

## НОРМИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОЧВЫ В АГРОЛАНДШАФТЕ

Лисецкий Ф.Н., Одесский государственный университет, г. Одесса

В последние годы в проблеме регулирования водно-эрозионных потерь почвы с территории как элементарных (овражных, балочных), так и речных водосборов все более определенным становится приоритет экологических требований. Уже проведена количественная оценка влияния эрозионных и дефляционных процессов на почвенное плодородие, обобщенно выражаемая в виде поправочных коэффициентов к бонитету почв, однако пока отсутствуют надежные методики оценки косвенных последствий проявления эрозии. К последним относится ущерб источникам городского водоснабжения от загрязнения удобрениями, пестицидами и тяжелыми металлами, поступление твердого стока в водозаборные сооружения магистральных каналов, заиливание судоходных рек и гаваней, отложение наносов в придорожных кюветах, дренажах, у водосливов, снижение запасов рыбы из-за эвтрофикации водоемов, изменение состава водной фауны, снижение рекреационного потенциала прибрежных зон. Тем не менее именно косвенный (экологический) ущерб от эрозии наиболее значителен. В частности, по оценкам, проведенным в США, общие годовые потери от загрязнения вод рассредоточенными источниками (в форме взвесей, растворимых твердых веществ, азота, фосфора и бактерий), поступающими в результате эрозионной деятельности, достигают в среднем 6 млрд. долл, тогда как потери от эрозии, обусловленные снижением продуктивности, составляют 1,3 млрд. долл. Пока не может быть выражено влияние эрозии на здоровье человека, биологические отклонения и эстетическое состояние ландшафта. Особая проблема на Украине связана с миграцией радионуклидов под влиянием поверхностного смыва и транспортом наносов в речной системе Днепра. Все это формирует мнение о необратимости и кумулятивности эффектов, обусловленных эрозией почвы.

Невозможность полного прекращения процессов эрозии и дефляции почв, являющихся составными частями общеденудационного развития геосферы, определяет необходимость внедрения систем земледелия, обеспечивающих максимальное задержание продуктов эрозии, удобрений, пестицидов в пределах водосбора и регулируемое расходование почвенного ресурса в допустимых пределах. Отсюда становится ясным особое значение вопроса об обосновании "допустимых эрозионных потерь почвы" - ДЭП.

По проблеме обоснования ДЭП первые работы появились в США, что было связано с периодом создания "универсального уравнения почвенных

потерь" (40-е гг.). Особое распространение получил подход, при котором ДЭП приравнивались к скорости естественного почвообразовательного процесса. В частности, для установления ныне используемого в США верхнего предела ДЭП (11,2 т/га в год) была принята единичная оценка скорости почвообразования, введенная Х. Беннетом. А уже с 1973 г. проводилась конкретизация в пределах принятого диапазона ДЭП (2,2-11,2 т/га) для почв каждого штата, используя иные критерии (мощность гор. А и благоприятной корнеобитаемой зоны, водопроницаемость, другие физические и химические свойства почвы). Следует заметить, что в практике почвозащитного проектирования СССР именно этот подход был традиционным.

На учет особенностей проявления эрозионных процессов в сельскохозяйственных экосистемах ориентирован метод, предложенный К.А. Ван Дореном и Дж. Дж. Бертели (1946). Суть его заключается в оценке величины ежегодной потери почвы, при которой не происходит снижения урожайности сельскохозяйственных культур. Именно к этому подходу наиболее близка идея, заложенная в современном определении ДЭП США, как максимальной скорости ежегодных эрозионных потерь, которая позволяет сохранить неограниченно долго высокий уровень продуктивности, обоснованный экономически.

К настоящему времени многие специалисты пришли к заключению, что научные основы ДЭП не отражают современного уровня знаний, от экспертных оценок необходимо переходить к выработке алгоритмов долгосрочного управления почвенными ресурсами. Это тем более актуально в связи с принятым Министерством сельского хозяйства США в 1985 г. проектом WERP, знаменующим отход от эмпирического уровня разработки универсального уравнения почвенной эрозии к новой технологии, основанной на использовании ландшафтного подхода, новых достижений в гидрологии, механике, разработке ГИС и экспертных систем. Очевидно также, что при обосновании ДЭП не может удовлетворить только почвенно-географический принцип (дифференциация по зонам, подзонам, почвенным сериям и т.д.). Вариация внутризональных уровней почвенного плодородия, превышающая межзональные различия, стремление к адаптивности проектируемых почвозащитных систем земледелия местным ландшафтным условиям определяют необходимость в сопоставимом уровне дискретности оценок допустимых потерь и фактического смыва. Новый уровень в решении проблемы ДЭП мы связываем с обоснованием этой характеристики в ряду с другими нормативными показателями в результате оптимизации использования почвенных ресурсов с учетом природно-хозяйственных условий и социально-экономических приоритетов развития региональных

