости формирования гумусового горизонта почв – используются для решения разнообразных научно-практических задач: для нормирования эрозионных потерь почвы – определения «допустимых эрозионных потерь почвы» (ДЭПП), для корректировки необходимой эффективности противоэрозионных мероприятий, для расчетов местоположения рубежей регулирования водно-эрозионных процессов в условиях агроландшафтов, для определения долговечности использования почв при наличии антропогенно обусловленной интенсивности проявления водной эрозии и дефляции, как показатель регенерационных возможностей экосистем и др. Однако прямое отождествление норм эрозии со скоростью почвообразования показало свою нежизненность по ряду причин: для почв агроландшафтов характерны иные скорости, чем в условиях природного почвообразования, скорости природного почвообразования, зачастую, на порядок ниже «желательных» (возможных для организации противоэрозионного контроля) и др.

В Северной Америке и Европе ДЭПП, называемые “soil loss tolerance (T values)”, – важнейший параметр для контроля почвозащитных мер. Анализ нормативной шкалы T-фактора, принятой Департаментом сельского хозяйства США, позволяет отметить две важные особенности реализуемого подхода. Во-первых, для любой самой маломощной почвы, с непреодолимыми ограничениями мощности корнеобитаемого слоя, фактор T назначен не ниже 2,2 т/га. Во-вторых, для любой почвы на рыхлой почвообразующей породе и мощностью более 1,5 м установлен верхний предел допустимых ежегодных эрозионных потерь в 11,2 т/га. Даже при использовании явно завышенных уровней T-фактора, что отмечают и многие американские специалисты, фактические темпы эрозии превышают принятые нормы на 44 % площадей пахотных земель США. Примечательно, что единственная (!) оценка почвообразования Х. Беннетта (1939) «1 дюйм за 30 лет» послужила основой для установления верхнего предела ДЭПП, используемого до настоящего времени в практике почвозащитного земледелия США и часто рекомендуемого для других почвенно-климатических условий мира. Очевидно, что необходимо более обстоятельное эмпирическое обоснование оценок скорости формирования гумусового горизонта почв, как в условиях природного почвообразовательного процесса, так и с учетом специфики действия антропогенных факторов в агроландшафтах. Симптоматично мнение о том, что пределы почвенных потерь от эрозии следует снизить не менее чем на 1/3 [6], т.к. сельскохозяйственное производство не способно обеспечить воспроизводство почвенного гумуса [9].

**Объекты, методы, условия исследования.** Исследования проводили в лесостепной части Харьковской области, относящейся к Левобережно-Днепровской лесостепной провинции с доминированием черноземов типичных малогумусных и серых оподзоленных почв. Для формирования массива почвенно-хронологических данных изучено более 60 разновозрастных почв в диапазоне возрастов от 49 до 2550 лет. Ранее по результатам исследований в Харьковской области [2, 4] проведено изучение разновозрастных почв, сформированных под травянистой растительностью в пределах одного археологического памятника (Мохначанского городища). В данной работе представлены также материалы изучения почв, сформированных под лесом при различных условиях материнских пород и биоты (табл. 1).

