

Российская академия сельскохозяйственных наук  
Государственное научное учреждение  
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЗАЩИТЫ ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ

**СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ  
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СМЫВА ПОЧВЫ  
С ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ  
(при весеннем снеготаянии)**

УДК: 631.459.2.57

Сухановский Ю.П., Пискунов А.Н. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СМЫВА ПОЧВЫ С ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ (при весеннем снеготаянии). - Курск: ВНИИЗиЗ-ПЭ РАСХН, 2006.- 16 с.

Описывается стохастическая модель смыва почвы при весеннем снеготаянии, на основе которой разработана компьютерная программа для проведения численного моделирования смыва почвы для однородных склонов и различных сценариев их использования. Приводятся примеры моделирования для некоторых случаев.

Модель с программным обеспечением предназначена для специалистов, занимающихся исследованием эрозионных процессов и решением прикладных задач, связанных с оценкой среднесуточных потерь почвы и потерь почвы с разной вероятностью превышения.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Детерминированное уравнение смыва почвы за период снеготаяния.....	3
2. Стохастическая модель смыва почвы.....	7
3. Примеры моделирования смыва почвы со склона.....	8
Заключение.....	1
Литература.....	1
Приложение.....	2
	1
	3

## ВВЕДЕНИЕ

Эрозионный процесс, протекающий за период весеннего снеготаяния, является стохастическим. Следовательно, для адекватного описания этого процесса необходимы соответствующие стохастические модели. Исследование эрозии почвы, как стохастического процесса, представляет собой большой интерес, как с научной точки зрения, так и с практической. Это обусловлено, в частности, тем, что при проектировании противоэрозионных мероприятий проводятся расчеты среднемноголетнего смыва почвы, то есть среднего значения смыва за год. В настоящее время принимается, что это значение соответствует той или иной обеспеченности для слоя стока (Чеботарев и др., 1979; Ванин, Сурмач, 1985; Герасименко, Кумани, 2000), что еще должно быть обосновано. Стохастическая модель позволяет оценивать распределение вероятностей для величины смыва почвы за год, следовательно, и оценивать различные параметры этого распределения, в частности, и среднемноголетнее значение смыва почвы.

### 1. Детерминированное уравнение смыва почвы за период снеготаяния

Для произвольной точки склона смыв почвы за период весеннего снеготаяния определяется уравнением

$$m(x) = a_0 C_1 K_{exp,er} K_{man,er} \Phi_{sm} (W - W_{cr}), \quad (1)$$

где:

- $m(x)$  – смыв почвы на расстоянии  $x$  от верха склона, кг/м<sup>2</sup>;
- $a_0$  – безразмерный коэффициент, учитывающий гидротермические условия проявления эрозии почвы;
- $C_1 = 0,28$ ;
- $K_{exp,er}$  - коэффициент, учитывающий влияние экспозиции склона на эрозию почвы, безразмерный;
- $K_{man,er}$  - коэффициент, учитывающий влияние противоэрозионных приемов на эрозию почвы, безразмерный;
- $W$  - объем стока за период снеготаяния на расстоянии  $x$  от верха склона, нормированный на единицу ширины склона, м<sup>2</sup>;
- $W_{cr}$  - нормированный критический объем стока, который не вызывает эрозию почвы, м<sup>2</sup>.

Функция  $\Phi_{sm}$  определяется следующим выражением

$$\Phi_{sm} = 5,46 \times 10^{-7} \frac{D_a^{14/9} \omega \rho_a}{K_{v,veg}^{10/3} V_{\Delta cr1,s}^{10/3}} \times \frac{K_{v,dir}^{7/3} \sin^{7/6}(\theta)}{n^{7/3}}, \text{ кг/м}^4. \quad (2)$$

где:

- $D_a$  - средний диаметр водопрочных почвенных агрегатов, м;
- $\omega = 10 \text{ сек}^{-1}$  – частота пульсаций скорости потока;
- $\rho_a$  - объемная плотность почвенных агрегатов,  $\text{кг/м}^3$ ;
- $V_{\Delta cr1,s}$  - донная первая критическая (неразмывающая) скорость потока воды для почвы без растительности, м/сек;
- $K_{v,veg}$  - коэффициент, учитывающий влияние растительности на неразмывающую скорость потока, безразмерный;
- $K_{v,dir}$  - коэффициент, учитывающий влияние направления обработки почвы на скорость потока, безразмерный;
- $n$  - коэффициент Маннинга;
- $\theta$  - Угол наклона склона в точке с координатой  $x$ .

