

УДК 631.459.2

© 1991 г.

С. Ю. БУЛЫГИН, Ф. Н. ЛИСЕЦКИЙ

МИКРОАГРЕГИРОВАННОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОЧВ

Установлена связь противоэрозионной стойкости различных почв ЕТС с их микроагрегированностью, оценена агрегирующая роль гумуса, сделано заключение о правомерности использования двухуровневой системы показателей.

Среди зональных факторов, определяющих формирование водно-эрозионного процесса на пахотных землях, оценка противоэрозионной стойкости остается недостаточно разработанной проблемой. К настоящему времени предложены относительные коэффициенты смываемости для разных генетических типов и подтипов пахотных почв ЕТС [5], необходимые для применения уравнений почвенной эрозии США к почвам нашей страны. Получены значения донных размывающих скоростей [4], позволяющие использовать гидромеханическую модель смыва [6] при проектировании ряда крупных оросительных систем. Накоплен материал по противоэрозионной стойкости почв Украины и Молдовы [7], полученный методом искусственного дождевания. Однако значительная трудоемкость экспериментов, ошибки при интерполяции значений для почв разного гранулометрического состава и отдельных степеней эродированности, необходимость периодического обновления данных в связи с усилением процессов агрофизической деградации и другие причины побуждали к поиску зависимости противоэрозионной стойкости почв от диагностических показателей, не требующих сложных определений. Нами предпринята попытка установления связи противоэрозионной стойкости почв с микроагрегированностью, а также оценки агрегирующей эффективности гумуса для различных типов почв.

Оценка противоэрозионной стойкости (или ее обратной характеристики — смываемости) почв проводилась методом искусственного дождевания с помощью струйно-капельной дождевальной установки. Методика проведения и обработка результатов экспериментов стандартная [8]. Повторность более чем 3-часового опыта по искусственному дождеванию двукратная. В качестве критериев противоэрозионной стойкости изученных почв принималась средняя мутность потока в заключительной фазе опыта при интенсивности осадков 2,5 мм/мин (p^0 , г/л) и расход наносов в граммах за секунду с 1 м ширины склона в условиях квазиустановившегося режима (R^0).

Для определения степени агрегированности проводился рассев почвенного образца в течение 30 с на колонке сит, сита имели диаметр ячеек 0,25; 0,20; 0,16; 0,10; 0,065; 0,05 мм. Использовался прибор «Установка лабораторная для определения функционального состава. Модель-029». Повторность — 24-кратная. Затем с помощью микроскопа МБС-9 при 98-кратном увеличении в отраженном свете методом прямого подсчета определяли содержание обломков пород и минералов — элементарных

Показатели агрегированности и смываемости почв междуречья
Ботна - Бык (Молдова)

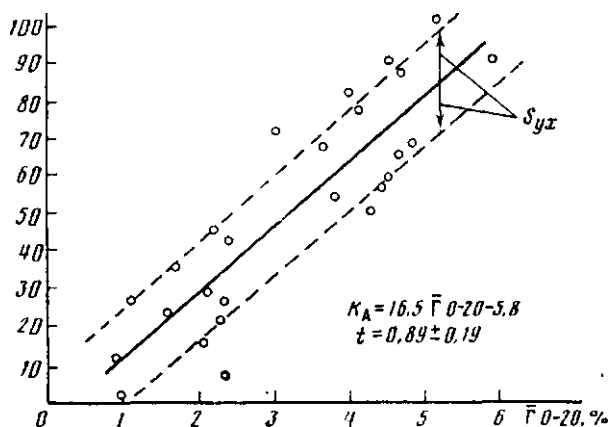
Почва, агрофон (июнь)	K^A , %	Z эпч. %	d , мм	P_0 , г/л	Я., г/с-м
Чернозем карбонатный тяжелосу- глинистый, орошение, ячмень с подсевом люцерны после куку- рузы	43	9,6	0,55	3,87	0,16
Чернозем карбонатный тяжелосу- глинистый слабоомытый, кукуру- »а после кукурузы:					
орошение	38	13,6	0,45	4,84	0,24
богара	42	14,9	0,30	6,95	0,24
Чернозем карбонатный тяжелосу- глинистый, орошение, картофель	43	ИД	0,54	3,00	0,24
после озимых					
Чернозем карбонатный тяжелосу- глинистый, богара, кукуруза после кукурузы	44	12,0	0,88	8,30	0,22
Чернозем обыкновенный тяжелосу- глинистый, богара, подсолнечник после кукурузы	36	14,3	0,43	5,16	0,27

