УДК 631.485: 631.484

ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДОРОДИЯ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ЗА СЧЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Ф.Н. Лисецкий, д.г.н., Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Определена зависимость изменения массы растительных остатков от длины склона и степени смытости почвы. Показано влияние положения почв в склоновых микрозонах на поступление поверхностных остатков озимой пшеницы. Установлена более активная трансформация соломы в эродированной почве по сравнению с неэродированной.

Ключевые слова: эродированные почвы, растительные остатки, зерновые культуры.

При земледельческом освоении эрозионно опасных территорий потери органического вещества и связанные с этим изменения почвенной структуры следует признать критическими факторами влияния на величину ущерба, причиняемого процессами эрозии. Считается [9], что более рационально использовать систему по предотвращению почвенной эрозии, чем применять методы, необходимые для восстановления эродированных почв. Однако, пока не удается ограничить интенсивность эрозионных процессов до уровня допустимых потерь и площадь эродированных почв постоянно растет.

Замечено, что в равнинных условиях при высокой вариации урожайности изменение массы растительных остатков инерционно, тогда как на смытых почвах уменьшение основной продукции и массы растительных остатков сопоставимо. Привнос растительного вещества на поверхность почвы или в почву (путем запахивания пожнивных остатков, соломы, иногда сидератов, попадания в трещины и перемещения вглубь животными, а также отпада корней) – существенная составляющая гумусового баланса почвы. Помимо этого способность почвы к восстановлению разрушенной почвенной структуры прямо зависит от массы поступившего энергетического материала (углерода). Исходной основой для определения потребности в усилении противоэрозионных мер служит оценка почвозащитных эффектов пожнивных остатков и армирующей роли корней. В сельском хозяйстве США [11] пути использования поверхностных остатков выбирают только после установления соотношения между темпами эрозии и допустимыми потерями почвы. По сравнению с традиционными агротехнологиями хотя и наблюдается увеличение количества поверхностных остатков в результате применения минимальных обработок почвы и экологизации земледелия, но они не влияют на С и N почвы [12].

Цель наших исследований – количественная оценка на смытых почвах органического вещества, поступающего при запахивании растительных остатков.

Методика. Исследования проводили на нескольких смежных склонах с разными условиями рельефа и проявления эрозии почв. Ключевым участком выбран распаханный склон западной экспозиции длиной 820 м и средним уклоном 2,5° (склон №1). Геоморфологические и почвенные (для слоя 0-20 см) характеристики других склонов в степных агроландшафтах (№ 2-5) отражены в таблице 1. Природная основа агроландшафтов основного района исследований – территория среднедренированных лёссовых равнин Приморской низменной степи с черноземами южными солонцеватыми. Климат засушливый: сумма атмосферных осадков – 400 мм/год, коэффициент увлажнения – 0,48, гидротермический коэффициент Селянинова – 0,7.

Поверхностные остатки (ПО) учитывали в 7-10-кратной повторности сразу после уборки сельскохозяйственных культур. Привлекали полученные автором многолетние оценки массы ПО озимой пшеницы (n = 146), которые анализировали по степеням смытости почв и их позициям на склоне. В период цветения проводили учет корней, когда их количество наибольшее

Почвенные монолиты для отмывки корней в сите с размером ячей 0,25 мм отбирали послойно в 4-кратной повторности. Процесс разложения ПО изучали по убыли массы образцов, помещенных в капроновую сетку с размером ячей 1,4 мм, а для оценки трансформации корней в почве применяли мешочки из стеклоткани.

Результаты и их обсуждение. В настоящее время накоплено много данных о массе поступающих в почву растительных остатков сельскохозяйственных культур. В результате получены уравнения регрессии [4 и др.], по которым можно рассчитать массу растительных остатков для разных уровней урожайности соответствующих культур. Однако неясно, применимы ли такие уравнения для оценки поступления растительных остатков на почвах разной степени смытости.