**1. Характеристика объектов почвенно-хронологических исследований в Харьковской области**

| № разре-за | Местоположение   | Объект и его датировка                                    | Растительность   | Почвообразующая порода                             | A, мм* | A+AB (H), мм* |
|------------|--|---|--|--|--------|---------------|
| 151        | Змиевский р-н, с. Мохнач, СВ сторона мыса                          | Эскарп скифского времени (V-IV вв. до н. э.)              | Разнотравно-злаковая   | Лессовидный суглинок                               | 204    | 407±26        |
| 21         | 4 км к СВ от г. Харьков, с. Циркуны                                | Вершина вала скифского городища (сер. IV в. до н.э.)      | Клено-дубняк осоковый  | Суглинок средний карбонатный с включениями мергеля | 192    | 433±32        |
| 22         | Там же   | Вершина внутреннего вала городища (сер. IV в. до н.э.)    | То же  | Суглинок тяжелый карбонатный (обожженный)          | 191    | 472±26        |
| 23         | Южнее г. Люботин, истоки р. Мерефа                                 | Люботинский могильник VII-VI вв. до н.э., вершина кургана | Кленовник травяной   | Насыпной гумусовый горизонт чернозема              | 255    | 438±28        |
| 24         | Урочище Дробяньское  | Вершина зольника сер. VII- сер. VI в. до н.э.             | Кленовник снытевый   | Зольный субстрат                                   | 229±38 | 381±26        |
| 25         | 20 км к З от г. Харьков, пос. Караван                              | Вершина внешнего вала городища (V-IV вв. до н.э.)         | Липо-кленовник мертвопокровный (молодой лес у границы массива) | Суглинок тяжелый (обожженный)                      | 180    | 300           |
| 26         | Там же   | То же   | Липо-кленовник мертвопокровный (в глубине леса)                | Рыхлая глина, местами обожженная                   | 260    | 398±26        |
| 27         | Западная окраина г. Люботин, 1,5 км к З от ст. Совнаркомовская     | Вершина кургана скифской эпохи (V-IV вв. до н.э.)         | Липо-кленовник снытевый  | Насыпной гумусовый горизонт чернозема              | 190    | 419±20        |
| 29         | г. Харьков, правый берег р. Уды между ст. Карачевка и Липовая Роща | Вершина зольника (IV в. до н.э.)                          | Клено-дубняк снытевый  | Суглинок средний карбонатный                       | 255    | 380           |
| 210        | Там же   | То же   | То же  | Зольный карбонатный субстрат                       | 260±30 | 362±28        |

\* При наличии повторностей в замерах гор. A и A+AB (H) значения приведены с доверительным интервалом  $x_{cp} \pm t_{05}S$ .

Почвы, сформированные на антропогенных поверхностях (поселениях, оборонительных валах, эскарпах), были датированы археологическими и историческими методами. В датировке археологических памятников большую помощь оказал к.и.н. В.В. Колода (Харьковский государственный педагогический университет им. Г.С. Сковороды). Аналитические работы проводили по стандартным методикам: гумус по методу И.В. Тюрина, азот валовой (N) по методу Кьельдаля, легкогидролизуемый азот методом И.В. Тюрина и М.М. Кононовой, подвижные соединения фосфора и калия по методу Чирикова.

**Результаты.** В автоморфных условиях закономерности процесса формирования гумусового горизонта почв во времени имеют аналогию с общим ходом ростовых процессов в экосистемах. Ранее показано [8], что эти процессы в обоих случаях подчиняются ходу S-образных кривых, которые адекватно описываются функцией Гомпертца:

$$H_t = H_{S-LIM} \cdot \exp(-\exp(a + \lambda t)), \quad (1)$$

где  $H_t$  – мощность гумусового горизонта почв, мм;  $H_{S-LIM}$  – предельная мощность гумусового горизонта;  $a$  – константа (отражает начальные условия процесса);  $\lambda$  – коэффициент, характеризующий скорость процесса формирования гумусового горизонта;  $t$  – время почвообразования, годы. В качестве предельного значения мощности ( $H_{S-LIM}$ ) нами принята наибольшая мощность гумусового горизонта типичного чернозема, в морфологическом строении профиля которого максимально реализовался почвообразовательный потенциал биоклиматических условий лесостепной зоны.

Для разработки модели, описывающей процесс увеличения мощности гумусового горизонта лесостепных черноземов (выщелоченных, типичных и обыкновенных мощных) во времени, нами использован банк почвенно-хронологических данных, насчитывающий более 300 «хроноточек». В него вошли и те объекты, которые были изучены на территории Харьковской области.