почвенных частиц (ЭПЧ, %), а также микроагрегатов. В результате рас-
считывался коэффициент агрегированности, %:

$$A - A = \frac{i Z L^{\wedge} \cdot i 00}{a}, \quad (1)$$

где a — содержание частиц и агрегатов диаметром (d , мм), $0,25 > d > 0,05$;
 B — содержание ЭПЧ тех же размеров.

Результаты исследований, проведенных в 1988 г., представлены в
табл. 1. В связи с разной степенью смывотности почв мощность гумусового
горизонта меняется в широких пределах -36—120 см. Отдельные физи-
ческие показатели твердой фазы (коэффициенты структурности, водоус-
тойчивости, водонрочности агрегатов по Андрианову — Качинскому и др.)
в исследованных почвах также сильно различаются. Особенно изменчивы
значения средневзвешенного диаметра водостойчивых агрегатов (d),
прежде всего из-за различий в агрофоне и предшественнике. Данные о
степени изменчивости d представлены ниже. Однако отчетливо выражен-
ная стабильность величины K^A (коэффициенты вариации меньше 5%)
позволяет сделать вывод о том, что микроагрегированность является впол-
не определенным иерархическим структурным уровнем почвы как само-
стоятельного природного тела. Это подтверждает заключение, сделанное
Ворониным [2]: соотношение неагрегированных ЭПЧ с микроагрегатами
на сходных почвообразующих породах зависит от типа почвообразования.
Методика Шлебса [8] нацелена на оценку противозрозийной стойкости,
обусловленной прежде всего генетическими особенностями почв, поэтому
наряду с K^A малоизменчивым показателем оказался и расход наносов
(табл. 1). Таким образом, коэффициент агрегированности может рас-
сматриваться как количественный показатель противозрозийной стой-
кости, обусловленной генетическими особенностями почв и их устойчи-
выми изменениями под влиянием направленного развития современного



Зависимость коэффициента агрегированности (K_A) от содержания гумуса в слое 0-20 см зональных почв Русской равнины. $\hat{\beta} = 16,5$, $\Gamma - 5,8$, $r = 0,89 \pm 0,19$

почвообразовательного процесса. В отличие от A^{II} , сумма ЭПЧ подвержена для одной и той же почвы более сильной изменчивости, коэффициент вариации которой может достигать 30%. Достаточно сказать, что она только технологией обработки может быть изменена в 2 и более раза, но в информативном плане это существенное дополнение к K^A .

Ранее проведенные исследования [7] показали, что в зональном ряду почв ЕТС при сопоставлении смываемости (R^0) с коэффициентом дисперсности Качинского, фактором структурности Фагелера, показателем агрегированности по Бэйверу и Родесу (K^A) наилучшая связь существует между R^0 и K^A (корреляционное отношение составляет $-0,94 \pm 0,05$). Эти материалы были дополнены результатами исследований в Молдове (табл. 1). В результате аппроксимации получена степенная зависимость вида

$$R^0 = 0,17 \cdot K^A \cdot S^0 \quad (2)$$

В связи с тем, что исходные данные отражали зональный ряд почв с широким диапазоном изменения K^A (от 2 до 97%), зависимость (2) представляется достаточно обоснованной. Это позволяет прогнозировать величины смываемости почв по оценке их агрегированности.

