

УДК 551.3.053

## ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОЧВЫ

*Иванова А.В.*

При создании любой модели стремятся к упрощению условий реального мира. Снижение сложности системы осуществляется за счет выбора основополагающих аспектов и пренебрежения случайными деталями. Модель, приблизительно отражающая действительность, с одной стороны, должна оставаться достаточно простой для понимания и использования, с другой, она должна быть сложной в такой степени, чтобы адекватно отражать исследуемую природную систему [1].

Знания о неопределенности модели очень существенны для моделирования процесса эрозии почв. Они обеспечивают важную информацию для процесса параметризации модели. Неопределенность модели может быть обусловлена высокой чувствительностью выхода модели к точности назначения входных параметров.

Анализ чувствительности модели является инструментом, широко используемым для гидрологического и эрозионного моделирования. Он может быть использован на трех этапах. Первый этап – в течение формулирования течения процесса и конструирования модели, когда изучается поведения уравнений при изменении значений входных параметров. Второй этап – возможность использования анализа модели в процессе калибровки, когда он позволяет установить параметры. Это существенно, так как ошибки в параметризации – один из первичных источников неопределенности модели. И, в-третьих, анализ чувствительности модели может быть использован с целью определения последствий ошибок при введении параметров для выхода модели [2].

Выделяют методы анализа модели, при которых изменяется отдельный параметр, а выход модели проверяется, и такие как, например, Monte Carlo, при котором изменяется случайным образом группа параметров. При этом допускается, что связи между параметрами модели линейны, они не коррелируют между собой и могут быть выбраны случайно из вероятных распределений величин. В результате определяется диапазон неопределенности модели, возможные вариации выхода [2].

В настоящее время существует достаточное количество моделей, отображающих процесс водной эрозии почв. Все они в той или иной степени стремятся приблизить моделируемый процесс к реальной системе. Одной из наиболее обоснованных моделей смыва почвы в настоящее время является логико-математическая модель, разработанная в 70-е годы профессором Швевсом Г.И. В ее основу положена зависимость почвенных потерь от рельефных условий и гидрометеорологического фактора, который отражает эродирующее воздействие капель дождя и формирующегося стока на почву [3]. В последующие годы логико-математическая модель смыва почвы претерпела существенные изменения, касающиеся, главным образом, гидрометеорологического и рельефного факторов.

Современный модифицированный вариант логико-математической модели смыва почвы представляет собой эмпирическую физико-статистическую модель эрозионно-аккумулятивного процесса. Одно из основных расчетных выражений модели ливневого смыва имеет вид [3]:

При  $L > L_a$

$$W_a(L) = K_{ГМ} f_p f_a \left[ 1,5 \bar{j}_R(L_a) L_a^{0,5} + j_R(L) L \frac{dI^m(L)}{dL} + I^m(L) L \frac{dj_R(L)}{dL} + j_R(L) I^m(L) L \frac{d(f_p f_a)}{dL} \right]$$

где  $W_a(L)$  – модуль ливневого смыва почвы (т/га) на расстоянии  $L$  (м) от водораздела;  $L_a$  – длина «зоны активного наносообразования», примыкающей к водоразделу (м);  $K_{ГМ}$  – гидрометеорологический фактор ливневого смыва почвы;  $f_p$  – фактор растительности (безразмерный);  $f_a$  – фактор специальных агротехнических противоэрозионных мероприятий, таких, как лункование, бороздование, щелевание, мульчирование и т. п. (безразмерный);  $j_R(L)$  – характеристика относительной смываемости почвы, причем  $j_R(L) = j_{R0} k_R(L)$ , (где  $j_{R0}$  – значение характеристики относительной смываемости для незэродированной почвенной разности (на водоразделе),  $k_R(L)$  – коэффициент, учитывающий влияние степени эродированности почвы);  $L_a$  – рабочая длина зоны активного наносообразования (м), в качестве которой с целью учета изменения факторов эрозионного процесса вниз по склону принимается обеспечивающий максимальное значение первого слагаемого в квадратных скобках выражений либо приводораздельный, либо примыкающий к расчетному створу участок склона, длиной  $L_a$ ;  $I(L)$  – уклон склона ( $^{\circ}/_{00}$ );  $m$  – показатель степени. Черта над символом означает осреднение.