Смыв почвы происходит, если  $W > W_{cr}$ . Величина  $a_0$  зависит от гидрографа стока. Например, для постоянного расхода воды  $a_0 = 1$ . Величина  $W_{cr}$  определяется объемом стока по замерзшей почве и объемом воды, когда скорость потока меньше критической скорости для уже оттаявшей почвы. В силу неопределенности значений  $a_0$  и  $W_{cr}$  эти величины рассматриваются как калибровочные параметры уравнения (1).

Вторая критическая скорость задается уравнением Ц.Е. Мирцхулавы (Мирцхулава, 1967) в модификации М.С. Кузнецова (Кузнецов, 1981)

$$V_{\Delta cr2,s} = 1,55 \sqrt{\frac{m_1 m_2 g}{\rho_w n_1} (1 - P) D_a (\rho_m - \rho_w) (\cos(\theta) - \sin(\theta))}, \text{ м/сек}, \quad (3)$$

где:

- $m_1 = 1,4$  - коэффициент, учитывающий наличие в потоке взвешенных наносов (Кузнецов, 1981), безразмерный;
- $m_2$  – безразмерный коэффициент, учитывающий наличие в почве “живых” корней растений с диаметром менее 1 мм (Кузнецов, 1981), принимается  $m_1 = 1$ ;
- $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  – ускорение гравитации;
- $\rho_w = 10^3 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды;
- $n_1 = 2,3$  для потоков воды в борозде (Кузнецов, 1981), безразмерный;
- $P$  – порозность почвенных агрегатов, безразмерная;
- $\rho_m$  – плотность минералов,  $\text{кг/м}^3$ ;

Первая и вторая критические скорости связаны соотношением (Кузнецов, 1981)

$$V_{\Delta cr2,s} = 1,4 V_{\Delta cr1,s} . \quad (4)$$

Для продольной обработки почвы  $K_{v,dir} = 1$ , для поперечной  $K_{v,dir} = 0,79$ . Значения коэффициентов Маннинга  $n$  и  $K_{v,veg}$  для различных агрофонов на период весеннего стока приводятся в табл. П.3 Приложения.

Значения коэффициентов  $K_{exp,er}$  и  $K_{man,er}$  учитывают влияние соответственно экспозиции склона и агротехнических приемов на отрыв и транспорт почвенных агрегатов и оцениваются одинаково. Рассмотрим процедуру оценки на примере коэффициента  $K_{man,er}$ . Его значение рассчитывается по формуле

$$K_{man,er} = K_{man,tot} / K_{man,run} , \quad (5)$$

где  $K_{man,run}$  - коэффициент изменения стока для рассматриваемого агротехнического приема по отношению к стандартным условиям (зябь, вспашка вдоль склона);  $K_{man,tot}$  - соответственно коэффициент изменения смыва почвы, которое обусловлено влиянием агротехнического приема на отрыв и транспорт почвенных агрегатов, а также и на слой стока. Значения  $K_{man,er}$  можно оценивать двумя способами. Первый способ – по данным синхронных измерений, проведенных на стоковых площадках. В этом случае величина  $K_{man,run}$  определяется отношением слоя стока с площадки с исследуемым приемом к слою стока с контрольной площадки (стандартные условия). Величина  $K_{man,tot}$  определяется аналогично, но отношением измеренных значений смыва почвы. Вторым способом – по литературным данным о влиянии приема на среднесуточный слой стока и смыв почвы. В этом случае величина  $K_{man,run}$  имеет тот же смысл, а величина  $K_{man,tot}$  определяет изменение среднесуточного смыва почвы при применении агротехнического приема. Используя данные (Герасименко, Кумани, 2000), в табл. П.2 и П.3 Приложения в качестве примера приводятся полученные по второму способу значения коэффициентов  $K_{exp,er}$  и  $K_{man,er}$ . Аналогичным образом могут быть получены значения коэффициента  $K_{man,er}$  и для других приемов.

