

УДК 551.4.012 : 551.435.1

В. Д. ИВАНОВ

МЕТОД РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СМЫВА С ПАХОТНЫХ СКЛОНОВ В ЦЧО

Приводится формула расчета интенсивности современного смыва почв со склонов за время весеннего половодья, представляющая собой произведение показателя удельного смыва почв, работы воды, стекающей по склону, и ряда коэффициентов, учитывающих форму и экспозицию склона, механический состав, эродированность, карбонатность и солонцеватость почв, агрофон и выращиваемые культуры, защищенность почв от эрозии. По изменению мощности гумусового горизонта за известный период времени и по формуле определена интенсивность современной денудации на пахотных склонах ЦЧО в бассейне р. Дон, которая на восточном склоне Среднерусской возвышенности колеблется в пределах от 0,71 до 1,48 мм/год.

Настоящее сообщение — одна из попыток приближенной количественной оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на склонах по изменению мощности гумусового горизонта почв и по определению интенсивности смыва почв расчетным методом. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и свои недостатки. Сочетание способов позволяет с большей надежностью судить о достоверности количественных показателей, характеризующих единый процесс — эрозии и аккумуляции.

Первый способ заключается в выборе типичных продольных профилей склонов от водораздела до русла постоянных или временных водотоков, на которых закладывается необходимое количество почвенных разрезов. По изменению мощности гумусового горизонта ($A_1 + B_1$) определяются соответствующие показатели смыва и аккумуляции, а также количество транзитных наносов, попадающих в русла постоянных или временных водотоков. Этот способ основан на предположении о том, что до начала освоения склоновых земель скорость нормальной денудации компенсировалась скоростью процесса почвообразования. Существенный недостаток способа — отсутствие точной информации о характере и времени освоения конкретного склона, что не позволяет определить интенсивность процессов эрозии и аккумуляции с необходимой степенью надежности.

Второй способ, разрабатываемый автором статьи, заключается в приближенном расчете интенсивности современной эрозии с пахотных склонов крутизной до 10—12° за время весеннего паводка, он применим к районам с преобладающим стоком талых вод. Этот способ стал возможным после накопления достаточного количества экспериментальных данных по учету жидкого и твердого стока на стоковых площадках. Смыв почвы со склонов поставлен в прямую зависимость от энергии (работы) массы воды, стекающей со склона за период весеннего паводка с единицы площади. Интенсивность смыва почвы со склонов определяется произведением показателей удельного смыва почвы на работу стекающей массы воды. В формулу вводится ряд коэффициентов, учитывающих конкретную ситуацию на водосборной площади. Формула рас-

чета имеет следующий вид:

$$I_s = Qmg0,5 (L - L_0) \sin \alpha K_{\text{фс}} K_{\text{эс}} K_{\text{эп}} K_{\text{мс}} K_{\text{ск}} K_{\text{гм}} K_{\text{ак}} K_{\text{эп}} 10^{-6} (\tau/2a),$$

где I_s — интенсивность смыва почвы за период весеннего паводка, $\tau/2a$, Q — показатель удельного смыва почвы на зяби, $г/дж$, представляющий собой отношение количества смытой почвы с единицы площади в граммах к величине работы массы воды, стекающей с этой же площади, в джоулях. Для каждого типа почв характерны свои показатели Q , установленные в результате обобщения экспериментального материала по стоковым площадкам. Так, дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые почвы характеризуются такими значениями Q : сильноподзоли-

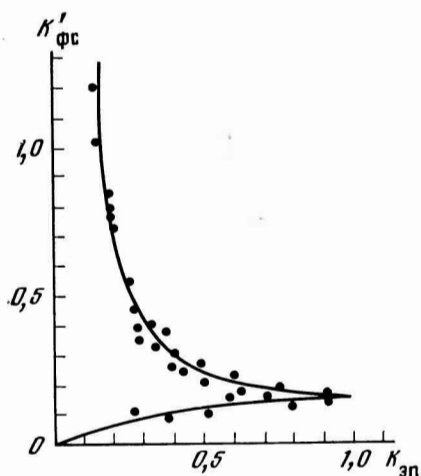


Рис. 1. График зависимости между степенью выпуклости продольного профиля склона ($K'_{\text{фс}}$) и степенью смытости почв ($K_{\text{эп}}$)