Данная модель легла в основу расчетов эрозионных потерь почвы в компьютерной системе (КС) «Фермер», разработанной на кафедре физической географии и природопользования геолого-географического факультета ОНУ и организованной по модульному принципу. Каждый модуль ответственен за выполнение определенной операции.

КС «Фермер» дает широкие возможности изменения входных параметров в зависимости от конкретных условий и целей исследования. Некоторые из них являются сомножителями в основных выражениях модели смыва почвы и потому степень их влияния на результат расчета предсказуема. Другие параметры, такие, как шаг расчета по профилю максимальная средняя интенсивность за десятиминутный период, характер обработки почвы и количество растительных остатков, оказывают на результат опосредованное влияние, представляя некоторую неопределенность выхода модели. В связи с этим представляется интересным выполнить оценку чувствительности модели к изменению этих параметров.

В данном количественном эксперименте использовалась методика анализа модели, которая заключалась в том, что изменялось значение одного входного параметра при постоянных остальных, и проверялся выход модели.

Объектом исследования выбран микроводосбор Лог Плоский, расположенный в пределах бассейна реки Бутени и являющийся верхней частью балки Лучки. Поверхность участка плоская. Площадь 0,085 км<sup>2</sup>. Почвы темно – серые лесные несмытые и слабосмытые в нижних частях склона. Средний уклон 1,7 %. Участок полностью распахивается. Наиболее часто на его поверхности высевают озимую пшеницу, сахарную свеклу, кукурузу на зерно [4]. Выбор объекта исследований обусловлен наличием уникальных данных наблюдений за факторами склонового эрозионно-аккумулятивного процесса на Богуславской полевой экспериментальной гидрологической базе УкрНИГМИ.

Для расчетов нами было отобрано шесть различных по интенсивности и слою дождей, зафиксированных на Лог Плоском в разные годы, для которых подсчитывались значения гидрометеорологического фактора, средней максимальной интенсивности ливня за 10-ти минутный интервал времени. Использовались данные о предшествующем увлажнении почвы, характере поверхности территории, сельскохозяйственных культурах [4](табл. 1).

Таблица 1

## Характеристики дождей

Дата события	Культура	Предшествующая влажность почвы, мм	$i_{10 \text{ макс}}$ мм/мин	$K_{\text{ГМ}}$	Расчетный смыв почвы, т/га
13.06.70	Озимая пшеница	137	1.12	1.30	0.456
30.05.73	Озимая пшеница	133	0.64	1.05	0.342
16.08.80	Кукуруза	114	0.53	0.20	0.405
16.09.81	Пар	84	0.64	0.30	0.256
02.07.82	Озимая пшеница	78	2.40	1.10	0.402
06.08.87	Многолет. травы	76	0.77	1.10	0.111

Анализ влияния изменения шага расчета по профилю (табл. 2) показал, что полученные значения смыва почвы непропорциональны изменению этого параметра, т.е. с увеличением шага расчетные величины смыва почвы могут увеличиваться и уменьшаться. Это объясняется тем, что на склоне при увеличении шага расчета происходит осреднение характеристик подстилающей поверхности – уклона склона, шероховатости поверхности и т.д., что оказывает значительное влияние на выход модели. Разница между полученными максимальными и минимальными значениями составляет от 37 до 63 % для разных ливней.

Таблица 2

## Результаты оценки влияния шага расчета по профилю

Дата события	Расчетный смыв почвы (т/га) при шаге, равном			
	10 м	25 м	50 м	100 м
13.06.70	0.379	0.354	0.456	0.720
16.08.80	0.244	0.319	0.405	0.667
16.09.81	0.189	0.150	0.256	0.395
02.07.82	0.395	0.387	0.400	0.612

С увеличением средней максимальной интенсивности ливня за десятиминутный период времени, оказывающей влияние на длину зоны добегания волны стока, величины вначале смыва почвы возрастали, а затем стабилизировались или даже уменьшались, что объясняется специфичностью значения данного параметра в основных выражениях модели (табл. 3). При этом разница между максимальными и минимальными значениями расчетного смыва почвы составила не более 40 %. Средняя максимальная интенсивность ливня за 10-ти минутный интервал времени величиной менее 0,5 мм /мин характерна для ливней, не образующих смыва почвы. А разница между величинами смыва почвы при значениях  $i_{10 \max}$  0,5 – 3,0 не более 10%.

