

ПРИРОДНЫЕ ЭРОЗИОФОРМИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЛОСКОСТНУЮ ЭРОЗИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ ДЕНУДАЦИОННО- АККУМУЛЯТИВНОГО РАВНИННОГО РЕЛЬЕФА (на примере Сумской области)

Территория исследования в ландшафтном отношении представляет собой весьма сложный регион, природно-хозяйственные условия которого допускают принципиальную возможность развития плоскостной эрозии на всем его протяжении. Вместе с тем, на ней наблюдаются существенные различия в генетических характеристиках склонового стока и смыва – смыв, вызываемый стоком дождевых вод, и смыв при снеготаянии. Согласно схеме эрозионного районирования [2], исследуемая территория неравномерно распределяется между двумя природно-эрозионными зонами. Ее северная, полеская часть входит в состав зоны тало-ливневого смыва, а большая, южная лесостепная часть находится в пределах зоны преимущественно ливневого смыва. Считаем также важным отметить, что указанный регион находится на западном продолжении пояса максимальной эрозии Восточноевропейской равнины [7].

Процесс эрозии детерминируется несколькими ведущими природными факторами, к числу которых относятся рельеф поверхности, густота овражно-балочной сети, климатические условия, геологический фактор, наличие растительного покрова.

Рельеф земной поверхности (наличие и характер склонов), один из главных факторов процесса эрозии почв. Основные морфологические параметры склонов, изменение которых отражается на интенсивности смыва почв, – это их крутизна, длина, форма и экспозиция. Существенно для эрозии и косвенное влияние рельефа: на распределение количества и интенсивности атмосферных осадков, объем и скорость склонового стока, влажность и водопроницаемость почв, тепловой баланс поверхности. Ведущая роль склоновости территории на интенсивность линейной эрозии, при прочих равных условиях, является доказанной [3]. Нашей задачей было исследование и подтверждение роли этого фактора эрозии как ведущего и для плоскостной эрозии, поскольку эта роль и до сих пор оценивается неоднозначно.

Крутизна склонов определяет величину составляющей силы тяжести, а, следовательно, интенсивность склонового стока и эрозии вообще. Например, многолетними исследованиями [6] установлено, что прирост эродированных земель на склонах крутизной 1-5° составил 11% за 35 лет, а на склонах крутизной 3-10° – на 20% за тот же период. Также установлено, что с увеличением крутизны склонов усиливается влияние экспозиции на степень смытости почвы. На склонах

южных и западных экспозиций крутизной 3-4° средне- и сильносмытых почв было в 1,5 раза больше, а на склонах крутизной 6-7° уже в 4 раза больше, нежели на склонах северной и восточной экспозиций.

Фактор длины и экспозиции склонов нередко более весомо влияет на распределение смытых почв, чем крутизна. По материалам [9], на склонах крутизной 2-5° на расстоянии 200-300 м от водораздела находились среднесмытые почвы, а на склонах крутизной 5-10°, но при отдалении от водораздела на 300-400 м почвы были смыты в слабой степени.

Влияние экспозиции на степень эродированности почв оценивается различными исследователями наиболее неоднозначно. Тем не менее, на наш взгляд, влияние этого фактора может быть весьма заметным, а при снеготаянии – существенным. В работе [5] сделана попытка формализации влияния экспозиции склонов на степень эродированности почв путем введения коэффициента C_e , отражающего различия в приходе прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные склоны:

$$C_e = 1 + \gamma_e \left(\frac{S_0}{S_e} - 1 \right),$$

где S_0 – суммарная радиация для горизонтальной поверхности;

S_e – суммарная радиация для склонов различной экспозиции;

γ_e – эмпирический параметр, зависящий от крутизны склона и широты местности.

Если крутизну, длину и экспозицию склонов достаточно легко оценить числом, то для характеристики форм склонов необходима иная их классификация, построенная на основе качественной оценки признаков. По утверждению [16], элементарный (простейший) склон – это участок земной поверхности, во всех точках которой составляющая силы тяжести одинаково направлена, постоянна и отлична от нуля. Реальные склоны представляют собой системы элементарных склонов, подразделяющихся по общему характеру расположения последних на хаотические и упорядоченные.

