

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 631.4 : 551.3

Г. В. БАСТРАКОВ**ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЕЛЬ**

На основе анализа ливневого стока и теории размерностей разработан критерий противоэрозионной устойчивости земель. Критерий включает в себя все основные факторы, определяющие водную эрозию водосбора, и представляет безразмерную величину. Физический смысл его заключается в том, что он отражает соотношение двух сил: силы сопротивления грунтов (почв) размыву и максимальной эродирующей силы склонового водного потока, которая может иметь место в данных условиях.

Сопротивление грунтов размыву (эрозионная прочность) определяется путем размыва цилиндрических образцов горизонтальной струей воды из отношения мощности струи к скорости размыва.

Критерий позволяет производить количественную оценку противоэрозионной устойчивости земель, выявлять главные факторы эрозии и разрабатывать противоэрозионную технологию.

В геоморфологической литературе можно встретить немало различных показателей или коэффициентов, используемых при изучении водной эрозии и эрозионного рельефа, например коэффициент эрозии (Сильвестров, 1955), число Хортон (Шайдеггер, 1964), коэффициент устойчивости от водной эрозии (Звонков, 1962), показатели влияния рельефа на эрозию почв (Срибный, 1956; Сластухин, 1964) и т. д. Как правило, такие показатели в определенной степени характеризуют некоторые стороны водной эрозии и эрозионного рельефа, по-разному удовлетворяют правилу размерности и предъявляемым требованиям.

Наиболее информативными и важными в теоретическом и практическом отношении являются зависимости, позволяющие рассчитывать интенсивность эрозии в заданном створе (Звонков, 1962; Мирцхулава, 1970), среднегодовой модуль смыва (Швебс, 1971; Thoreson, Maddy, 1963).

Автором проведены исследования по оценке земель, основанные не на определении интенсивности смыва, а на определении их противоэрозионной устойчивости. При этом из-за отсутствия в настоящее время аналитической теории водной эрозии был избран известный в физике путь создания так называемых полуэмпирических теорий с использованием анализа размерностей при комплексном учете основных факторов процесса.

Приняв за противоэрозионную устойчивость земель (P) способность их противостоять разрушительному воздействию стока поверхностных вод, рассмотрим соотношение факторов эрозии в некоторой точке x элементарного водосбора в случае ливневого стока.

Как известно, водная эрозия обусловлена закономерными связями между рельефом, растительностью, грунтом, климатом и гидравлическими условиями стока. Каждый из этих крупных факторов может быть представлен комплексом основных, или определяющих, величин. Так, влияние рельефа (рис. 1) на водную эрозию сказывается, например, через площадь и форму водосбора, через крутизну склонов, их профиль в точке x и т. д. Влияние растительности отражается на величине стока, эрозионной прочности грунтов, времени водоотдачи и пр. Свойства грунтов определяют их устойчивость к размыву, водопроницаемость, концентрацию наносов в потоке. Влияние климата выражается в интенсивности, длительности, повторяемости осадков и т. д.

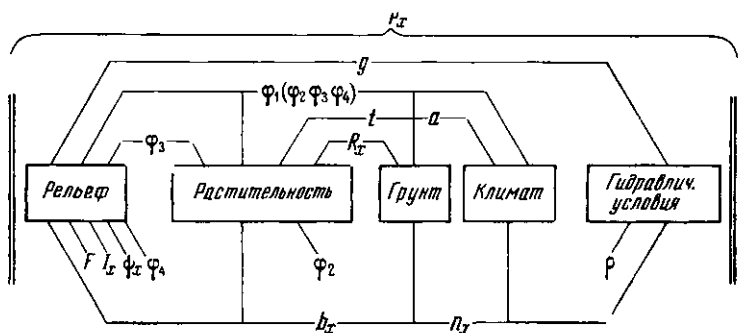


Рис. 1. Взаимосвязь основных факторов водной эрозии земель через представляющие их величины

(индексом x обозначены величины, относящиеся к точке x ; остальные являются характеристиками водосбора)