*Калибровка уравнения (1).* Величины  $a_0$  и  $W_{cr}$  являются калибровочными параметрами, зависящими от гидротермических условий формирования стока воды и смыва почвы. Эти условия изменяются из года в год и зависят от климатических условий. Оценка средних значений величин  $a_0$  и  $W_{cr}$  проводится по данным измерений на стоковых площадках из условия наилучшего совпадения рассчитанных и измеренных значений смыва почвы. Например, для Центрально-Черноземного региона и прилегающих территорий  $a_0 = 1,8$  и  $W_{cr} = 1 \text{ м}^2$ . В этом случае точность расчета смыва почвы за один период снеготаяния приблизительно равна 30%, а точность среднесуточного смыва – 20%.

*Профиль склона* задается полиномом третьей степени

$$H = H_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 , \quad (6)$$

здесь  $H$  – горизонтальное превышение на расстоянии  $x$  от верха склона, м;  $H_0$  – горизонтальное превышение верха склона, м;  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  – некоторые коэффициенты. Зависимость (6) позволяет описывать склоны разной формы. Для определения значений коэффициентов в (6) задается ряд значений  $\{H_i\}$  для харак-

терных точек профиля склона с координатами  $\{x_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_x$ . По этим двум рядам с помощью метода наименьших квадратов определяются значения для  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ . Для этого используются стандартные процедуры построения уравнений регрессии. Из (6) определяется тангенс угла наклона

$$\operatorname{tg}(\theta) = -\frac{dH}{dx} = -(a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2). \quad (7)$$

Из (7) для произвольного расстояния  $x$  определяется значение угла  $\theta$ . Для более точного аналитического описания сложных профилей, как показано в работе (Гаршинев, 1987), лучше использовать логистическую функцию. Профиль склона можно задавать также в табличной форме с использованием, например, линейной интерполяции.

## 2. Стохастическая модель смыва почвы

Единственной случайной величиной, входящей в уравнение (1), является объем стока  $W$ , который выражается через слой стока  $Y$  зависимостью

$$W = Yx. \quad (8)$$

Для слоя стока разработаны карты и различные поправочные коэффициенты, например (Чеботарев и др., 1979; Ванин, Сурмач, 1985; Барабанов, 1993; Герасименко, Кумани, 2000; Кузнецов, Демидов, 2002). Обозначим через  $Y_0$  картированный слой стока с зяби или с уплотненной пашни (озимые, многолетние травы, стерня), а через  $k_p$  коэффициент перехода от картированного слоя стока к слою стока с обеспеченностью (вероятностью превышения)  $P$ . Тогда слой стока с обеспеченностью  $P$  запишется

$$Y_{p,0} = k_p Y_0. \quad (9)$$

А слой стока со склона определяется соотношением

$$Y_p = K_{exp,run} K_{man,run} Y_{p,0} = K_{exp,run} K_{man,run} k_p Y_0, \quad (10)$$

здесь  $K_{exp,run}$  и  $K_{man,run}$  – коэффициенты, учитывающий соответственно влияние экспозиции и агротехнических приемов на сток. В качестве примера в табл. П.6 Приложения приводятся значения  $k_p$ .