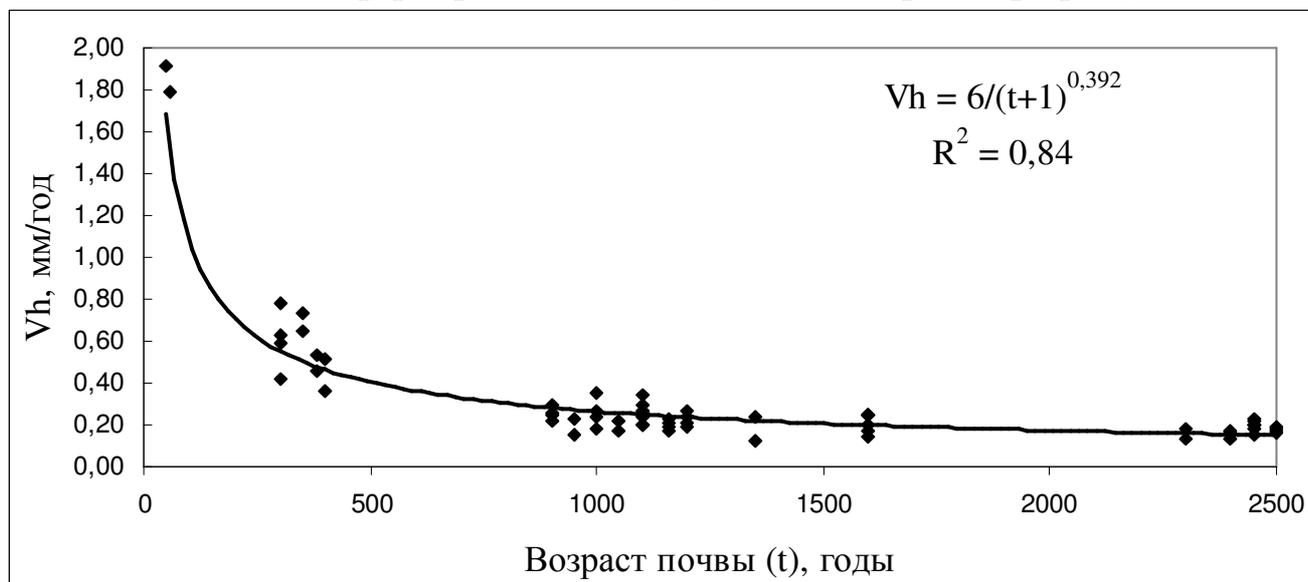
В итоге процесс формирования гумусового горизонта лесостепных черноземов в ходе рецентного почвообразования можно описать уравнением следующего вида [8]:

$$H_t = 1200 \cdot \exp(-\exp(0,742 - 0,00029 t)). \quad (2)$$

По результатам моделирования процесса формирования гумусового горизонта лесостепных черноземов можно провести оценку мощности  $H_t$  для любого относительного возраста почвы. Это позволяет рассчитать потенциальную скорость процесса становления гумусового профиля почв, определить критические моменты онтогенетического развития. По модели (2) черноземы лесостепи достигают половины предельной мощности гумусового горизонта по прошествии 3900 лет, а максимальная скорость почвообразования отмечена для периода до 2600 лет. Средняя скорость формирования гумусового горизонта лесостепных почв в первые 500 лет их формирования резко снижается: от 2 до 0,4 мм/год, в последующие 500 лет – до 0,26 мм/год (рис.). После 1000 лет почвообразования скорость процесса стабилизируется в области 0,2 мм/год, что соответствует 2,3 т/га в год.