стые — 0,03, среднеподзолистые — 0,10, слабоподзолистые — 0,18. Серые лесные среднесуглинистые почвы: светло-серые — 0,26, серые — 0,35, темно-серые — 0,46. Черноземы тяжелосуглинистые: оподзоленные — 0,54, выщелоченные — 0,69, типичные — 0,86; обыкновенные — 1,03, южные — 1,19. Каштановые легкосуглинистые почвы: темно-каштановые — 1,28, каштановые — 1,36, светло-каштановые — 1,45; m — масса (объем, слой) склонового стока талых вод с одного гектара ($кг-л$). Определяется по карте нормы весеннего склонового стока, для ЦЧО, например, используется карта В. К. Рязанцева (Иванов, Лопырев, 1979) для соответствующего пункта и агрофона. По этой карте вводится поправка на агрофон (для зяби — 9 мм, для озимых, многолетних трав, стерни + 9 мм). При наличии исходной

информации о среднемноголетних запасах воды в снеге можно использовать средние значения коэффициента стока, которые на черноземных и серых лесных почвах соответственно равны: на зяби — 0,28 и 0,47, на озимых — 0,50 и 0,65, на стерне — 0,56 и 0,73, на многолетних травах — 0,48 и 0,62, на целине, залежи и выгоне — 0,38 и 0,56; g — ускорение силы тяжести — 9,8 $м/сек^2$, 0,5 — величина, учитывающая средний путь движения зарегистрированного поверхностного стока, относящегося ко всей массе стекающей воды с единицы площади, при условии равномерного распределения снежного покрова на склоне (Рожков, Иванов, 1973), так как не вся масса воды проходит путь от начала до конца линии стока, а лишь ее половинная часть; L — средневзвешенная длина линий стока, $м$. На склонах с выровненной поверхностью она рассчитывается по линиям стока как средневзвешенная величина из 5–10 определений. На склонах, расчлененных овражно-балочно-ложбинной сетью, величина L может быть определена по формуле Г. А. Алексеева (1963):

$$L = \frac{1000F}{1,8 (L' + \Sigma Li)},$$

где F — площадь водосбора, $км^2$; L' — длина главного водотока, $км$; ΣLi — сумма длин всех других водотоков, $км$; L_0 — средневзвешенная длина приводораздельной части склона крутизной до $0,75^\circ$, $м$; α — средневзвешенная крутизна склона, или водосбора, $град$. При крутизне до 10°

$\sin \alpha$ численно равен величине уклона i , который определяют по формуле

$$i = \frac{h \Sigma L}{F},$$

где h — высота сечения рельефа, м; ΣL — суммарная длина горизонталей, м; F — площадь водосбора, м²; $K_{\text{фс}}$ — коэффициент, учитывающий форму продольного профиля склона; для выпуклых склонов определяется с помощью графика (рис. 1), для чего определяется сначала степень выпуклости продольного профиля склона ($K_{\text{фс}}^1$) по формуле

$$K_{\text{фс}}' = \frac{(H_{\text{п}} L_{\text{с}})}{(H_{\text{с}} L_{\text{п}})} - 1,$$

где $H_{\text{п}}$ — превышение от основания склона до точки наибольшей кривизны (перегиба), м; $L_{\text{с}}$ — длина линии проложения склона, м; $H_{\text{с}}$ — превышение от основания склона до его вершины, м; $L_{\text{п}}$ — длина линии проложения от основания склона до точки перегиба, м.

На графике зависимости степени смытости почв от выпуклости продольного профиля склона (рис. 1) находим значение $K_{\text{вп}}$. Показатель $K_{\text{фс}}$ определяется по формуле