Слой стока  $Y$  является непрерывной случайной величиной, изменяющейся на интервале  $(0, Y_{max})$ . Обозначим через  $f(Y)$  плотность распределения вероятности для слоя стока. Тогда функция распределения вероятности

$$F(Y) = \int_0^Y f(Y)dY = 1 - \int_Y^{Y_{max}} f(Y)dY = 1 - P. \quad (11)$$

Для случайной величины  $\gamma$ , равномерно распределенной на интервале  $(0,1)$ , выполняется равенство (Соболев, 1973)

$$F(Y) = \gamma. \quad (12)$$

С учетом (11) это равенство запишется

$$P = 1 - \gamma. \quad (13)$$

Численное моделирование слоя стока проводится следующим образом. Задаются картированный слой стока  $Y_0$  и коэффициенты  $K_{exp,run}$  и  $K_{man,run}$ , учитывающие экспозицию склона и агротехнические приемы. Далее разыгрывается случайная величина  $\gamma$  и из равенства (13) определяется обеспеченность слоя стока  $P$ . Зная значение  $P$ , по данным табл.6 Приложения, используя линейную интерполяцию, рассчитывается значение коэффициента  $k_p$ . По уравнению (10) рассчитывается слой стока.

Алгоритм численного моделирования смыва почвы сводится к следующему. Для конкретного склона задаются почвенные характеристики, профиль склона и сценарий использования этого склона (севооборот и агротехнические приемы, которые влияют на сток и смыв почвы). Также задается период моделирования (количество лет). Далее для каждого года, используя метод Монте-Карло (Соболь, 1973), разыгрывается слой стока. Зная слой стока  $Y$ , по уравнениям (8) и (1) рассчитывается распределение по длине склона объема стока и смыва почвы. Также рассчитывается усредненный по длине склона смыв почвы. В результате получаются следующие ряды рассчитанных значений:  $\{m_{i,j}\}$  - смыв почвы на расстоянии  $x_i$  за  $j$ -й год;  $\{Y_j\}$  - слой стока за  $j$ -й год. Из данных ряда  $\{m_{i,j}\}$  рассчитывается распределение по длине склона среднемноголетнего смыва почвы  $\{m_{i,av}\}$  и ряд значений среднего смыва почвы со склона за год  $\{M_j\}$ . В дальнейшем проводится статистическая обработка ряда  $\{M_j\}$ : оцениваются среднее значение и распределение вероятности превышения (обеспеченности) смыва почвы за год.

Для проведения численного моделирования разработана компьютерная программа на языке Visual-Basic в среде Excel. Описание исходных данных и результатов счета приводится в Приложении.

### 3. Примеры моделирования смыва почвы со склона

Если специально не оговорено, то в приводимых ниже примерах моделирование проведено для склона восточной экспозиции с уклоном 5% и длиной 300 м без применения противоэрозионных приемов и для обработки почвы вдоль склона. Моделирование проведено для условий Центрально-Черноземного региона (почва – чернозем). При расчетах использовались значения параметров, которые представлены в таблицах Приложения.

*Пример №1. Обеспеченность смыва почвы.* На практике при расчете среднемноголетнего смыва почвы принимается, что его значение соответствует некоторой обеспеченности слоя стока. Например, в работе (Ванин Д.Е., Сурмач, 1985) эта обеспеченность равняется 25%, а в работе (Чеботарев и др., 1979) - 50%. Такой разброс объясняется отсутствием многолетних данных измерений стока и смыва почвы. На рис. 1 представлены результаты численного моделирования смыва почвы со склона для нескольких агрофонов. Из полученных результатов следует, что среднемноголетний смыв почвы (относительный смыв равняется 1) соответствует следующим обеспеченностям: зябь – 36%, озимые – 40%, почвозащитный севооборот – 20%. Поскольку величина смыва почвы линейно зависит от слоя стока (уравнение (1)), то для зяби среднемноголетний



смыв почвы определяется слоем стока с обеспеченностью 36%, а для уплотненной пашни – 40%. Следовательно, принятие обеспеченности 25% (Ванин Д.Е., Сурмач, 1985) приводит к завышению смыва почвы, а принятие 50% (Чеботарев и др., 1979) - к занижению среднееголетнего смыва почвы. Для севооборотов, включающих в себя зябь и уплотненную пашню, распределение вероятности превышения для величины смыва почвы будет зависеть от соотношения в севообороте зяби и уплотненной пашни.