Черноземы лесостепи, достигшие возраста в 24-26 веков, способны аккумулировать в горизонте А до 7 % гумуса (табл. 2). В почвах, достигших возраста 500-1000 лет, запасы гумуса в гумусовом горизонте (А+АВ) составляют 46-90 т/га, а в почвах 2300-2500-летнего возраста увеличиваются до 150-250 т/га. Если через 25 веков почвообразования мощность гумусового горизонта достигает лишь 36 % от ее предельной мощности, то запасы гумуса в гумусовом горизонте (40 см) практически соответствуют полновозрастным (10 тыс. лет) аналогам. Усредненные за 2000 лет скорости гумусонакопления в почвах под лесом составляют 5,8 т/га в

100 лет. Примечательно, что за первые 25 веков почвообразования интенсивность аккумуляции гумуса в гумусовом горизонте (при увеличении его мощности за это время в 2,3 раза) увеличивается во времени не так быстро: удельные запасы гумуса, т.е. запасы, отнесенные к 10 см мощности гумусового горизонта, изменяются в узких пределах: от 40 до 50 т/га. При определенной пестроте условий почвообразования на антропогенных субстратах археологических памятников качественный состав гумуса почв возрастом 24-26 веков довольно однообразен: степень обогащенности гумуса азотом очень низкая и низкая (по шкале Д.С. Орлова и др., 2004), за исключением почвы, сформированной на гумусовом материале (разр. 23).



**Рис. Изменение скорости формирования гумусового горизонта лесостепных почв Харьковской области ( $V_h$ , мм/год) в зависимости от их возраста ( $t$ , годы).**

Данные табл. 2 свидетельствуют, что во всех изученных почвах доля водорастворимого гумуса от его общего содержания в гор. АВ (колеблется в диапазоне от 2,1 до 6,4 %) существенно выше по сравнению с гор. А (от 1,1 до 2,9 %), в среднем это превышение составляет 1,9 раза.

В полновозрастных черноземах лесостепи коэффициент аккумуляции фосфора в верхнем гумусовом горизонте (отношение содержания валового  $P_2O_5$  в слое 0-20 см к содержанию в слое 180-200 см) колеблется в пределах 1,24-1,44. Для почв под лесом возрастом 24-26 веков характерна интенсивная «биоперекачка фосфора» [3] из нижних горизонтов почвы в верхние: коэффициент аккумуляции фосфора в гор. А по отношению к гор. АВ составляет 1,28-1,41 (разр. 210 и 25) и даже больше (разр. 21) (табл. 2). Но в условиях, когда почва формировалась на плотных материнских породах (обожженный суглинок) или на насыпном черноземе, «биоперекачка фосфора» не наблюдалась (разр. 22, 23, 26).

Продукция фитомассы, которую обеспечивают широколиственные леса в лесостепи, составляет 11-12,7 т/га, а луговые степи и остепненные луга, имея запас мортмассы в 19,2 т/га, который можно рассматривать как постоянный резерв органики для непрерывности процесса гумусообразования, ежегодно продуцируют 19,9 т/га фитомассы, из которой 65 % связано с подземной продукцией [1]. Известно [5], что черноземы типичные, сформировавшиеся под луговыми степями, содержат от 2 до 7 % гумуса, а валовые запасы гумуса в метровом слое изменяются от 200 до 650 т/га. Соотнеся продукцию фитомассы с запасами гумуса, получаем отношение, показывающее, каким количеством растительного вещества обеспечивается воспроизводство и депонирование 1 т гумуса. Под луговыми ценозами ежегодно

пополняемый приход органического вещества в количестве 47 кг на каждую тонну гумуса обеспечивал интенсивность природного почвообразовательного процесса и формирование габитуса, характеризующего типичные черноземы. В агроценозах этот показатель ниже в 4 раза, если принять величину ежегодного поступления органического вещества с пожнивно-корневыми остатками культурных растений (без внесения органических удобрений) в 5 т/га.