$$K_{\text{фс}} = 1 + K_{\text{вп}}.$$

Для прямых склонов $K_{\text{фс}} = 1$. До установления аналитической зависимости между степенью вогнутости продольного профиля склона и степенью смыта почв значения $K_{\text{фс}}$ для вогнутых склонов можно временно определять по способу Иванова и Лопырева (1979). $K_{\text{вс}}$ — коэффициент, учитывающий влияние экспозиции склона. С поправками на условия определения показателя Q он равен: для склонов северных экспозиций — 0,80, южных — 1,20, восточных — 0,95, западных — 1,05. $K_{\text{вп}}$ — коэффициент, учитывающий влияние степени эродированности почв. Для несмытых почв он равен 0,85, слабосмытых — 1,00, среднесмытых — 1,25, сильносмытых — 1,51. $K_{\text{мс}}$ — коэффициент, учитывающий влияние механического состава почв (значение коэффициента приведено в табл. 1). $K_{\text{ск}}$ — коэффициент, учитывающий солонцеватость или карбонатность почв. При слабой степени засоления или солонцеватости он равен 1,12, средней — 1,24, сильной — 1,36. Для почв с разной глубиной скопления солей или разной мощностью надсолонцового горизонта величина $K_{\text{ск}}$ составляет: для высокосолончаковых или корковых солонцов — 1,48, солончаковых или мелких солонцов — 1,32, солончаковых или средних солонцов — 1,19, глубокосолончаковых или глубоких солонцов — 1,09. Для почв карбонатных $K_{\text{ск}}$ равен 1,38. Если известны и степень засоления и глубина скопления солей, то определяется средний показатель. $K_{\text{гм}}$ — коэффициент, учитывающий гидрометеорологические условия стока — степень увлажнения почв и глубину их промерзания перед началом сне-

Таблица 1

Величина коэффициента, учитывающего влияние механического состава почв

Механический состав почвы	Тип почв			
	дерново-подзолистые	серые лесные	черноземные	каштановые
Глина	0,62	0,69	0,78	0,57
Тяжелый суглинок	0,79	0,82	1,00	0,73
Средний суглинок	0,92	1,00	1,16	0,85
Легкий суглинок	1,08	1,16	1,37	1,00
Супесь	1,28	1,46	1,62	1,19

готаяния. $K_{гм}$ вводится в формулу в случае вычисления смыва почв для условий конкретного года и определяется зависимостью вида:

$$K_{гм} = \frac{\ln \varphi}{\ln \bar{\varphi}},$$

где $\bar{\varphi}$ — среднемноголетний коэффициент стока для данного пункта и агрофона; $\ln \varphi = -3,553 + 0,0000126 B^2 H_{пр}$; B — средняя влажность 0—20 см слоя почв перед началом снеготаяния, об.%; $H_{пр}$ — средняя глубина промерзания почв перед снеготаянием, см. $K_{ак}$ — коэффициент, учитывающий почвозащитное влияние выращиваемых культур и агрофона. Для зяби он равен 1, для озимых — 0,42, для стерни — 0,32. Оценка почвозащитных свойств травяного покрова изменяется в зависимости от процента проективного покрытия и задернения поверхности почвы (табл. 2).

$K_{зп}$ — коэффициент, учитывающий существующую защищенность почв от эрозии. Для площадей, находящихся под лесом и лесными полосами, он равен 0,07. Для площадей с противоэрозионными валами — террасами с учетом их запроектированной обеспеченности от 5 до 30% он изменяется в пределах 0,05—0,30. При наличии водорегулирующих лесных полос, расположенных в верхней половине склона, он изменяется пропорционально длине от водораздела до половины склона от 1 до 0,40; в нижней половине — от 0,40 до 1 и относится только к нижележащей по склону площади, которая находится под защитой лесных полос. 10^{-6} — величина, учитывающая размерность.

Таблица 2

Величина коэффициента, учитывающего почвозащитное влияние сельскохозяйственных культур и агрофона ($K_{ак}$)

Покрывтие	Задернение	Коэффициент ($K_{ак}$)
>85	>50	0,02
70—85	20—50	0,06
50—70	10—20	0,14
30—50	5—10	0,32
<30	<5	0,50

Определение большинства параметров формулы удобно производить по почвенной карте масштаба 1:10000 с горизонталями. В необходимых случаях определяют средневзвешенные значения параметров.

В июле 1978 г. в колхозах «Донской», «Россия» и «Путь Ленина» Подгоренского района Воронежской области на прямых склонах разных экспо-

зиций было заложено 62 почвенных разреза. Установлено, что при среднем расстоянии от водораздела до места заложения разрезов, равном 388 м и среднем уклоне 0,03 мощность гумусового горизонта черноземных почв за все время их использования уменьшилась в среднем на 139 мм. Если принять, что средняя продолжительность распашки почв на склонах в ЦЧО составляет 183 года (Рожков, 1977), то интенсивность эрозии составит $139 : 183 = 0,76$ мм/год.