Класс преобладающих в природе упорядоченных склонов делится на параллельные, радиальные и дуговые, отвечающие соответственно “прямому” склону, “собирающим (рассеивающим)” и “косым” склонам, т.е. склонам, изображаемым на топографической карте не параллельными горизонталями.

Исследуя территорию Сумской области и учитывая факторы, влияющие на развитие эрозии, мы предприняли попытку установить зависимость эродированности сельскохозяйственных земель от средней крутизны склонов. Показатели средней крутизны склонов были рассчитаны картометрическим способом по топографической карте Сумской области М 1:200000 согласно формуле Финстербальдера–Волкова [14].

$$i_{cp} = tg \alpha_{cp} = \frac{\Delta z \sum s}{P},$$

где i_{cp} – средний уклон территории;

α – угол наклона поверхности;

Δz – высота сечения изолиний на топографической карте;

$\sum s$ – суммарная длина изолиний в пределах участка площадью P .

Методом корреляционного анализа был подсчитан соответствующий коэффициент, который составил 0,9. Все коэффициенты корреляции, полученные

в данной работе были проверены на достоверность путем сравнения ошибки репрезентативности корреляции с критерием А.В.Червякова [10]. Ошибка репрезентативности (m) рассчитывалась по формуле:

$$m = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}},$$

где r – коэффициент корреляции;

n – число наблюдений.

Вся необходимая статистическая обработка экспериментальных данных и графические построения выполнены на компьютере с использованием программы STATISTICA for Windows 4.3.

Нами была установлена четкая линейная зависимость эродированности (y , %) от крутизны склонов (x , °): $y = 68,7x + 77,1$, показывающая наличие на территории Сумской области четкой прямой позитивной зависимости эродированности земель от крутизны склонов. Это подтверждается высоким коэффициентом корреляции, указывающим на действительное существование такой связи, графическое выражение которой показано на рис. 1.



Рис.1. Зависимость эродированности почв от средней крутизны склонов

Одним из главных факторов, определяющих интенсивность плоскостной эрозии, является **густота овражно-балочной сети**, которая может быть выражена различными показателями. В ходе нашего исследования территории Сумской области устанавливалась зависимость эродированности земель от **показателя горизонтального расчленения рельефа (ГРР)**. ГРР – доля (%) территории, пораженной овражно-балочной сетью в общей площади района. Расчет показателя ГРР был выполнен в разрезе административных районов Сумской области.

Путем корреляционного анализа был подсчитан коэффициент, значение которого составляет 0,67, и получена соответствующая графическая зависимость (рис. 2). Анализируя ее, можно сказать, что с увеличением показателя ГРР увеличивается и процент эродированных земель.

Однако указанная закономерность наблюдается до определенного момента (ГРР=30%), после чего она теряется. Такое явление, на наш взгляд, наблюдается из-за общего сокращения площади сельскохозяйственных угодий за счет мощного развития овражно-балочной сети, а также в связи с изменениями в структуре угодий. Доля земель, пораженных плоскостной эрозией, несколько уменьшается, однако это свидетельствует не о замедлении этого эрозионного процесса, а, скорее, об изменениях в структуре эрозийных процессов, среди которых линейная эрозия начинает абсолютно доминировать.

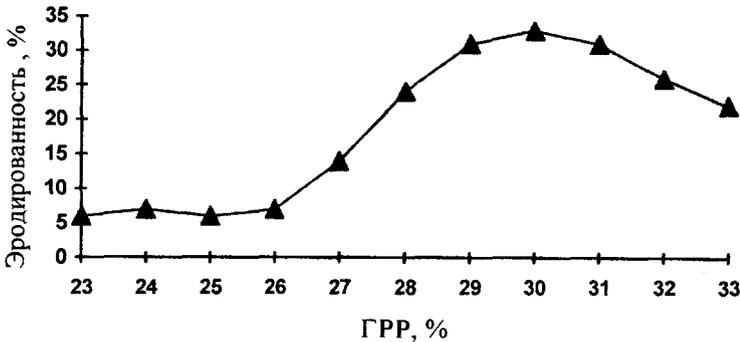


Рис.2. Зависимость эродированности почв от горизонтального расчленения рельефа (ГРР)

Небольшое уменьшение доли эродированных земель (хотя она и продолжает оставаться на достаточно высоком уровне), кроме названных причин, может быть объяснено и противозерозионными мероприятиями, которые традиционно осуществляются в наиболее эродированных районах.