Таким образом, противоэрозионная устойчивость грунта в точке x есть функция определенного ряда переменных

$$P_x = f(R_x, a, F, t, g, \rho, I_x, \psi_x, b_x, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, n_x), \quad (1)$$

где R_x — эрозионная прочность грунта в точке x . R_x представляет собой величину с размерностью силы (единица измерения в системе СИ — ньютон), обратно пропорциональную отношению скорости размыва образца грунта (V) к мощности размывающей струи (N); $R_x = \frac{N}{V}$. Опре-

деление эрозионной прочности производится размывом цилиндрических образцов грунта горизонтальной струей воды определенной мощности (Бастраков, 1973). Способ позволяет определять эрозионную прочность связных и несвязных горных пород и почв. При этом в абсолютном значении эрозионной прочности совокупно отражается влияние сцепления, гранулометрического состава, структуры, химического состава и т. д.

Величина a — интенсивность водоотдачи (м/сек), характеризующая водопроницаемость (категорию впитывания) приповерхностных грунтов, время водоотдачи и климатический район, к которому относится исследуемый бассейн; F — площадь водосбора выше точки x , м^2 ; t — время водоотдачи, сек ; $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ — ускорение силы тяжести; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды; $I_x = \text{tg } \alpha$ — крутизна склона (поверхности) в точке x . Причем, как показывают экспериментальные полевые и лабораторные исследования, интенсивность эрозии связных и несвязных грунтов пропорциональна I_x^m , где $m = 0,5—1,5$. Влияние уклона в большей степени сказывается при эрозии грунтов с низкой эрозионной прочностью и в меньшей — при эрозии более прочных грунтов. Например, для песков, супесей и оподзоленных почв легкого состава нарушенной структуры с эрозионной прочностью в пределах 8—30 ньютон значение m составляет 1,2—1,5. Для горных пород и почв более тяжелого механи-

ческого состава ненарушенной структуры, а также для задернованных почв с эрозионной прочностью около 1000 ньютон $m=0,7-0,5$. Для грунтов с эрозионной прочностью в несколько тысяч ньютон (плотные глины, верхние слои сильно задернованных почв), по-видимому, возможно дальнейшее уменьшение значения показателя степени при уклоне.

Величина ψ_x — коэффициент формы профиля склона в точке x (при прямом склоне $\psi_x=1$; при выпуклом $\psi_x>1$, при вогнутом $\psi_x<1$); b_x — показатель эрозионного воздействия дождевых капель, определяется по расчетной интенсивности ливней и степени оголенности поверхности; φ_1 — коэффициент, учитывающий влияние площади водосбора и слоя стока в зависимости от уклонов поверхности водосбора и времени водотока; φ_2 — коэффициент, учитывающий влияние растительности на сток (слой потерь на смачивание); φ_3 — коэффициент, отражающий влияние шероховатости поверхности на сток; φ_4 — коэффициент, учитывающий влияние формы водосбора, выраженной отношением длины к ширине; n_x — коэффициент концентрации наносов в потоке в точке x . Находится из значений P на вышележащих участках. Абсолютное значение $n_x \leq 1$.

Пользуясь теорией размерностей, из перечисленных размерных величин получаем критерий подобия

$$K = R_x / aF \operatorname{tg} \rho \quad (2)$$

для эрозионного процесса. Все безразмерные величины в уравнении (1), с одной стороны, являются самостоятельными критериями подобия, с другой — корректируют значение эродирующей силы. Поэтому для случая противоэрозионной устойчивости в точке x элементарного водосбора имеем

$$P_x = R_x / aF \operatorname{tg} \rho I_x^m \psi_x b_x \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 n_x \quad (3)$$

Физический смысл полученного выражения (критерия противоэрозионной устойчивости) заключается в том, что он отражает соотношение двух сил: силы сопротивления грунтов размыву и эродирующей силы водного потока. Параметры в знаменателе выражения (3) характеризуют максимальную величину силы склонового потока, которая может развиваться при ливнях заданной повторяемости. Значения параметров a , t , φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 находятся по «Таблицам для расчета ливневого стока с малых бассейнов». Однако для данных целей необходима разработка специальных таблиц, которые обеспечивали бы получение точных результатов для самых малых водосборов.