Почвы на различных элементах склонов различаются мощностью гумусового горизонта, ресурсами почвенного плодородия, биологической активностью, урожайностью возделываемых культур, массой поступающих поверхностных и корневых остатков. Причем, поправочные коэффициенты на степень смытости по этим критериям варьируют. Например, если по трем степеням смытости сопоставить снижение урожая зерновых культур с уровнем потенциального плодородия южных черноземов, выраженного в запасах гумуса в первом полуметре, то в среднем чувствительность урожая зерновых культур на 8% меньше, чем это можно ожидать по снижению гумусированности почв под влиянием эрозии.

Микроклиматические различия на полярных склонах (южных и северных) по условиям тепло- и влагообеспеченности можно обобщенно (в энергозатратах на почвообразование) оценить в 211 МДж/(м^2·год), что по расчетной методике оценки годичной продукции растительности [7] эквивалентно 6 т/га. Помимо климата различия в продуктивности ценозов и поступлении растительного вещества обусловлены неоднородностью почв на склонах. Причем, на продуктивность почв кроме эродированности существенно влияет и их местоположение (позиция) на склоне.

К общей закономерности изменения массы ПО по длине склона можно отнести неоднозначную ее зависимость от мощности горизонтов А+АВ и расстояния от водораздела. Если масса ПО озимой пшеницы по многолетним данным составляет на несмытых почвах 2,44 т/га (доверительный интервал: 2,32-2,56 при P = 0,95), то в пределах склонов № 2-5 варьирование больше: 1,44-4,09 т/га (табл. 1). Важно отметить, что в условиях степной зоны нижние части склонов, где совместно и по-разному проявляются эрозионный и аккумулятивный процессы, продуктивность агроценозов и соответственно поступление растительного вещества больше зависит от дополнительного увлажнения в этих микрозонах, чем от почвенного плодородия. В специальных опытах, где постоянно поддерживали оптимальное увлажнение почв разной степени смытости (60% НВ), урожаи озимой пшеницы (с подсевом люцерны) не опускались ниже 80% относительно продуктивности на несмытой почве, а урожаи люцерны на сильносмытых почвах составляли 74-95% от урожаев на несмытой почве [6]. По многолетним наблюдениям масса ПО озимой пшеницы в верхней, средней и нижней частях склонов составляет 99, 83 и 60% соответственно от массы на плакоре с полнопрофильным южным черноземом.

Наиболее детальные исследования рельефа, поч и агроценозов проведены на ключевом участке (склон №1). Почва–чернозем южный малогумусный тяжелосуглинистый разной степени смытости. Если на водоразделе мощность горизонта А составляет 34 см, гумусового (А+АВ) – 60 см, содержание

гумуса в слое 0-20 см – 2,57%, то в эрозионной зоне мощность гор. А+АВ – 30 см, содержание гумуса – 2,22% соответственно.

1. Геоморфологические и почвенные условия склонов в агроландшафтах лессовых равнин средней и южной степи

Склон 2. Чернозем обыкновенный маломощный малогумусный

Экспозиция склона	Расстояние от водораздела (L), м	Уклон, град.	Степень смытости почвы	Мощность горизонтов, см		Глубина вскипания от HCl, см	$CaCO_3$	Гумус	Объемная масса, г/см^3	Урожай[1]	Количество поверхностных остатков[1]
				А	А+АВ		%			ц/га	
Южная	0	0	Несмытая	51	74	35	5,21	2,81	1,23	25,97±3,8	23,52±3,2
	52	2	Слабосмытая	38	60	23	7,00	2,68	1,31	26,20±5,4	22,57±4,9
	120	7	Среднесмытая	26	58	0	8,00	2,20	1,32	9,43±2,5	14,36±2,9

Склон 3. Чернозем южный солонцеватый

Экспозиция склона	L, м	Уклон, град.	Степень смытости (намытости) почвы	Мощность горизонтов, см		Глубина вскипания от HCl, см	$CaCO_3$	Гумус	Урожай[2]	Количество поверхностных остатков[2]
				А	А+АВ		%		ц/га	
Западная	0	0	Несмытая	26	45	46	5,19	2,58	34,93±8,9	20,74±7,9
	10	0,5	Слабосмытая	22	41	41	8,41	2,35	31,56±9,9	21,23±8,4
	94	2	Смыто-намытая	47	66	66	4,80	2,21	16,56±8,3	14,86±7,2
	188	0	Намытая	78	-	> 80	10,80	3,07	50,30±12,9	21,25±11,6