В целом, представленная на рис.2 связь эродированности (y , %) и показателя ГРР (x , %) может быть математически выражена полиномиальной зависимостью вида $y = 0,71x^2 - 0,62x + 6,0$.

Одним из ведущих факторов эрозии являются **климатические условия**. К числу непосредственных климатических факторов относятся осадки, однако между их количеством и интенсивностью эрозии нет однозначной связи, поскольку последняя определяется силой поверхностного стока, зависящей, наряду с параметрами дождя, и от уклонов и свойств почвы. Иначе говоря, роль этого фактора не всегда является ведущей, поскольку наряду с ним существует и ряд других факторов, соотношение которых может существенно нивелировать влияние климата как эрозионного фактора.

Роль осадков, тем не менее, считается ведущей [11]. Одной из эмпирических характеристик эрозионного потенциала осадков служит эрозионный индекс дождей, упомянутый в работе [16]. Он представляет собой произведение энергии отдельных дождей на максимальную 30-ти минутную интенсивность осадков. Исследуемая территория имеет эрозионный индекс дождей, равный 9-10 единиц. Это достаточно большое значение индекса при в целом умеренном количестве осадков объясняется зачастую ливневым характером их выпадения. По утверждению [13], сильный ливень может вызвать такое сильное разрушение почвенного покрова, которое при постепенном стоке талых вод происходит за 10 – 20 лет. По подсчетам [12], интенсивность ливневых дождей на исследуемой территории может достигать 1-1,25 мм/мин.

Эрозионный потенциал зимних осадков реализуется при талом стоке, интенсивность которого, при прочих равных условиях, определяется поступлением тепла. Смыв почвы при талом стоке оценивается как незначительный, точнее не превышающий процессов почвообразования в естественных условиях. Восьмилетние исследования [16], проводимые в лесостепной зоне при крутизне склонов $1,8-3,5^\circ$ зафиксировали максимальный смыв 1,6 т/га за год (один случай), а в остальные годы он ни разу не достигал и 1 т/га в год. В то же время при ливневом смыве такое количество почвы может быть унесено за несколько часов [11].

Большое влияние на интенсивность плоскостной эрозии оказывает также кинетическая энергия капель дождя, скорость падения которых изменяется от

1 до 9 м/с [16]. Размеры (диаметр) капель, в свою очередь, зависят от интенсивности дождя, возрастая при ее увеличении от 0,2 до 6 мм [11], поэтому при одинаковом количестве осадков суммарная эрозиоформирующая энергия выше у ливневых дождей. Более того, разрушение почвы начинается тогда, когда диаметр дождевых капель превышает 0,8 мм, а интенсивность осадков становится более 0,08 мм/мин [15].

В склоновых потоках с малыми скоростями течения капли производят основную работу по отрыву и взвешиванию частиц почвы. Количество почвы, оторванной каплями и поднятой в воздух вместе с брызгами воды, при ливнях достигает сотен тонн на гектар, иногда даже превышая количество почвы, смываемой с такой же площади. Кроме того, капли, разрушая комочки почвы, заглаживают поверхность, уменьшая объем депрессий микро- и нанорельефа и уплотняют поверхностный слой почвы, резко снижая ее инфильтрационную способность, что приводит к резкому увеличению коэффициента стока. Если исключить совокупное влияние дождевых капель на отрыв частичек почвы, транспортирующую способность потоков и инфильтрацию почв, то смыв, при прочих равных условиях, снижается в 100 и более раз.

С целью более детального анализа и установления точных и достоверных зависимостей между эродированностью указанной территории и количеством осадков изучение указанных явлений было проведено по физико-географическим провинциям лесостепной зоны, границы которых проведены по [4].