Являясь безразмерной величиной, критерий противоэрозионной устойчивости отражает потенциальную способность различных участков земной поверхности противостоять максимальной эродирующей силе поверхностного стока, которая может иметь место в данных условиях при заданной ливневой обеспеченности. Если критерий противоэрозионной устойчивости больше единицы, открытая водная эрозия (эрозия, сопровождающаяся образованием явно заметных эрозионных форм за счет склонового стока) не проявляется, причем увеличение значения P_x свидетельствует о повышении противоэрозионной устойчивости. При $P_x < 1$ открытая эрозия существует и проявляется тем активнее, чем ниже значение критерия.

При расчетах противоэрозионной устойчивости уклон (I_x) поверхности в точке x удобнее брать в промиллях с последующим умножением значения критерия на 1000. Учитывая это и подставив в (3) вместо g и ρ их численные значения, получим

$$P_x = R_x \cdot 10^{-1} / aF t I_x^m \psi_x b_x \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 n_x \quad (4)$$

Экспериментальные исследования на моделях по Фрудру с использованием критерия подобия (2) показывают, что критерий противоэрози-

онной устойчивости находится в тесной связи гиперболического типа (рис. 2) со степенью эрозионной пораженности, характеризующейся, например, объемом смытого грунта. Как видно из графика, интенсивность эрозии при значениях $P > 1$ резко падает и ничтожно изменяется с дальнейшим увеличением противоэрозионной устойчивости. Эта закономерность подтверждена полевым обследованием склоновых земель.

Значение критерия противоэрозионной устойчивости в зависимости от комплекса физико-географических условий может изменяться в весьма широких пределах, о чем свидетельствует и характер кривой (рис. 2).

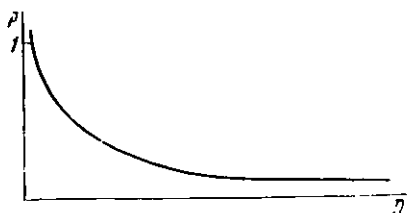


Рис. 2. Кривая зависимости между критерием противоэрозионной устойчивости (P) и величиной смыва почвы (D)

Так, на склоне балочного бассейна, покрытом хвойным лесом, на расстоянии 300 м от водораздела $P_{300} = 108$ ($R_{300} = 6200$ ньютон; $a = 15 \cdot 10^{-6}$ м/сек; $I_{300} = I_{cp} = 32\%$; $\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 = 0,18$; $\psi_{300} = b_{300} = n_{300} = 1$; расчетная повторяемость ливней 1 : 100; время водоотдачи 1200 сек; район Казани). При тех же условиях, но на распаханном склоне критерий противоэрозионной устойчивости на расстоянии 300 м от водораздела равен 0,07 ($R_{300} = 300$ ньютон; $a = 4 \cdot 10^{-5}$ м/сек; $b_{300} n_{300} \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 = 0,96$). Противоэрозионная устойчивость в 1540 раз меньше, чем в первом случае.

В отношении эрозии почв критерий противоэрозионной устойчивости является своего рода показателем почвенного баланса, отражающим прирост или сохранение слоя почвы ($P_x > 1$) за счет почвообразовательного процесса и уменьшение почвенного слоя ($P_x < 1$) за счет смыва. Например, по данным обследования склона с продольной распашкой с черноземными почвами в Ульяновской области (расстояние от водораздела 290 м, $I_x = 52\%$, $R_x = 105$ ньютон) значению критерия 0,05 соответствует смыв почвы в пределах 150 т/га.

Численное значение критерия противоэрозионной устойчивости в определенной степени отражает качество эрозионного процесса. Так, при скрытой эрозии, когда смыв происходит главным образом за счет разбрызгивания грунта каплями дождя, критерий больше единицы. При «плоскостном» смыве почв, сопровождающемся образованием мелких эрозионных форм, величина критерия, в зависимости от размеров последних, на 1—3 порядка меньше единицы. В местах зарождения (развития) оврагов критерий не менее чем на 4—5 порядков ниже единицы.