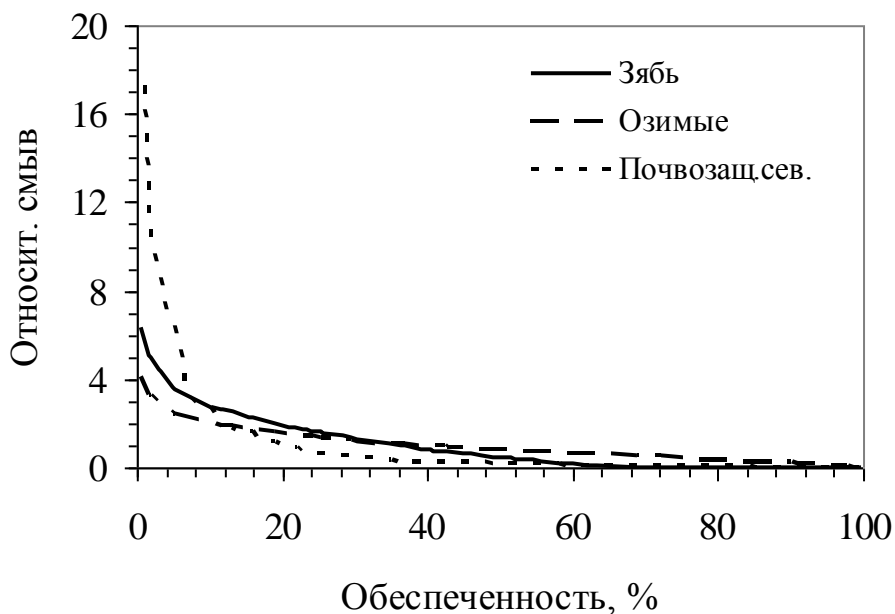


Рис.1. Обеспеченность смыва почвы за период снеготаяния (относительный смыв – смыв почвы, нормированный на среднееголетнее значение)

Заметим, что распределение вероятности превышения для величины смыва почвы за период весеннего снеготаяния для других климатических условий будет другим, что обусловлено, в частности, другим распределением вероятностей для слоя стока.

*Пример №2. Влияние агрофона на смыв почвы.* В табл. 1 представлены результаты численного моделирования смыва почвы для разных агрофонов. Из этих данных следует, что для зяби вероятность того, что будет смыв почвы, равняется 63%. То есть, в среднем примерно из 10 лет смыв будет отсутствовать 4 года. Для уплотненной пашни (зябь, многолетние травы) смыв будет практически каждый год, но величина смыва часто будет такой малой, что практически можно считать это как отсутствие смыва почвы.

#### Описание севооборотов

Зернопропашной	Почвозащитный
----------------	---------------

1.Пар	1.Многолетние травы
2.Озимая пшеница	2.Многолетние травы
3.Сахарная свёкла	3.Многолетние травы
4.Яровая пшеница	4.Озимая пшеница
	5.Овес

Таблица 1. Результаты численного моделирования

Агрофон	Смыв почвы		Обеспеченность смыва, %	
	Среднемного- летний, т/га год	Относитель- ный*	Среднемного- летнего	> 0
Зябь	0,90	1	36	63
Озимые	0,20	0,22	40	100
Многолетние травы	0,03	0,03	40	100
Севооборот: зернопро- пашной почвозащит- ный	0,71	0,78	29	76
	0,23	0,26	20	94

\* - по отношению к зяби.

*Пример №3. Влияние формы склона на смыв почвы.* Проведено численное моделирование для склона длиной 300 м и с вертикальным превышением 15 м (средний уклон равен 5%) и четырех различных профилей склона: прямой, выпуклый, вогнутый и выпукло-вогнутый. Профили склона представлены на рис. 2. По результатам моделирования для почвы в состоянии зяби рассчитаны относительные потери почвы со склона (потери почвы с прямого склона приняты за 1). В табл. 2 представлены полученные значения относительных потерь почвы, а также для сравнения приводятся значения из работы (Герасименко, Кумани, 2000). Из сопоставления данных табл. 2 с рис. 2 следует, что чем больше профиль склона отличается от прямого, тем больше изменяется значение относительного смыва почвы.