Склон 4. Чернозем южный солонцеватый

Экспозиция склона	L, м	Уклон, град.	Степень смытости почвы	Мощность горизонтов, см		Гумус, %	Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г	Объемная масса, г/см^3	Количество поверхностных остатков[1], ц/га
				А	А+АВ				
Восточная	120	5	Смыто-намытая	31	52	2,58	28,38	1,11	20,80±4,8
	0	0	Несмытая	32	53	2,56	30,71	1,13	40,91±7,9
Западная	127	1-2	Слабосмытая	29	49	2,06	22,77	1,11	32,09±4,5
	202	2	Слабосмытая	25	44	2,43	24,46	1,19	24,48±4,8
	277	3-4	Среднесмытая	-	33	1,79	21,97	1,17	24,45±5,5

Склон 5. Чернозем южный солонцеватый

Экспозиция склона	L, м	Уклон, град.	Степень сытости (намытости) почвы	Мощность гор. А	Глубина вскипания от HCl	$CaCO_3$	Гумус	Объемная масса, г/см^3	Количество поверхностных остатков[2], ц/га
				см		%			
Западная	0	До 1	Несмытая	46	74	4,21	2,74	0,90	26,42±6,9
	58	6	Сильносмытая	0	0	17,81	1,95	1,24	16,16±5,9
	72	0	Намытая (маломощная)	85	0	7,00	2,94	0,94	35,92±13,3

Примечание. [1] – озимая пшеница; [2] – озимый ячмень. Доверительные интервалы даны с 95%-ным уровнем вероятности.

При средней высоте среза стерни озимой пшеницы около 20 (15-29) см масса ПО по результатам усреднения данных для всего склона (n = 44) составляет 2,635 т/га. Выполнен сопряженный анализ показателей в точках, расположенных по профилю от водораздела до подножия склона. На эрозионной катене масса ПО снижается по линейному закону от 3,2 до 2,1 т/га, что определяет градиент 24 кг на каждые 100 м длины склона. Важно отметить, что масса ПО, поступающих в почву, существенно зависит не только от изменения почвенного плодородия, обусловленного эрозией, но и от позиции почвы на склоне в пределах определенных ландшафтных полос. Для верхней и средней частей склона установлена зависимость массы ПО от мощности гумусового горизонта (в диапазоне от 34 до 60 см): она выражается в уменьшении массы ПО на 98 кг/га на каждые 5 см снижения мощности гор. А+АВ. В нижней трети склона при существенной разнице мощности гумусового горизонта значительно меняется и масса ПО (1,54-2,73 т/га).

На склоне №1 установлено, что сопряженное увеличение мощности гумусового горизонта и массы ПО наблюдается только до определенной (оптимальной) величины А+АВ (в данном случае 40-45 см). Такая же оптимальная мощность южного чернозема обоснована откликом урожая озимой пшеницы в опытах по рекультивации нарушенных земель.

Результаты исследований на склонах с различной экспозицией, длиной, крутизной, определенным набором степеней смытости обобщены путем соотнесения значений характеристик смытых почв каждого склона с характеристиками соответствующей несмытой почвой (см. табл. 1). Анализ проводили по ландшафтным микрозонам, которые выразительно дифференцируют зоны различной возможности реализации потенциального плодородия почвы в связи с действием определяющего фактора в данных природных условиях – влагообеспеченности. Поэтому на слабосмытых почвах в верхней, средней, нижней частях склона отмечены существенные различия по массе ПО. А слабо-, средне- и сильносмытые почвы нижних частей склонов по величине прихода ПО можно анализировать вместе.