При анализе территории в пределах Левобережно-Днепровской лесостепной провинции получены коэффициент корреляции между эродированностью (y , %) и количеством осадков (x , мм/год), равный 0,75, и линейная зависимость, которую можно выразить уравнением $y = -140,3 + 0,3x$, устанавливающим четкую зависимость между эродированностью и исследуемыми параметрами (рис. 3).

При анализе Среднерусской лесостепной провинции нами получена экспоненциальная зависимость (рис. 3) $y = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot e^{0,034x}$. Коэффициент корреляции при этом равен 0,69.

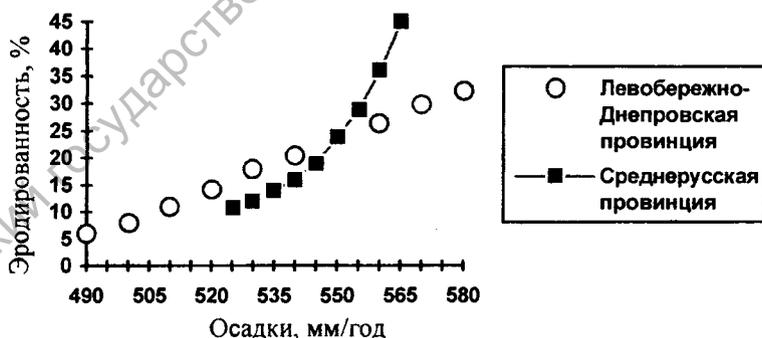


Рис. 3. Зависимость эродированности почв от годового количества осадков

Таким образом, подтверждается существенная роль фактора количества осадков (климатического) как ведущего, детерминирующего процесс развития плоскостной эрозии. Вместе тем показана необходимость более "тонкого" подхода к анализу этого фактора, в частности исследования его отдельно по регионам, существенно отличающимся условиями увлажнения и характером выпадения осадков.

Гидравлический режим склоновых потоков достаточно сложен (наиболее удачная общая его характеристика изложена в работе [16]). Установлено, что способность потока производить эрозионную работу зависит от его скорости, глубины и турбулентности, которая также считается фактором, повышающим интенсивность эрозии. Возможность возникновения турбулентности определяется значением числа Рейнолдса (R_e):

$$Re = \frac{VT}{\nu},$$

где R_e – число Рейнолдса;

V – скорость течения;

T – глубина потока;

ν – кинематический коэффициент вязкости воды.

R_e в пластовых потоках и мелких (до 0,5 см) струйках не превышает десятков или первых сотен единиц, что давало основание говорить о их ламинарном режиме. Однако натурные исследования показали, что ламинарный режим, при котором $V_{\text{средн.}} \approx I$, где I – уклон, сохраняется лишь в потоках очень малой глубины (до 0,6 мм) и при слабой шероховатости поверхности (1-2 мм). С увеличением глубины (шероховатости) поток теряет свойства ламинарного. В качестве критерия турбулентности возможно также использовать зависимость скорости движения воды в склоновых потоках от их глубины. Как известно [16], при ламинарном

режиме движения $V_{\text{средн.}} \approx T^2$, а при турбулентном – $V_{\text{средн.}} \approx \sqrt{T}$, где V – скорость течения; T – глубина потока. Многочисленные эксперименты показали, что в склоновых потоках обычно наблюдается турбулентный или близкий к нему режим движения воды.

В очевидной связи с климатическим фактором и характеристиками рельефа (склоновостью) находится **модуль поверхностного стока**, который определяется количеством воды, стекающей за единицу времени с единицы площади водосбора (в л/сек с 1 км²).

Попытка установить четкую зависимость между эродированностью сельскохозяйственных, и модулем стока на общеобластном уровне привела к негативным результатам. Поэтому, с целью установления более точных закономерностей и связей, анализ модуля поверхностного стока мы также провели по названным выше физико-географическим провинциям лесостепной зоны.

В пределах Среднерусской лесостепной провинции при установлении связи между эродированностью территории (y , %) и модулем поверхностного стока (x , л/сек с 1 км²) была получена прямая позитивная линейная зависимость вида $y = -13,7 + 1,4x$, (рис. 4).