Таблица 2. Относительный среднемноголетний смыв почвы для разных форм склона

Данные	Форма профиля склона			
	Прямая	Выпуклая	Вогнутая	Выпукло - вогнутая
Стохастическая модель	1,0	1,78	0,49	1,0

Герасименко, Кумани (2000)	1,0	1,17	0,86	1,06
-------------------------------	-----	------	------	------

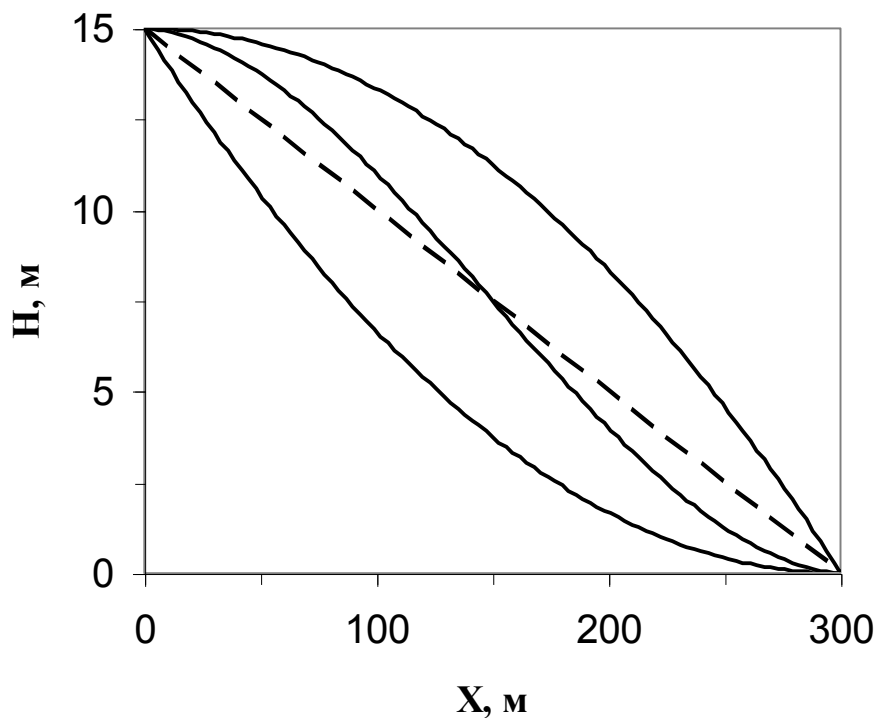


Рис.2. Профили склона: зависимость вертикального превышения  $H$  от расстояния от верха склона  $X$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана стохастическая модель смыва почвы за период весеннего снеготаяния. Для задания исходных данных используется минимум информации, которая приводится в литературных источниках.

2. На языке Visual Basic разработано программное обеспечение для численного моделирования смыва почвы с однородного склона для различных сценариев его использования. Результатом моделирования является распределение вдоль склона среднемноголетнего смыва почвы, а также распределение вероятности превышения для величины потерь почвы со склона за период стока.

3. По сравнению с существующими методами расчета разработанная модель позволяет более объективно оценивать среднемноголетние потери почвы, что весьма важно для прогнозирования смыва почвы при проектировании противоэрозионных мероприятий на пахотных землях.