Влияние степени смытости почвы на массу растительных остатков различается для отдельных их видов: более значительно оно проявляется по отношению к ПО, чем к корням. По данным М.Н. Заславского [3], с увеличением смытости почв надземная масса снижается в 1,5-2 раза, а масса корней уменьшается на 8-10%. Результаты табл. 2 показывают, что масса ПО на сильносмытой почве почти в 2 раза меньше, чем на несмытой, тогда как корней в слое 0-20 см стало даже больше. В вегетационных опытах [5] установлено, что на менее плодородной почве величина коэффициента продуктивности работы корней снижается, так как доля корней в общей биомассе возрастает. Очевидно, что аналогичная особенность проявится при ухудшении почвенных свойств под влиянием эрозии. Поэтому по массе ПО можно судить об эрозионной обусловленности изменения плодородия почв.

Обобщение данных показало, что среднее снижение урожайности озимой пшеницы на черноземе южном слабосмытом составляет 82%, среднесмытом – 60 и сильносмытом – 40% по сравнению с эталоном. По результатам многолетних определений среднее количество ПО озимой пшеницы на слабо-, средне- и сильносмытых почвах составляет 84; 61 и 57% соответственно. Сопоставление параллельных учетов урожая зерна и массы ПО свидетельствует, что эродированность почв сильнее влияет на урожай основной продукции, чем на ПО. Особенно четко такая закономерность проявляется на сильносмытой почве.

2. Урожайность и количество растительных остатков озимой пшеницы на черноземе южном солонцеватом разной степени смытости

Почва по степени смытости	Расстояние от водораздела, м	Урожайность	Поверхностные остатки	Корневые остатки в слое, см		
				0-10	10-20	0-20
		ц/га				
Несмытая	0	34,60±8,9	34,97±6,8	20,45±6,3	6,62±1,6	27,07
Среднесмытая	109	19,56±13,5	26,22±13,5	10,53±5,7	6,36±2,6	16,89
Сильносмытая	144	12,87±7,2	18,25±7,2	19,60±10,0	9,12±5,8	28,72

В некоторых случаях, обычно в нижних частях склонов, выделяли особые смыто-намытые почвы (склоны № 3, 4). По величине поступления ПО (в среднем 79% от прихода на несмытом аналоге) они занимали промежуточное положение между слабо- и среднесмытыми почвами и сильно уступали намытым (120%). Вместе с тем, по мощности и содержанию гумуса смыто-намытые почвы близки к несмытым или превосходят их. Это еще раз подтверждает важное значение склоновой микрозональности в дифференциации урожайности культур и поступлении их ПО.

Помимо оценки процесса поступления в почвы растительных остатков (надземных и подземных) большое значение имеет изучение их трансформации, минерализации и гумификации. Различия в трансформации ПО и корней несущественны, а иногда и отсутствуют, что принципиально отличается от особенностей разложения надземной массы и корней злаковой растительности на целине. Результаты опытов по разложению остатков пшеницы в отдельных слоях профиля показывают тенденцию к уменьшению скорости трансформации с глубиной. Но статистической обработкой опытов, проведенных с большими повторностями, не установлено достоверных различий скорости разложения ПО в пахотном горизонте и корней в верхней части гор. А. Потеря массы ПО озимой пшеницы (Mt, %) во времени (t = 1-14 мес) в пахотном горизонте несмытых почв можно выразить уравнением линейной регрессии: Mt = 5,6 t (при коэффициенте корреляции 0,92±0,15). Со временем скорость разложения замедляется: если за 1-й год разлагается в среднем 67% ПО, то за 2-й – 6-7%.

Сопоставление скорости разложения корней в несмытом и слабосмытом южном черноземе проводили в годичном полевом опыте (табл. 3). За это время сумма атмосферных осадков составила 310 мм (-8 мм от нормы за тот же период) при средней температуре воздуха 11,5 ºС (+1,7ºС к норме). При незначительных различиях в свойствах обеих почв несмытая почва, очевидно, обладает лучшей микробиологической активностью, что отразилось на более высоких темпах трансформации корней.