Впервые формализованное выражение процесса управления почвенными ресурсами, определяющее место ДЭП, было предложено В.Л.Стеми и Р.М.Смитом (1965):

$$I(x,y) - \int_{t_0}^{\infty} F(x,y,t) dt \geq M(x,y), \quad (1)$$

где  $I(x,y)$  - функция, оценивающая почвенные свойства в точке  $(x,y)$  на текущий момент времени  $(t_0)$ ;  $M(x,y)$  - функция, определяющая минимально допустимые свойства почвы в точке  $(x,y)$ . Функция  $F(x,y,t)$  отражает допустимые изменения в точке  $(x,y)$  на время  $t$ :

$$F(x,y,t) = E(x,y,t) - R(x,y,t), \quad (2)$$

где  $E(x,y,t)$  - функция, определяющая скорость эрозионных потерь почвы;  $R(x,y,t)$  - функция, определяющая скорость восстановления почвенных свойств.

Сопоставление результатов последующих, более прагматичных исследований в США и СССР с выражением (1) позволило выявить ряд постоянно используемых упрощений: 1) сведение всей совокупности почвенных свойств, определяющих плодородие, к мощности гумусового горизонта и отождествление функции  $R(x,y,t)$  со скоростью формирования гумусового горизонта; 2) определение ДЭП не как функции  $F(x,y,t)$  а как скорости формирования гумусового горизонта, что определило в итоге слабую разработанность функции  $M(x,y)$ ; 3) константный характер принятых значений ДЭП даже при оценке долговременных последствий эрозии. В результате, при достигнутых успехах в изучении отдельных сторон проблемы, существенное упущение выявляется в более широком контексте, задаваемом выражением (1).

Методологию рассматриваемого подхода в определенной мере реализовал в США Е.Л.Скидмор (1982). Им предложено расчет допустимых потерь почвы в точке  $(x,y)$  на момент времени -  $T(x,y,t)$ , мм/год проводить по следующей формуле:

$$T(x,y,t) = \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{T_2 - T_1}{2} \cdot \cos \left[ \frac{\pi(z - z_1)}{z_2 - z_1} \right], \quad (3)$$

где  $T_1$  - скорость почвообразования, мм/год;  $T_2$  - верхний предел эрозионных потерь почвы, мм/год;  $z$  - мощность почвы (м);  $z_1$  - минимально допустимая;  $z_2$  - оптимальная;  $z$  - фактическая; число  $\pi = 3,14$  при расчете в радианах или  $180^\circ$  при расчете в градусной мере. Главное достоинство метода заключается в возможности планирования постоянного снижения значений  $T$  во времени в зависимости от эрозионной "сработки" почвенного профиля. Однако, ключевое понятие метода -

корнеобитаемый слой почвы во многом абстрагировано от почвенно-гео-  
нетических представлений и не позволяет учитывать качество почвен-  
ного ресурса. Помимо этого, трудно согласиться с положением, когда  
скорость формирования почвенного профиля принимается постоянной,  
вне зависимости от его мощности.

Одновременно с расчетной методикой (3) на Украине был разрабо-  
тан алгоритм вычисления ДЭП, основанный на модели рационального ис-  
пользования почвенных ресурсов (Швебс, Лисецкий, 1983). Этот подход  
предполагает использование критерия - оптимальные запасы почвенного  
ресурса, т.е. позволяет учесть не только количественную, но и ка-  
чественную сторону ресурса.

Превышение исходных запасов почвенного ресурса над оптимальны-  
ми позволяет в течение контролируемого периода времени допускать не-  
сбалансированность почвособразованием результатов проявления водно-  
эрозионного процесса. В этом случае ДЭП -  $\Delta N_{Г(доп)}$  за интервал  
времени  $(t_1 - t_2)$  могут быть рассчитаны по формуле:

$$\Delta N_{Г(доп)} = \frac{[(N_{Г(опт)} - (N_{Г(исх)})](e^{-bt_2} - e^{-bt_1})}{\Gamma_{0-10} \cdot p(t_2 - t_1)}, \quad (4)$$

где  $\Gamma_{0-10}$  - содержание гумуса в смыаемом слое почвы, %;  $p$  - коэффи-  
циент превышения содержания гумуса в твердом стоке по сравнению с  
исходным значением (изменяется от 1,3 до 2,4);  $b$  - параметр, завися-  
щий от экологических ограничений: возможности развития оврагов, ско-  
рости заиления водоемов, ухудшения качества воды и др. Строгое нор-  
мирование параметра  $b$  затруднительно, т.к. по своей сути это подвиж-  
ный показатель, зависящий от региональных экологических и социально-  
экономических приоритетов использования отдельных видов природных  
ресурсов. Его установление возможно экспертным путем либо с помощью  
балльных шкал. Таким образом, ДЭП должны рассчитываться в зависи-  
мости от конкретных почвенных характеристик, сложившейся либо пер-  
спективной структуры севооборота на конкретные периоды времени. В  
первые 10 лет при средних для Украины значениях исходного запаса  
почвенного ресурса и  $b = 0,005$  ежегодные допустимые потери почвы  
(т/га) составят для темно-серых лесных почв - 3,4; черноземов типич-  
ных - 6 (среднемощные) и 10 (мощные); черноземов обыкновенных - 8,5  
(мощные), 5 (среднемощные), 2,8 (маломощные); черноземов южных - 1.  
Для рассматриваемого случая целесообразно сформулировать задачу  
стабильного поддержания качества почвенного ресурса, для чего управ-  
ляющие воздействия должны быть синхронизированы с динамикой ДЭП,  
задаваемой уравнением (4). Этому условию соответствует уравнение:

$$\Delta N_{Г(доп)}(p \cdot N_{Г(опт)} + \Gamma_{0-10} - N_{Г(исх)}(\Delta \Gamma_{пр} - \Delta \Gamma_{р} - \Delta \Gamma_{мн})) - \Gamma_{0-10} \Delta N_{Г(опт)} \approx 0. \quad (5)$$

$H_{\Gamma}$  - мощность гумусового горизонта, мм;  $\bar{\Gamma}$  - запасы гумуса в нем;  
 $\Delta H_{\Gamma}$  - изменение мощности  $H_{\Gamma}$  в результате почвообразования -  
 (п) и эрозии -  $\Delta H_{\Gamma(\text{доп})}$ , мм/год;  $\Delta \bar{\Gamma}_{\text{пр}}$  - приходная составляющая  
 процесса гумусообразования за счет растительных остатков и удобре-  
 т/га;  $\Delta \bar{\Gamma}_{\text{мн}}$  - минерализация пассивного гумуса, т/га;  $\Delta \bar{\Gamma}_{\text{р}}$  - от-  
 чельная минерализация гумуса, определяемая структурой севообо-  
 и уровнями урожая, т/га;  $\bar{\Gamma}_{0-10}$  и  $\Gamma^*$  - запасы (т/га) и содержа-  
 (%) гумуса в сменяемом слое почвы соответственно;  $\gamma$  - объемная  
 гумусового горизонта, г/см<sup>3</sup>.

После некоторых упрощений и перехода к пахотному горизонту чер-  
 выных почв расчет количества органических удобрений (Д, т/га. в  
 компенсирующего потери качества почвы под влиянием допустимого  
 и принятой системы земледелия, может быть осуществлен через  
 уравнение:  $D = \Delta \bar{\Gamma} \cdot K_{\Gamma}''$ , где  $K_{\Gamma}''$  - коэффициент гумификации органичес-  
 удобрений;  $\Delta \bar{\Gamma}$  - средняя годовая величина дефицита гумуса (т/га),  
 которая вычисляется по уравнению баланса:

$$\bar{\Gamma} = 0,1\gamma \cdot \bar{\Gamma}^* (14,2 \Delta H_{\Gamma(\text{доп})} - \Delta H_{\Gamma(\text{п})}) + 0,02\gamma \bar{\Gamma}^* - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K'_{\Gamma} A_j - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 0,009 N_j +$$

$$+ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_{\text{рj}} Y_j, \quad (6)$$

$\gamma$  и  $\Gamma^*$  - плотность сложения (г/см<sup>3</sup>) и содержание гумуса (%) в  
 данном горизонте;  $\Delta H_{\Gamma(\text{доп})}$  и  $\Delta H_{\Gamma(\text{п})}$  - ДЭПП и скорость формирова-  
 гумусового горизонта, мм/год;  $A_j$  - количество растительных ос-  
 тков, поступающих в  $j$ -й год;  $K'_{\Gamma}$  - коэффициент гумификации расти-  
 тельных остатков;  $N$  - количество азота, вносимого в составе мине-  
 ральных удобрений, кг/га;  $Y$  - урожай основной продукции, ц/га;  $K_{\text{р}}$  -  
 коэффициент расхода азота гумуса;  $n$  - период ротации севооборота.

Зависимость скорости почвообразования от мощности гумусового  
 горизонта может быть получена из связи  $H_{\Gamma} = f(t)$ . В частности, для  
 черноземов и темно-каштановых почв такая зависимость имеет  
 следующий вид (Лисецкий, 1991):

$$H_{\Gamma} = 850 (1 - 0,905 \cdot e^{-0,00024 t}),$$

$H_{\Gamma}$  - мощность гумусового горизонта, мм;  $t$  - годы (0 + 10000). За-  
 висимость скорости почвообразования ( $\Delta H_{\Gamma(\text{п})}$ ) от степени сформирован-  
 ности почвенного профиля ( $100 \cdot H_{\Gamma} / H_{\text{несм.}}$ ) характеризуют оценки:

$H_{\text{несм.}}$ (%)	90	80	70	60	50	40	30	20	10
$\Delta H_{\Gamma(\text{п})}$ , мм/год	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18