## Литература

1. Барабанов А.Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград.ВНИИАЛМИ. 1993.156 с.
2. Ванин Д.Е., Сурмач Г.П. (редакторы) Методические рекомендации по проектированию комплексов противоэрозионных мероприятий на расчетной основе. Курск. ВНИИЗиЗПЭ. 1985. 167 с.
3. Гаршинев Е.А. Применение логистической функции как универсальной зависимости для описания продольного профиля склонов разной формы //Бюлл. ВНИИАЛМИ. 1987. Вып. 3(52). С.51-54.
4. Герасименко В.П., Кумани М.В. Рекомендации по регулированию почвенно-гидрологических процессов на пахотных землях/Под ред. член-корр. РАСХН В.М. Володина. Курск. 2000. 108 с.
5. Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 135 с.
6. Кузнецов М.С., Демидов В.В. Эрозия почв лесостепной зоны Центральной России: моделирование, предупреждение и экологические последствия. М.: Изд-во Полтекс, 2002. 184 с.
7. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М.: Колос, 1967. 179 с.
8. Мирцхулава Ц.Е. Методические рекомендации по прогнозу водной (дождевой) эрозии почв. М., 1978. 61 с.
9. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука. 1973. 312 с.
10. Чеботарев А.И., Караушев А.В., Боголюбова И.В., Бобровицкая Н.Н., Серпик Б.И., Тумановская С.М. (редакторы) Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР (ВСН 04-77). Л.: Гидрометеиздат. 1979. 62 с.

## 1. ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исходные данные для конкретного склона задаются в Excel в виде табл.

П.1.

Таблица П.1. Структура исходных данных

№ строки	№ столбца					
2	2	3	4	5	6	7
3	<b>ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ</b>					
4	<i>Для детерминированного уравнения смыва почвы</i>					
5	$a_0$	$C_1$	$W_{cr}, \text{ м}^2$			
6	1,8	0,28	1			
7	<i>Для критической скорости потока</i>					
8	$m_1$	$m_2$	$n_1$	$P, \%$	$\rho_m, \text{ Г/см}^3$	
9	1,4	1	2,3	40,1	2,65	
10	<i>Для функции <math>\Phi_{sm}</math></i>					
11	$D_a, \text{ мм}$	$\omega, \text{ 1/сек}$	$\rho_a, \text{ Г/см}^3$			
12	0,5	10	1,6			
13	<i>Для профиля склона</i>					
14	$H_0, \text{ м}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	Длина склона, м	$dx, \text{ м}$
15	15	-5,00E-03	-4,50E-04	1,0E-06	300	30
16	Номер экспозиции	3				
17	$Y_0, \text{ мм}$	40	65			
18	<i>Для севооборота (агрофон, тип и направление обработки почвы)</i>					
19	Период ротации, лет	4				
20	<i>Год в севообороте</i>	1	2	3	4	
21	Номер агрофона	1	2	1	1	
22	Номер типа обработки почвы	1	1	1	1	
23	Номер направления обработки	1	1	1	1	
24	Период моделирования, лет	100				
25	<i>Для таблиц</i>					
26	Nmax_exp	Nmax_probability	Nmax_direction	Nmax_veg	Nmax_man	
27	8	16	2	5	6	

Примечание. Переменные в этой таблице соответствуют переменным, которые ранее описаны в уравнениях. Описание остальных переменных приводится ниже.  $Y_0$  для зяби задается в столбце №3, а для уплотненной пашни в столбце №4.

При расчете используются также табличные значения нормативов о влиянии различных факторов на сток и смыв почвы. Описание этих нормативов приводится ниже в таблицах.

Таблица П.2. Данные для учета экспозиции склона

Экспозиция	С	С-В	В	Ю-В	Ю	Ю-З	З	С-З
Номер экспозиции	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{exp,run}$ (Герасименко, Кумани, 2000)	1,25	1,12	1,00	0,88	0,75	0,88	1,00	1,12
$K_{exp,er}$	0,66	0,85	1	1,19	1,57	1,19	1	0,85

Примечания. 1. Значения коэффициентов  $K_{exp,er}$  получены по данным (Герасименко, Кумани, 2000). 2. С – север, С-В – северо-восток, В – восток, Ю-В – юго-восток, Ю – юг, Ю-З – юго-запад, З – запад, С-З – северо-запад.