3. Степень разложения корней озимой пшеницы на разных глубинах чернозема южного несмытого и слабосмытого

Почва	Расстояние от водораздела, м	Глубина закладки проб, см	Гумус	$CaCO_3$	Поглощенные основания, ммоль(экв)/100 г			Средняя влажность	Степень разложения за 1 год
			%		Ca	Mg	сумма	%	
Несмытая	0	20	2,21	4,59	15,80	4,00	19,99	17,2	52,29
		30	1,51	17,60	15,00	4,00	19,23		42,08
Слабосмытая	126	20	2,07	5,80	17,10	4,00	21,30	17,4	39,13
		30	1,50	4,00	13,00	4,40	17,54		33,34

В более длительном опыте сравнивали скорости разложения растительных остатков в несмытом и среднесмытом черноземе (табл. 4). За первый период опыта (1,6 года) общая сумма осадков составила 643 мм (+2 мм к норме соответствующего периода) при температуре воздуха 8,9 ºС (+1,1ºС к норме), а за 2 года сумма осадков достигла 814 мм (норма) при температуре 10,7 ºС (+1ºС к норме). За 1,6 года темпы разложения корней в среднесмытой почве уступали несмытой. Однако трансформация ПО в эродированной почве происходила более активно, чем в неэродированной. В другом опыте с ПО озимой пшеницы, отобранными на среднесмытой почве и разлагаемыми в ней, степень их разложения на глубине 20 см достигла за 2 мес 24%, что почти в 2 раза больше по сравнению с усредненными данными для несмытых почв.

4. Степень разложения растительных остатков озимой пшеницы в черноземе несмытом и среднесмытом

Почва	Вид растительных остатков	Глубина закладки проб, см	Повторность проб	Гумус, %	Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г	Степень разложения, % за период	
						1 год 7 мес.	2 года
Несмытая	Поверхностные	20	11	2,40	22,76	60,25	67,31
	Корневые	20	14	2,40	22,76	52,25	-
	Корневые	42	12	1,97	22,06	48,50	-
Среднесмытая	Поверхностные	20	12	2,35	23,30	73,08	75,80
	Корневые	20	8	2,35	23,30	47,75	-

Анализируя данные по химическому составу соломы пшеницы, произраставшей на смытых почвах, выявлена тенденцию большего накопления азота в соломе растений, произраставших на обедненных гумусом почвах. Таким образом, на эродированных почвах ПО имеют более узкое отношение C:N, что способно ускорить их трансформацию. В слабо- и среднесмытых почвах нарушение относительного равновесия между мощностью гумусового профиля и запасами гумуса определяет возможность ускоренного гумусонакопления за счет большего значения коэффициента гумификации, чем в генетически зрелых почвах [1]. Для эродированных почв отмечена «молодость» гумусовых веществ [2]. Процессы эрозии подавляют миграцию гуминовых кислот, поэтому увеличение доли фульвокислот отмечено по мере нарастания крутизны склона и глубины профиля склоновых почв.

Таким образом, для воспроизводства плодородия эродированных почв надо обеспечить равновесие составляющих процесса гумусообразования за счет дополнительного энергетического материала (органические удобрения, травосеяние и т.д.). В зональных экосистемах южной степи оптимальное количество растительного вещества, поступающего с поверхности и в слое почвы 0-20 см, составляет 6 т/га в год, что обеспечивает приход гумуса 1,5-1,6 т/га в год [8] и потенциальную среднегодовую скорость формирования гумусового горизонта для слабо-, средне- и сильносмытых почв 0,50; 0,95 и 1,35 т/га соответственно [10]. В современных агроценозах с доминированием зерновых культур их пожнивно-корневые остатки не могут обеспечить приход оптимального количества органического вещества, свойственного зональным фитоценозам. Поэтому за счет растительных остатков культур сплошного посева в пахотный горизонт степных почв на плакорах поступает лишь 38-40% необходимого гумуса, если принять за норму скорость гумусонакопления в зональных условиях. На средне- и сильносмытых почвах масса расти-

тельного вещества на 24-30% меньше по сравнению с несмытыми почвами.