Предложенный в 1932 г. показатель степени агрегатности по Бэйверу и Родесу [3] по своей структуре аналогичен формуле (1), однако для его применения необходимы результаты гранулометрического и микроагрегатного состава (содержание механических элементов и микроагрегатов размером $> 0,05$ мм). Соответствие значений A^A , определяемых по результатам гранулометрического и микроагрегатного состава, значениям, вычисленным по (1), установлено для черноземных почв на основе 32 пар определений в диапазоне значений 28—56%. Выявлена устойчивая линейная связь, при этом коэффициент корреляции составил $0,97 \pm 0,22$. Сравнительная оценка модификаций показателя разностным методом по сопряженным выборкам показала, что различия находятся в пределах случайных колебаний. Однако оценка агрегированности почв по новой мо-

Изменение содержания гумуса, микроагрегированности и смываемости пахотных почв зонального ряда ЕС

Тип, подтип почвы	Содержание сум- С _{1v} в слое	~о см	Яо, г/с-м
	%		
Черноземы реградируемые, типичные, обыкновенные	4-6 и более	>77	0,14-0,16
Темно серые, серые лесные	3,0-5,7	36-77	0,16-0,19
Черноземы оподзоленные, выщелоченные, южные	2,0-3,5'	15-36	0,19-0,24
Черноземы карбонатные Молдовы	2,0-2,7	20-27	0,22-0,24
Темно-каштановые и каштановые	1,5-2,0	3-11	0,27-0,30

дифференциации с точки зрения технической реализации представляется более производительной.

Кроме того, существен факт ускоренного движения в воде частиц с диаметром $\hat{0},05$ мм [2], что выходит за область применения закона Стокса, положенного в основу определения гранулометрического состава почвы.

В зональном разрезе (от дерново-подзолистых до темно-каштановых почв) выявляется тесная зависимость коэффициента агрегированности слоя 0—20 см пахотных почв (K_x) с содержанием гумуса (Г) в нем (рисунки). Установленные парные взаимосвязи между смываемостью и коэффициентом агрегированности, а последнего с содержанием гумуса позволяют выявить общие закономерности предрасположенности проявления водно-эрозионного процесса на пахотных землях с учетом почвенно-географической зональности (табл. 2). При анализе сопряженного ряда почв с различиями в гумусированности, обусловленными другими причинами, например изменением содержания гумуса в пределах одного типа (подтипа) почвы, по разным степеням эродированности, показатель K_x может казаться недостаточно чувствительным. В таких случаях целесообразно привлекать к анализу другие показатели агрофизического состояния.

При рассмотрении целинных и орошаемых почв, а также почв, восстанавливающих гумусное состояние, встает вопрос не только о количестве, но и качестве гумуса, в частности его агрегирующей эффективности. Предлагается ее оценивать по отношению Al/G , показывающему, сколько процентов агрегированности обеспечивает 1% данного гумуса. Исследованиями в Южной степи УССР (табл. 3) установлена более высокая эффективность гумуса в агрегировании пахотных почв по сравнению с целинными. Связано это с тем, что детрит и предгумусовые вещества при худшем влажностном режиме целинных почв и меньшей скорости минерализационных процессов, накапливаясь, в значительной мере искажают представление об истинном участии специфических гумусовых веществ в формировании органо-минеральных комплексов.