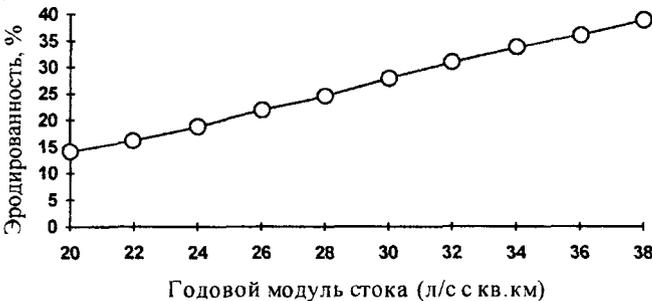


Рис.4. Зависимость эродированности почв от годового модуля стока

В пределах Левобережно-Днепровской провинции тесной связи получить не удалось, что, очевидно, связано с существенным влиянием различных других эрозиоформирующих факторов, “завуалировавших” непосредственное влияние модуля поверхностного стока. Иначе говоря, в условиях достаточно склонового рельефа (Среднерусская провинция), модуль поверхностного стока более точно отображает роль гидрологических и климатических факторов в формировании плоскостной эрозии.

Геологический фактор плоскостной эрозии проявляется через механический состав почв, изменение водопроницаемости на границе “почва – материнская порода” и другие параметры. Наиболее легко поддаются воздействию эрозии рыхлые осадочные породы (пески, суглинки, лессы), хуже – глины, мел, мергель [8].

Противоэрозионная устойчивость почв определяется их механическим и химическим составом, физико-химическими свойствами и состоянием. С юга на север исследуемой территории противоэрозионная устойчивость почв снижается, что, в основном, связано с уменьшением содержания гумуса в них, а также с появлением в составе почвенного поглощающего комплекса одновалентных катионов. Для серых лесных и дерново-подзолистых почв одним из показателей противоэрозионной устойчивости поверхностных горизонтов может служить со-

отношение кремнезема к полуторным окислам $\frac{SiO_2}{R_2O_5}$. Чем оно больше, тем ниже противоэрозионная устойчивость почв [16].

Противоэрозионная стойкость почв также определяется по размываемости образцов проб в лотке [8] или по расчетным формулам на основании показателей допустимой неразмывающей скорости (ДНС), под которой мы понимаем пороговую скорость воды в пласовом потоке, при которой начинается устойчивый размыв и разрушение горной породы.

Сумская область имеет достаточно разнородный в литологическом плане состав почвообразующих пород [1]. Нами был проведен анализ зависимостей между степенью эродированности территории и показателем ДНС по двум регионам Сумщины (ледниковому и внеледниковому), существенно отличающимся между собой по составу горных пород.

Математическая обработка результатов показала наличие существенной зависимости эродированности (y , %) от ДНС пород (x , м/с) в пределах северной и центральной частей Сумской области – т.е. в пределах ледникового района. Прямая положительная связь подтверждается высоким коэффициентом корреляции ($r=0,82$), что свидетельствует о достаточно высокой тесноте и надежности связи. Последняя представляет собой экспоненциальную зависимость (рис. 5), которую математически можно выразить как $y = 1,447 \cdot 10^{-3} e^{-6,8x}$. Для внеледниковой части указанная зависимость не характерна, что связано с большим влиянием других эрозионных факторов, в особенности склоновости территории и горизонтального расчленения рельефа.

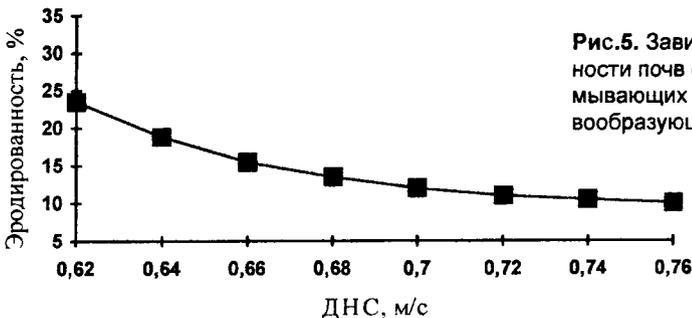


Рис.5. Зависимость эродированности почв от допустимых неразмывающих скоростей (ДНС) почвообразующих пород