Если для какой-то территории в ряде точек определить значение критерия противоэрозионной устойчивости и путем проведения линий, равных P , построить карту, то последняя будет отражать реальную картину способности различных участков противостоять эрозии. Построение таких карт крупного масштаба для пахотных земель при условии, что земли находятся под черным паром, обеспечивает создание надежной основы противоэрозионной технологии земледелия. Сущность последней заключается в количественно обоснованном выборе севооборотов, агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических приемов, при которых значение критерия в любой точке территории не будет ниже допустимого предела. Решение уравнения (4) относительно любого члена при равенстве критерия допустимой величине позволяет находить рациональные нормы противоэрозионных мероприятий — ширину пояса рубки леса, линии расположения противоэрозионных валов, лесных полос, ширину последних и т. п.

Комплексная взаимосвязь основных факторов водной эрозии в критерии противозерозийной устойчивости дает возможность использовать его для оценки земель и районирования в более мелком масштабе. Например, для территории Татарской АССР произведена оценка противозерозийной устойчивости пахотных земель по административным районам с целью более рационального распределения капитальных вложений и упрощения планирования дальнейших противозерозийных мероприятий.

Противозерозийная устойчивость земель рассчитывалась на случай парового поля (случай минимальной противозерозийной способности) по выражению $P = R \cdot 10^{-1} / a F t / m^b \varphi_1 \varphi_2$, в котором все члены представляют средневзвешенные по площади значения факторов эрозии по каждому району, кроме $F = 1000 \text{ м}^2$ (принято условно).

Проведенные исследования позволили получить для каждого административного района осредненное значение противозерозийной устойчивости земель, выявить определяющие факторы эрозии и произвести эрозийное районирование республики. По зависимости между значением критерия и площадью подверженных эрозии земель, построенной на основании обследования ключевых участков, определена площадь земель, подверженных эрозии в каждом районе. Результаты исследований использованы при составлении Генеральной схемы противозерозийных мероприятий Татарской АССР.

ЛИТЕРАТУРА

- Бастраков Г. В. Определение эрозийной прочности грунтов. Информационный листок № 5/73, Татарский межотраслевой центр научно-технической информации и пропаганды. Казань, 1973.
- Звонков В. В. Водная и ветровая эрозия земли. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Мирицхулава Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М., «Колос», 1970.
- Сильвестров С. И. Рельеф и земледелие. М., Сельхозгиз, 1955.
- Сластухин В. В. Вопросы мелиорации склонов Молдавии. Кишинев, 1964.
- Срибный М. Ф. Геоморфологическая характеристика водосборов. «Проблемы регулирования речного стока», вып. 6, М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Таблицы для расчета ливневого стока с малых бассейнов. М., Транспорт, 1969.
- Швебс Г. И. Формирование и оценка водной эрозии и стока наносов. Автореф. докт. дис., М., 1971.
- Шайдеггер Д. Г. Теоретическая геоморфология. М., «Прогресс», 1964.
- Thoreson A., Maddy I. «J. Soil and Water-Conservat». July — Aug., 1963.

Казанский университет

Поступила в редакцию
28.V.1973

AN EXPERIMENT ON THE DEFINITION OF LAND RESISTANCE TO EROSION

G. V. BASTRAKOV

Summary

A criterion of land resistance to erosion has been established on the base of storm runoff analysis and dimensional theory. The criterion includes all the main factors determining the water erosion and is a dimensionless value. Its physical meaning is to reflect the relation of two forces: force of the soil resistance to scouring and the erosion force of the slope water flow. The soil resistance to water erosion is defined by means of washout of cylindric soil samples with a horizontal water jet and calculated as ratio of jet power to rate of erosion. The criterion allows to make quantitative estimation of the antierosion ground resistance, to determine main factors of erosion and to work out antierosion technology.