На этапе становления гумусового профиля молодой почвы на курганной насыпи отмечается, как и в условиях целины, приход большого количества растительного материала с оиадом и отмирающими корнями. Однако в результате относительного равновесия процессов гумификации и минерализации органического вещества новообразованный гумус не менее эффективен в агрегировании почвы, чем на пашне. Интересно отметить, что аналогичный вывод о решающей роли в плодородии почв не

**Агрегирующая эффективность гумуса для слоя 0 - 20 см
различных почв**

Почва и место отбора образца	Гумус (Г)	ЭПЧ		г
	%			
Чернозем южный супесчаный				
цел ии»	2,80	43	29,5	15
пашня	1,51	37	36,0	25
Темно-каштановая легкосуглинистая, лесополоса из акации	3,88	36	31,5	9
Темно-каштановая легкосуглинистая, орошаемая, пашня	1,78	59	50,8	33
Молодая почва на кургане, травяной покров	1,51	40	35,4	27

гумуса вообще, а его биологически активной части получен при исследовании первичного почвообразования на рекультивируемых землях [1]. При орошении темно-каштановых почв существенная трансформация ряда процессов, прежде всего физико-коллоидных и биологических, приводит к формированию водоустойчивой структуры в оптимальном диапазоне. На наш взгляд, этот факт тесно связан с недавно выявленной закономерностью увеличения противоэрозионной стойкости черноземных и темно-каштановых почв на оросительных системах юга УССР [9].

Хорошо дополняет интерпретацию данных общее содержание несвязанных ЭПЧ, которое, во-первых, определялось без какого-либо разрушающего воздействия на микроагрегаты, а во-вторых, включает в себя также фракции, не учитываемые структурой формулы K^A (т. е. $>0,25$ и $<0,05$ мм). Так, в орошаемых супесчаных почвах, наряду с высокой агрегирующей эффективностью гумуса, отмечается высокое содержание неагрегированных частиц (51%), вероятно, из-за невысокой эффективности гумуса для частиц $>0,25$ мм (показательно сравнение с данными табл. 1 для тяжелосуглинистых почв).

Обсуждение полученных результатов позволяет сформулировать заключение о правомерности использования двухуровневой системы показателей, определяющих противоэрозионную стойкость почв. При межзональном сравнении величин смыва на пахотных землях с близким уровнем культуры земледелия противоэрозионная стойкость достаточно хорошо индуцируется такими показателями, как коэффициент агрегированности и содержание гумуса. На региональном уровне появление особенностей, обусловленных специфическими природными и антропогенными процессами, определяет необходимость привлечения более частных, но и более чувствительных показателей (структурности, водоустойчивости, водопроницаемости, агрегирующей эффективности гумуса и др.). В этой связи целесообразно рассмотреть некоторые расчетные методы прогноза водно-эрозионных потерь почвы и особенности учета ее противоэрозионных свойств на конкретном примере.

В отличие от модели Г. И. Швевса почвенный блок в модели Ц. Е. Мирцулавы представляет показатель иного иерархического уровня, чем абсолютная и относительная характеристика смываемости, — размер смываемых частиц и агрегатов.

Средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов — параметр, имеющий значительную пространственную и временную изменчивость.

Даже в условиях стационарного полевого опыта (Донецкая противоэрозионная опытная станция, чернозем обыкновенный малогумусный слабо-эродированный) изменчивость (1986—1987 гг.), обусловленная цикличностью применения агротехнических приемов и фактором времени, определяет значение коэффициента вариации, равного 24%. Для примера покажем ранжированный ряд наблюдаемых значений (d , мм): 0,38; 0,41; 0,43; 0,44; 0,40; 0,50; 0,51; 0,52; 0,53; 0,53; 0,56; 0,58; 0,61; 0,61; 0,61; 0,64; 0,68; 0,70; 0,72; 0,79; 0,86; 0,91. Поэтому при использовании гидромеханической модели смыва почвы Ц. Е. Мирцхулавы необходимо принимать статистически обоснованные значения средневзвешенного диаметра агрегатов. При выборе же конкретного значения d , по нашему мнению, целесообразно исходить из общего логического правила, заключающегося в том, что для обеспечения надежности проектируемого комплекса противоэрозионных мероприятий численное обоснование параметров расчетной схемы должно позволять прогнозировать результат на худшее сочетание условий проявления водно-эрозионного процесса. Таким образом, представляется обоснованным использование значения средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов 10%-ной обеспеченности или, применяя терминологию порядковой статистики, значения нижнего дециля (значение da . при $a = 0,1$). Для рассмотренного примера оно составило 0,42 мм.