Выводы. В условиях степной зоны склоновая микрозональность ландшафтов является существенным фактором дифференциации прихода растительного вещества. Это может быть еще одним аргументов в пользу перспективности использования в землеустройстве принципов эколого-ландшафтной организации территории, в основе которой лежит функционально-морфологическая дифференциация склоновых земель. Снижение массы поверхностных остатков, поступающих на слабо- и среднесмытые почвы, сопоставимо с потерями основной продукции, а потери урожая на сильносмытых почвах на 17% больше, чем уменьшение массы поверхностных остатков. На активное разложение растительных остатков в смытых почвах влияет отсутствие равновесия составляющих процесса гумусообразования. Поэтому эродированная почва при достаточном количестве поступающих в нее растительных остатков интенсивнее обогащается питательными веществами, чем неэродированная почва. Проблемы повышения плодородия эродированных почв и их противоэрозионной устойчивости должны увязываться с вопросами управления процессом поступления и трансформации растительных остатков сельскохозяйственных культур.

Литература

1. *Ганжара Н.Ф., Ганжара Л.Н.* О соотношении скорости смыва и скорости формирования гумусового горизонта в эродируемых почвах // Оценка и картирование эрозионноопасных и дефляционноопасных земель. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. – С. 120-125. 2. *Донос Т.Г.* Вещественный состав и свойства эродированных черноземов юга Молдавии // Исследование и использование почв Молдавии. – Кишинев, 1977. – С. 54-63. 3. *Заславский М.Н.* Агрономические особенности склоновых земель // Сб. науч. тр. ГИЗР. – 1973. – Вып. 4. – С. 44-55. 4. *Левин Ф.И.* Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия. – 1977. – №8. – С. 36-42. 5. *Лисецкий Ф.Н.* Профильное распределение плодородия в почвах Степи Украины и его изменение под влиянием эрозионных процессов // Почвоведение. – 1988. – №4. – С. 68-76. 6. *Лисецкий Ф.Н.* Посевы люцерны восстанавливают плодородие смытых почв // Земледелие. – 1989. – №11. – С. 30-31. 7. *Лисецкий Ф.Н.* Пространственно-временная оценка растительной продукции как фактора почвообразования // Почвоведение. – 1997. – №9. – С. 1055-1057. 8. *Лисецкий Ф.Н.* Историко-экологические этапы трансформации восточноевропейских степей // Успехи современного естествознания. – 2011. – №5. – С. 33-36. 9. *Dormaar J.F., Lindwall C.W., Kozub G.C.* Restoring productivity to an artificially eroded Dark Brown Chernozemic soil under dryland conditions // Canadian Journal of Soil Science. – 1986. – V. 66. – P. 273-285. 10. *Lisetskii F.N.* Evaluation of rate of reproduction of soil resources // Soviet agricultural sciences. – 1987. – №6. – P. 22-25. 11. *Onstad C.A., Otterby M.A.* Crop residue effects on runoff // J. of Soil and Water Conservation. – 1979. – V. 34. – №2. – P. 94-96. 12. *Sainju U.M., Lenssen A.W., Caesar-TonThat T., Jabro J.D., Lartey R.T., Evans R.G., Allen B.L.* Dryland residue and soil organic matter as influenced by tillage, crop rotation, and cultural practice // Plant and Soil. – 2011. – V. 338. – №1-2. – P. 27-41.

REPRODUCTION OF ERODED SOIL FERTILITY DUE TO CEREAL RESIDUES

F.N. Lisetskii, Belgorod State National Research University
ul. Pobedy 85, Belgorod, 308015 Russia, E-mail: liset@bsu.edu.ru

Dependence of the mass of plant residues on the length of the slope and the degree of soil erosion was determined. The effect of soil position in the slope microzones on the input of winter wheat surface residues was shown. A more active transformation of straw in the eroded soil compared to the uneroded soil was revealed.
Keywords: eroded soils, plant residues, cereals.