Таблица П.3. Значения коэффициентов Маннинга  $n$  и  $K_{v,veg}$  (Мирцхулава, 1978)

Агрофон	Номер агрофона	$K_{v,veg}$	$n$
Зябь	1	1,0	0,025
Стерня	2	1,5	0,030
Озимые	3	1,5	0,030
Многолетние травы: первого года, последующих лет	4	2,0	0,030
	5	2,5	0,035

Таблица П.4. Данные для учета обработок почвы

Обработка почвы	Номер типа обработки почвы	$K_{man,run}$ (Герасименко, Кумани, 2000)	$K_{man,er}$
Вспашка	1	1	1
Лункование	2	1,01	1,3
Прерывистое бороздование	3	1,04	1,4
Осеннее щелевание озимых и многолетних трав	4	0,71	1,1
Осеннее щелевание зяби	5	0,81	1,1
Мульчирование почвы соломой	6	0,80	0,7

Примечание. Значения коэффициентов  $K_{man,er}$  получены по данным (Герасименко, Кумани, 2000).

Таблица П.5. Данные для учета направления обработки почвы

Направление обработки почвы	Номер направления	$K_{v,dir}$
Вдоль склона	1	1
Поперек склона	2	0,79

Примечание. Значения  $K_{v,dir}$  получены по данным (Мирцхулава, 1978)

Таблица П.6. Значения коэффициентов  $k_p$  (обеспеченность стока) для чернозема обыкновенного ЦЧО (Барабанов, 1993)

Агрофон	Обеспеченность $P$ , %					
	0,01	0,1	1	5	10	20
Номер значения $P$	1	2	3	4	5	6
Зябрь	11,70	9,00	6,33	4,33	3,33	2,33
Уплотненная пашня	5,92	4,69	3,26	2,35	1,94	1,53

Продолжение табл. П.6

Агрофон	Обеспеченность $P$ , %				
	30	40	50	60	70
Номер значения $P$	7	8	9	10	11
Зябрь	1,67	1,07	0,67	0,33	0,00
Уплотненная пашня	1,22	1,02	0,82	0,71	0,61

Окончание табл. П.6

Агрофон	Обеспеченность $P$ , %				
	80	90	95	99	99,9
Номер значения $P$	12	13	14	15	16
Зябрь	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Уплотненная пашня	0,41	0,31	0,20	0,10	0,08

Примечание. Для других условий данные для коэффициентов  $k_p$  будут другие

Таблица П.7. Размерность таблиц нормативных данных

	Nmax_exp	Nmax_probability	Nmax_direction	Nmax_veg	Nmax_man
Таблица	П.2	П.6	П.5	П.3	П.4
Размерность таблицы	8	16	2	5	6

Примечание. Значения и размерность этих таблиц могут изменяться.

## 1. ОПИСАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СЧЕТА

Результаты счета выводятся в виде двух таблиц П.8 и П.9.

Таблица П.8. Результаты счета: средние значения для склона.

<b>РЕЗУЛЬТАТЫ СЧЕТА</b>					
Среднегодовой смыв почвы $M_{average}$ , $кг/м^2$ год	Год	Обеспеченность стока, %	Слой стока $Y$ , мм	Смыв почвы $M_{year}$ , $кг/м^2$	Относительный смыв почвы $M_{year}/M_{average}$
0,090867	1	13,0903902	120,8384	0,227455	2,503161
	2	40,4460487	42,08633	0,070812	0,779296
	3	24,2848339	81,88804	0,149981	1,650546
	4	62,5511932	9,832425	0,007635	0,084025
	5	3,14050317	210,3899	0,405579	4,463423
	6	90,0100632	0	0	0
	...	...	...	...	...
	100	23,1218987	84,95818	0,156087	1,717751

Примечание. Полученные ряды значений слоя стока и смыва почвы могут в дальнейшем анализироваться, используя методы математической статистики (в пределах Excel).

Таблица П.8. Результаты счета: распределение среднегодового смыва почвы по длине склона

Расстояние $X$ , м	Смыв почвы $m$ , $кг/м^2$ год
0	0
30	0,0067
60	0,0298
90	0,0639
120	0,1021
150	0,1366
180	0,1596
210	0,1640
240	0,1441
270	0,0960
300	0,0175

Примечание. Полученные ряды значений слоя стока и смыва почвы могут в дальнейшем анализироваться, используя методы математической статистики Excel или других программ.