Расчеты по обоим методикам проведены для Вобринецкого р-на Кировоградской обл. УССР. Преобладающая почва — чернозем обыкновенный мощный малогумусный. Площадь пашни 114,2 тыс. га, из них несмытые почвы занимают 57,7 тыс. га, слабо-, средне-, и сильносмытые — 44,5, 11,2 и 0,8 тыс. га соответственно. Средневзвешенные значения уклона пахотных земель составляют 2,3% длины элементарного склона 992 м.

Значения показателей формулы среднегодового модуля ливневого смыва почвы по Швобсу [8] следующие: гидрометеорологический параметр 10%-ной обеспеченности ($K_{гм}$, мст. Бобринец) — 7,6 т/га, средневзвешенная величина относительной характеристики смываемости (ν) 1,39.

Для параметров гидромеханической модели поверхностного смыва Мирцхулавы [6] приняты следующие значения: коэффициент стока 10%-ной обеспеченности (σ) 0,4, продолжительность эрозионно опасной части ливня 10%-ной обеспеченности (T) 2640 с, средняя интенсивность этого ливня (λ) 1,4 мм/мин, плотность сложения почвы (f) 1,3 т/м³, средневзвешенный диаметр смытых частиц и агрегатов (d) 0,001 м, средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов почвы (d) 10%-ной обеспеченности 0,0005 м, коэффициент шероховатости (n^0) 0,0116; $(0,7d)^{\nu*}$

$$\sigma = \sqrt{2 - D^{\text{п}} U^{\text{стима}} \text{ скорость } (V_{\text{длоп}}) 0,062 \text{ м/с, } w = 10 \text{ с}^{-1}.$$

Расчеты показали, что для паровой поверхности смыв с пахотных земель Вобринецкого р-на составляет по формуле Швобса 14,8 т/га, по формуле Мирцхулавы — 14,3 т/га. Сходимость полученных результатов показывает, что оценка противоэрозионной стойкости почв по агрофизическим показателям разных иерархических уровней не является противоречивой, предпочтение в применении того или иного уровня должно определяться целью исследований.

Список литературы

1. *Бурькин А. М., Сергеев М. В.* Органическое вещество и плодородие восстанавливаемых почв // Вестн. сельскохозяйств. науки. 1985. № 8. С. 36-43.
2. *Воронин А. Д.* Основы физики почв: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
3. *Качинский Н. А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М., 1958. 192 с.
4. *Кузнецов М. С.* Противозерозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 136 с.
5. *Ларионов Г. А.* Смываемость пахотных почв // Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 30-39.
6. *Мирихулава Ц. Е.* Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М., 1970. 240 с.
7. *Хан К. Ю., Игошин Н. И., Гайворон А. И.* О противозерозионной стойкости некоторых типов почв юга ЕТС // Науч.-техн. бюл. (Курск). 1981. № 28. С. 3-7.
8. *Швебс Г. И.* Теоретические основы эрозиоведения. Киев; Одесса, 1981. 224 с.
9. *Швебс Г. И., Светличный А. А., Черный С. Г.* Противозерозионная стойкость почв юга УССР и ее изменение под влиянием орошения // Почвоведение. 1988. № 1. С. 94-100.

УкрНИИПА им. А. Н. Соколовского,
г. Харьков

Поступила в редакцию
7.04.1989

Одесский государственный университет

S. Yu. BULYGIN., F. N. LISETSKIY

SOIL MICROAGGREGATION AS A MEASURE
FOR EROSION CONTROL

The relation between soil erosion vulnerability, soil microaggregation and humus content in arable soils of the Russian Plain has been found. It is considered the possible use the two-level system of soil erosion criteria.