Таблица 3

## Результаты оценки влияния средней максимальной интенсивности ливня за десятиминутный интервал времени

Дата события	$i_{10 \max}$ мм/мин	Смыв при $i_{10 \max}$ факт. т/га	Смыв почвы (т/га) при $i_{10 \max}$ (мм/мин), равном						
			0.1	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
13.06.70	1.12	0.456	0.327	0.405	0.431	0.460	0.458	0.444	0.459
16.08.80	0.53	0.405	0.284	0.357	0.404	0.442	0.464	0.471	0.475
16.09.81	0.64	0.256	0.221	0.232	0.289	0.256	0.252	0.269	0.290
02.07.82	2.40	0.400	0.282	0.343	0.365	0.387	0.386	0.394	0.381
30.05.73	0.64	0.342	0.254	0.313	0.335	0.352	0.350	0.337	0.346
06.08.87	0.77	0.111	0.081	0.092	0.106	0.110	0.116	0.106	0.111

Расчеты для оценки влияния характера обработки почвы на конечный результат проводились с использованием данных ливня, выпавшего на открытую поверхность (16.09.81), и они показали, что данный параметр оказывает незначительное влияние на выход модели (табл. 4).

Проведенные численные эксперименты показали высокую интенсивность мульчирования как противоэрозионного мероприятия. При внесении 1 тонны мульчи расчетный смыв почвы уменьшается на 55 % по сравнению со смывом при отсутствии мульчи. В целом при изменении количества растительных остатков от 0 до 6 т/га смыв уменьшился почти в 10 раз (табл. 5).

Таблица 4

## Результаты оценки влияния характера обработки почвы

Характер обработки почвы	Расчетные величины смыва почвы, т/га
Вспашка поперек склона	0.256
Вспашка вдоль склона	0.301
Вспашка с культивацией поперек склона	0.307
Вспашка с культивацией вдоль склона	0.300

Таблица 5

## Результаты оценки влияния количества растительных остатков

Количество растительных остатков, т/га	Смыв почвы, т/га
0	0.256
1	0.142
2	0.087
4	0.044
6	0.026

Таким образом, проведенный анализ модели позволил, во-первых, определить степень влияния входных параметров на результат, а, во-вторых, определить точность назначения исходных величин. Данная модель смыва почвы в различной степени чувствительна к изменению входных параметров. Наиболее значительны вариации результатов при изменении входных значений шага расчета и количества растительных остатков. Влияние средней максимальной интенсивности ливня за десятиминутный интервал времени, как параметра, определяющего длину зоны нарастания интенсивности наносообразования, несущественно, что позволяет для расчетов рекомендовать среднее значение этого параметра для смывообразующих ливней. Результаты данного исследования показали, что в качестве такого значения можно использовать  $i_{10 \text{ max}} = 1,0$  мм/мин. Влияние характера обработки поверхности весьма несущественно. Для склонов длиной 300 – 400 метров рекомендуется использовать значение шага расчета по профилю 50 м.

## Список литературы

1. Гидрогеологическое прогнозирование / Под ред. М.Г. Андерсона и Т.П. Берта. – Москва: Мир, 1988. – 732 с.
2. Вейх А., Квинтон Дж. Анализ чувствительности модели EUROSEM с использованием Monte Carlo, приближение 1: гидрологические, почвенные и параметры растительности / Hydrological Process, 2000. – № 14. – С. 915 – 926.
3. Светличный А.А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва почвы // Почвоведение, 1999. – №8. – С. 1015 – 1023.
4. Материалы наблюдений Богуславской полевой экспериментальной гидрологической базы. – Киев, 1970 – 1987. – Вып. 5 – 22.