Так как в условиях ЦЧО основная доля поверхностного склонового стока приходится на талые воды (Сухарев, 1967), то следует полагать, что смыв почвы со склонов обусловлен в основном стоком талых вод. Следовательно, величину смыва почв со склонов можно вычислить по приведенной выше формуле. Подставляя в нее значения соответствующих параметров, получим: $I_p = 0,87 \cdot 320000 \cdot 9,8 \cdot 0,5 \cdot (388 - 0) \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,70 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 10,13$ т/га. Принимая объемный вес пахотного слоя черноземных почв равным $1,06$ т/м³, находим объем смытой почвы с одного гектара. Он будет равен $9,56$ м³/га. Слой смытой почвы соответственно составит $0,96$ мм/год. Интенсивность эрозии, вычисленная по формуле, не учитывает скорость почвообразования, равную для черноземных почв $0,2—0,3$ мм/год. Поэтому реальная интенсивность денудации применительно к конкретным условиям склонов с учетом скорости почвообразования составит величину $0,96—0,25 = 0,71$ мм/год.

Как видно, полученные двумя методами показатели интенсивности смыва почв со склонов близки между собой и составляют в условиях восточного склона Среднерусской возвышенности 0,71—0,76 мм/год.

В сентябре — октябре этого же года в колхозах «Подгоренский» и им. Ленина Подгоренского района Воронежской области были продолжены исследования по определению мощности гумусового горизонта почв на различных склонах. На прямом склоне длиной 388 м слой смытой почвы равен 190 мм. Интенсивность смыва почв за год составит $190 : 183 = 1,04$ мм/год.

Вычислим интенсивность смыва почвы по формуле. Сначала определим значения параметров формулы. Они будут таковы: $Q = 0,86$; $t =$

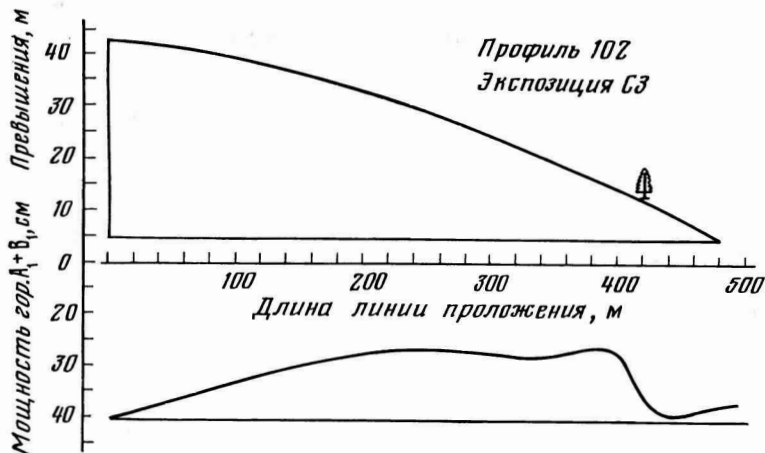


Рис. 2. Изменение мощности гумусового горизонта обыкновенного тяжелосуглинистого чернозема на выпуклом склоне северо-западной экспозиции (колхоз им. Ленина Подгоренского р-на Воронежской обл.)

$= 250000$; $L = 388$; $L_0 = 0$; $\sin \alpha = 0,06$; $K_{фс} = 1$, $K_{эс} = 1,05$; $K_{эп} = 1,12$; $K_{мс} = 0,78$; $K_{ск} = 1$; $K_{гм} = 1$; $K_{ак} = 0,71$; $K_{эл} = 0,95$. Подставляя их значения в формулу получим $I_s = 0,86 \cdot 250000 \cdot 9,8 \cdot 0,5 \cdot (388 - 0) \cdot 0,06 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1,12 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,71 \cdot 0,95 \cdot 10^{-6} = 15,16$ т/га. Принимая объемный вес пахотного слоя этой почвы равным $1,06$ т/м³, находим слой смытой почвы, который будет равен $1,43$ мм/год. С поправкой на скорость почвообразования реальный слой смытой почвы составит $1,43 - 0,25 = 1,18$ мм/год.

В этом случае расхождения между показателями интенсивности смыва почв, определенные двумя методами, более значительные и свидетельствуют об отсутствии достоверной информации по истории использования данного склона.