## 2. Свойства почв возрастом 24-26 веков на археологических памятниках Харьковской области

| № разреза | Горизонт, см | Гумус, % | Водораств. гумус, % | Нвал., % | C:N  | ГК*  | N K <sub>2</sub> O P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |      |       |
|-----------|--------------|----------|---------------------|----------|------|------|--|------|-------|
|           |              |          |                     |          |      |      | мг/100 г   |      |       |
| 151       | A, 0-20      | 4,38     | 0,129               | 0,315    | 8,1  | -    | 431,2  | 240  | 19,1  |
|           | AB, 20-47    | 2,34     | 0,096               | 0,148    | 9,2  | -    | 280,0  | 184  | 13,2  |
| 21        | A, 0-23      | 4,68     | 0,106               | 0,079    | 34,3 | -    | 280,0  | 640  | 159,5 |
|           | AB, 23-51    | 1,99     | 0,098               | 0,350    | 3,3  | 0,67 | 138,6  | 400  | 52,4  |
| 22        | A, 0-25      | 4,44     | 0,096               | 0,213    | 12,1 | -    | 334,0  | 460  | 67,3  |
|           | AB, 25-53    | 1,05     | 0,067               | 0,218    | 2,8  | 1,70 | 162,4  | 384  | 94,6  |
| 23        | A, 0-26      | 3,72     | 0,103               | 0,395    | 5,5  | 2,41 | 266,0  | 240  | 32,9  |
|           | AB, 26-44    | 1,48     | 0,075               | 0,280    | 3,1  | 1,08 | 144,2  | 164  | 383,0 |
| 24        | A**, 0-23    | 9,96     | 0,135               | 0,080    | 72,1 | -    | 378,0  | 110  | 353,5 |
|           | AB, 23-38    | 4,06     | 0,085               | 0,325    | 7,2  | 0,78 | 228,2  | 1140 | 15,6  |
| 25        | A, 0-20      | 6,88     | 0,173               | 0,230    | 17,3 | 1,74 | 344,4  | 800  | 136,1 |
|           | AB, 20-32    | 1,61     | 0,072               | 0,093    | 10,0 | -    | 133,0  | 428  | 96,4  |
| 26        | A, 0-35      | 6,83     | 0,132               | 0,340    | 11,6 | -    | 336,0  | 1040 | 120,0 |
|           | AB, 35-43    | 2,61     | 0,088               | 0,209    | 7,2  | 1,46 | 228,2  | 740  | 136,4 |
| 210       | A**, 0-24    | 8,50     | 0,093               | 0,198    | 24,9 | -    | 334,6  | 58   | 303,0 |
|           | AB, 24-36    | 3,79     | 0,088               | 0,310    | 7,1  | 1,26 | 175,0  | 434  | 237,5 |

\*ГК – гидrolитическая кислотность, мг-экв/100 г;

\*\*Почвы на зольниках карбонатные; часть углерода в них негумусовой природы; калий и фосфор определены по Мачигину.

Таким образом, в обычных условиях современного хозяйствования на земле трудно предположить, что темпы антропогенного почвообразования могут быть выше, чем скорости природного процесса.

В прошлом широко практиковалось прямое сопоставление скорости почвообразовательного процесса с интенсивностью смыва (и/или выдувания) почвы. Комплексные методики основаны на показателях, которые включают помимо скоростей ресурсоформирующих и почворазрушающих процессов также оценку запасов почвенных ресурсов. Характерным примером такого рода показателя является формула расчета «срока службы (долговечности) почвы» ( $L_F$ , годы), которая предложена в работе [7], а в нашей модификации имеет следующий вид:

$$L_F = \frac{100(D_E - D_O)\gamma}{Z - Z_F}, \quad (3)$$

где  $D_E$  – доступная продуктивная мощность почвы, см;  $D_O$  – минимальная мощность почвы (или эффективный минимум корнеобитаемого слоя) для отдельных культур, см;  $\gamma$  – объемная массы почвы, т/м<sup>3</sup>;  $Z$  – расчетная скорость почвенных потерь, т/га в год;  $Z_F$  – оценочная скорость почвообразования, т/га в год.