В результате проведенных исследований определена роль природных факторов, контролирующих процесс плоскостной эрозии в пределах сельскохозяйственных угодий Сумской области. Выделены ведущие факторы эрозии, к числу которых относятся: **показатель крутизны склонов** (общая склоновость территории), **горизонтальное расчленение рельефа**, **количество осадков**, и обозначены второстепенные факторы, к числу которых отнесены модуль поверхностного стока и показатель допустимой неразмывающей скорости почвообразующих пород.

Первые два фактора четко заметны при исследовании уровня областного масштаба, тогда как количество осадков, точнее его роль как ведущего эрозионного фактора "проявляется" при исследовании в пределах других операционных единиц – не административных, а физико-географических провинций и областей. Роль других факторов не является однозначной, она проявляется лишь в отдельных регионах области, часто будучи подконтрольной другим ведущим факторам. Зависимость плоскостной эрозии от последних является достаточно тесной и выражается в линейной либо экспоненциальной форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Сумської області. – К.: Укргеодезкартографія, 1995. – 41 с.
2. **Белоцерковский М.Ю., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П.** и др. Эрозионные процессы на европейской части СССР, их количественная оценка и районирование // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. – 1990. – №2. – С.37-46.
3. **Бондаренко Г.А.** Краткий анализ физико-географических предпосылок развития овражно-балочных морфосистем в Сумском Приднпровье // Вопросы региональной географии Сумского Приднпровья. – 1994. – Вып.2. – С.19-26.
4. Географічна енциклопедія України. – К.: Українська енциклопедія, 1993. – Т.3. – С. 340-343.
5. **Година С.В.** Експозиція схилів і поверхневий змив // Матеріали другої Всеукраїнської наук.-метод. конф. "Проблеми раціонального використання, охорони і відтворення природно-ресурсного потенціалу України". – Чернівці, 2000. – С.104-106.
6. **Костів Л.Я., Петрів О.М.** Залежність розвитку площинної ерозії ґрунтового покриву Городецького агроґрунтового району від морфометричних показників рельєфу // Там же. – С.129-130.
7. **Маккаеве Н.И.** Русло реки и эрозия в её бассейне. – М.: Изд-во АН СССР. – 1955. – 347 с.
8. **Нефедьева Е.А., Хмелева Е.А.** Изучение эрозионных форм рельефа экспериментальным методом // Труды ин-та географии АН СССР. – 1956. – Т.68. – С.5-36.
9. **Орлова В.К.** Развитие процессов эрозии на дерново-подзолистых почвах, сформированных на покровных суглинках. – Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1978. – 24 с.
10. Основы корреляционного метода / **В.А.Червяков.** – Барнаул: Алт. гос. ун-т, 1995. – 16 с.
11. **Редин В.И.** Атмосферные осадки как фактор эрозии почв // Вестн. Харьк. ун-та. – 1976. – №136. – С.64-66.
12. **Скородумов А.С.** Эродированные почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур. – К.: Урожай, 1973. – 269 с.
13. **Соболев С.С.** Развитие эрозионных процессов на европейской части СССР и борьба с ними. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – Т.1. – 306 с.
14. Справочник по картографии / **А.М.Берлянт, А.В.Гедымин, Ю.Г.Кельнер** и др. – М.: Недра, 1988. – 428 с.
15. **Шишкин Н.С.** Размер капель дождя // Природа. – 1954. – №10. – С.18-20.
16. Эрозионные процессы / Под ред. **Н.И.Маккаеве и Р.С.Чалова.** – М.: Мысль, 1984. – 256 с.

SUMMARY

An interaction of the natural erosive-formative factors and their influence on erosion of soils used in agriculture is shown in the article. Empiric dependencies and coefficients that reflect relations between erosive factors and the level of erodibility of the territory in conditions of denudation-accumulative flat relief were obtained.