Рассмотрим другой пример. На рис. 2 показано изменение мощности гумусового горизонта почв на выпуклом склоне. В нижней части склона, на расстоянии 440 м от верхней водораздельной точки, расположена лесная полоса шириной 20 м в возрасте около 35—40 лет. Перед лесной полосой проходит грунтовая дорога. Выше дороги по склону выделяется полоса напаша, которая вместе с лесной полосой создает условия аккумуляции наносов в результате гашения скорости потоков воды и оседания взвешенных и влекомых наносов (частиц) почвы. Этот пример наглядно свидетельствует о необходимости учета всей ситуации на склоне или водосборной площади, оказывающей существенное влияние на интенсивность смыва почв со склонов. Одновременно этот пример показывает общность процессов смыва и аккумуляции, которые повсеместно встречаются в природе.

Определим интенсивность эрозии на этом склоне в точке, удаленной от водораздела на расстояние 260 м. Мощность гумусового горизонта

обыкновенного чернозема за все время интенсивного использования (распашки) в этой точке уменьшилась на 270 мм. Принимая, что данный склон распахивается 183 года, находим интенсивность смыва почвы за год. Она составит 1,48 мм/год.

Вычислим интенсивность смыва почвы по формуле. Для этого определим значения соответствующих параметров. Они будут таковы: $Q=1,03$; $m=250000$; $L=260$; $L_0=10$; $\sin \alpha=0,052$; $K_{fc}=1,35$; $K_{ac}=0,92$; $K_{ap}=1,13$; $K_{mc}=1$; $K_{gm}=1$; $K_{sk}=1$; $K_{ak}=0,70$; $K_{zp}=1$. Подставляя соответствующие значения в формулу, получим $I_p=1,03 \cdot 250000 \cdot 9,8 \cdot 0,5 \cdot (260-10) \cdot 0,052 \cdot 1,35 \cdot 0,92 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,70 \cdot 1 \cdot 10^{-6}=16,22$ т/га. Зная объемный вес пахотного слоя почвы — 1,06 т/м³, определим объем смытой почвы с одного гектара, который составит $16,22 : 1,06=15,3$ м³/га. Слой смытой почвы составит 1,53 мм/год. С учетом скорости почвообразования реальная величина смытого слоя будет равна $1,53-0,25=1,28$ мм/год.

Заметим, что в первом и третьем примере величина смыва почв, рассчитанная по формуле, несколько ниже по сравнению с величиной, определенной по изменению мощности гумусового горизонта почв за время их интенсивного использования. Мы считаем такое расхождение закономерным, так как расчетный метод не учитывает смыв почвы ливневыми водами. В этом заключается один из недостатков метода. К числу недостатков расчетного метода следует отнести и тот факт, что он применим только к пахотным склонам и не может дать общего представления об интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на всех склонах. Сочетание изложенных методов открывает возможность более точного определения интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на склонах.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Г. А. Методика расчета максимальных дождевых расходов по кривым редукции осадков. «Тр. ГГИ», вып. 107. Л., Гидрометеиздат, 1963.
 Иванов В. Д., Лопырев М. И. Об установлении категории эрозионно-опасных земель по интенсивности смыва почв тальными водами. «Почвоведение», № 4, 1979.
 Рожков А. Г. О среднелетней величине смыва почв с пашни в ЦЧЗ. Научно-технический бюллетень по проблеме «Защита почв от эрозии». вып. 4(15). Курск, 1977.
 Рожков А. Г., Иванов В. Д. К оценке энергии массы воды, движущейся по склону. Научно-технический бюллетень по проблеме «Защита почв от водной эрозии», вып. 1. Курск, 1973.
 Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. М., «Колос», 1967.

Воронежский сельскохозяйственный институт

Поступила в редакцию
30.X.1978

TECHNIQUE OF SURFACE WASH INTENSITY CALCULATION FOR ARABLE SLOPES IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

V. D. IVANOV

Summary

A possibility is shown to define the intensity of presentday erosion processes on arable slopes by means of measurements of changes of humic horizon thickness during a certain time span; it is also possible to use a formula which is the product of specific soil wash and work of water flowing downslope. The formula includes also coefficients considering slope form and exposition, soil mechanical composition and degree of erosion, degree and type of soil salinization and soil protection against erosion. Present day erosion intensity is defined at arable slopes of the Central Chernozem Region, the value at the Middle Russian Upland appeared to be between 0,71 and 1,48 millimeters per year.