Следует заметить, что формулой (3) фактически определяется утилитарный подход к расходованию почвенных ресурсов. Для примера, если принять продуктивную мощность черноземов лесостепи в 100 см (у нижней границы метровой толщи уровень эффективного плодородия снижается до 30 % от уровня плодородия горизонта 0-20 см), минимальную мощность почвы (по результатам

экспериментов) в 30 см, средний смыв с пахотных склонов региона (по оценкам ученых МГУ) в 6 т/га в год, скорость почвообразования в 2,3 т/га в год, то практически полная «сработка» почвы по (3) произойдет через 2270 лет. Эта оценка носит исключительно условный характер, т.к. с позиции эколого-биосферных функций почв допустить утрату 1/3 продуктивной толщи недальновидно; хотя и в отдаленной перспективе, но здесь намечено движение к «геологизации почвенного покрова, или к контрэволюции почв» [3]; чаще всего землепользователям не удастся обеспечить приход органического вещества, обеспечивавший темпы природного почвообразования, а процессы физико-химической деградации и оценки экологического ущерба от эрозии почв в этом подходе не учтены.

Ответом на трудно преодолимые проблемы, связанные с корректностью вовлечения оценок скорости природного почвообразования в расчеты ДЭПП и установлением их соответствия с антропогенным почвообразованием в агроландшафтах, может стать предложение вообще отказаться от активно использовавшихся ранее корректировок скорости природного почвообразования, сосредоточившись на описании особенностей антропогенного почвообразования. Перспектива решения этой задачи связана с дальнейшим совершенствованием расчетных методов оценки скорости водно-эрозионного процесса.

**Выводы.** Установлено, что в природных условиях лесостепи по прошествии 500 лет почвообразования средняя скорость формирования гумусового горизонта составляет 0,2 мм/год (2,3 т/га в год), скорость гумусонакопления 5,8 т/га в 100 лет. В силу того, что степень реализуемости потенциальной скорости почвообразования в конкретных агроландшафтных условиях технологического контура будет различна, необходима разработка имитационной модели антропогенного почвообразования. При этом должны учитываться как бонитет почвы и его изменения в результате проявления эрозионных процессов, так и режим воспроизводства органического вещества в конкретных производственных условиях с учетом севооборота, почвозащитных агро-, лесо-, лугомелиоративных и гидротехнических приемов и их комплексов, в зависимости от доз внесения органических и минеральных удобрений, урожайности культур и погодноклиматических условий.

**Библиографический список:** 1. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность почвенно-растительных формаций СССР // Изв. АН СССР. - Сер. геогр. - 1986. - № 2. - С. 49-67. 2. Голушов П.В., Колода В.В., Лисецкий Ф.Н., Чендев Ю.Г. Почвы земляных археологических памятников лесостепной зоны и реконструкция по ним изменений природной среды и почвообразования // Восточноевропейский археологический журнал. - 2002. - № 1 (14): Эл. ресурс: [http://archaeology.kiev.ua/journal/010102/goleusov\\_koloda\\_lisetsky\\_chendeyev.htm](http://archaeology.kiev.ua/journal/010102/goleusov_koloda_lisetsky_chendeyev.htm). 3. Крупеников И.А. Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. - Кишинев: Pontos, 2008. - 288 с. 4. Лисецкий Ф.М., Голушов П.В. Датування ґрунту різновікових поверхонь городища Мохнач ґрунтово-хронологічним методом // Археологічні відкриття в Україні 2001-2002 рр.: Зб. наук. пр. Вип. 5. / За ред. Н.О. Гаврилюк. - К.: ІА НАН України; Шлях, 2003. - С. 160-165. 5. Черноземы СССР (Украина). - М.: Колос, 1981. - 256 с. 6. Cabbage F.W., Gunter E. Conservation Reserves // J. Forest. - 1987. - V. 85. - N. 4. - P. 21-27. 7. Elwell H., Stocking M. Estimating soil life-span for conservation planning // Tropical Agriculture. - 1984. - V. 61. - N. 2. - P. 148-150. 8. Goleusov P., Lisetskii F. Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes // Eurasian Soil Science. 2008. - V. 41. - N. 13. - P. 1480-1486. 9. Johnson L.C. Soil loss tolerance: Fact or myth? // Journal of soil and water conservation. - 1987. - V. 42. - N. 3. - P. 155-160.