

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ФАКТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Л.О. ТРОНИНА, И.М. КУДРЯВЦЕВ

(ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН)

В статье представлены результаты расчетного метода определения потенциальной опасности водной эрозии, количественные агрофизические и агрохимические показатели, полученные традиционными методами прямого их измерения. При расчетах потери в результате водной эрозии агродерново-среднеподзолистой среднесуглинистой слабосмытой почвы использовано универсальное уравнение потерь почвы Wischmeier и Smith (1965), переменными в котором являются эродирующая способность осадков, фактор подверженности почв эрозии, длина и крутизна склона, характер почвенно-растительного покрова и влияние противозерозионных почвозащитных мероприятий. Полученные величины потерь почвы от 1,8 до 12,1 т/га в год подтверждаются изменением содержания связанного с почвой органического вещества за ротацию шестипольного зернопаротравяного севооборота с 2,48 до 1,65% по И.В. Тюрину в зависимости от агрохимического фона, а также плотности почвы 1,31–1,60 г/см³, ее структурного состояния и содержания неустойчивых к водной эрозии микроагрегатов от 7,3 до 14,6%. Определена зависимость отобранных информативных признаков от системы основной обработки агродерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Установлены тесные обратные корреляционные связи содержания микроагрегатов с плотностью почвы ($r = -0,49$) и содержанием связанного с ней органического вещества ($r = -0,74$). Дисперсионный анализ данных позволил проследить влияние системы основной обработки почвы на процессы накопления и распределения органического вещества в пахотном горизонте при разном уровне показателей плодородия агродерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Выявлено более интенсивное развитие эрозионных процессов при ежегодной отвальной обработке.

Ключевые слова: универсальное уравнение потерь почвы, агродерново-подзолистая почва, системы обработки почвы, водная эрозия, вспашка, структура почвы, органическое вещество, агрохимический фон.

Введение

Холмисто-увалистый характер рельефа Европейской части Нечерноземной зоны России и такие свойства, как низкая водопроницаемость, небольшая влагоемкость и плотный подпахотный слой, наиболее распространенной здесь дерново-подзолистой суглинистой почвы, способствуют формированию стока воды [6, 10]. Развитие эрозии сопровождается дифференциацией почвенного профиля по содержанию органического вещества, связанного и не связанного с минеральной частью почвы, происходит общее уменьшение содержания гумуса и увеличение плотности почвы [1, 6, 8].

Таким образом, ухудшаются условия произрастания сельскохозяйственных растений на агродерново-подзолистых почвах, и без того обладающих низким естественным плодородием [9, 10].

Одна из главных задач почвообработки – сократить до минимума смыв почвы от водной эрозии – не более 2–5 т/га в год [4, 5, 10], то есть в пределах саморегенеративной способности почвы, и таким образом исключить дальнейшее разрушение

природных ресурсов, способствовать обеспечению долговременной устойчивости воспроизводства плодородия [7].

Считается, что минимизация почвообработки является одним из важнейших путей ресурсосбережения и защиты почв от эрозии, однако сама глубокая вспашка поперек склона также является противоэрозионным приемом [9, 10]. Широкое распространение эрозионных процессов происходит в основном вследствие шаблонного применения системы основной обработки почвы, поэтому как отвальные, так и минимальные обработки должны применяться в рамках дифференцированной системы основной почвообработки под культуры в севообороте.

Для обоснованного внедрения системы обработки почвы в хозяйстве необходимо учитывать степень эрозионной опасности на пахотных склонах. Однако трудоемкость прямого измерения потерь почвы методом стоковых площадок не позволяет проводить такой учет в условиях деятельности конкретного хозяйства. Ведущим критерием выбора обработки почвы и планирования противоэрозионных мероприятий может выступать прогнозирование водной эрозии, основанное на гидрометеорологическом, геоморфологическом, почвенном, растительном и антропогенном факторах. Примером моделирования и прогнозирования водной эрозии является универсальное уравнение потерь почвы, разработанное американскими исследователями Wischmeier и Smith в 1965 г. Главным достоинством уравнения является возможность прогнозирования среднегодовых потерь почвы со склона в полевых условиях при специфическом использовании данных условий. В 1987 г. уравнение было утверждено в качестве межгосударственного стандарта – ГОСТ 17.4.4.03–86 [3].

Цель исследований: сравнить расчетные результаты потерь агродерново-подзолистой среднесуглинистой слабосмытой почвы с изменением агрохимических и агрофизических ее характеристик полученными традиционными методами прямого их измерения.

Методика исследований

Объект исследований – агродерново-подзолистая слабосмытая среднесуглинистая почва на покровных глинах и тяжелых суглинках, расположенная в Завьяловском районе Удмуртской Республики на территории опытного поля Удмуртского НИИСХ структурного подразделения УдмФИЦ УрО РАН.

В 2015–2020 гг. в многолетнем стационарном полевом опыте в четвертой ротации зернопаротравяного севооборота проводились исследования по изучению систем основной обработки почвы на трех агрохимических фонах (табл. 1). Исследуемые фоны сформировались в зависимости от доз внесенного навоза (2004 г.), использования сидеральных культур и различных доз минеральных удобрений в третьей ротации севооборота.

Чередование культур в севообороте: 2015 г. – чистый/сидеральный пар; 2016 г. – озимая рожь; 2017 г. – яровая пшеница + клевер; 2018 г. – клевер 1 года пользования на сидерат; 2019 г. – ячмень; 2020 г. – горчица белая.

В 2015 г. согласно схеме опыта были заделаны сидеральные культуры: на высоком фоне клевер 1 г.п. с урожайностью зеленой массы 32,5 т/га; на среднем фоне горохоовсяная смесь – 21,5 т/га; на повышенном фоне в чистом пару были проведены двукратное дискование БДТ-3, культивация с боронованием КПЭ-3,8, затем основная обработка почвы по схеме опыта. Уборка зерновых культур и горчицы проводилась с измельчением соломы с последующей ее заделкой исследуемыми способами, урожай клевера 2018 г. также был заделан в почву согласно схеме опыта. В 2016 г. была проведена весенняя прикормовая подкормка озимой ржи аммиачной селитрой (N_{30});

в 2017 и 2019 гг. – предпосевное внесение нитроаммофоски (NPK₄₅) под яровые зерновые. В представленном материале сравниваются отвальная и минимальная системы основной обработки почвы: отвальная – ежегодная вспашка до 18 см (ПН-3–35); минимальная – ежегодное поверхностное рыхление до 8 см (КПЭ-3,8), мелкая заделка клевера до 10 см (БДТ-3 в 2 следа).

Таблица 1

Уровни агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой слабосмытой почвы в начале четвертой ротации зернопаротравяного севооборота (2015 г.)

Уровни агрохимических фонов*	Органическое вещество, %	рН _{КСЛ}	Нг	S	P ₂ O ₅	K ₂ O
			ммоль/100 г почвы		мг/кг почвы	
повышенный	2,26±0,11	5,37	2,74	9,36	266	133
высокий	2,48±0,07	5,44	2,44	10,52	471	175
средний	1,78±0,18	4,99	2,72	7,42	206	128

*Расположение агрохимических фонов в таблице соответствует расположению агрохимических фонов на склоне (рис. 1).

Почвенные пробы отбирали по слоям 0–10 и 10–20 см в сентябре 2017, 2019 и 2020 гг. после уборки возделываемых в опыте культур, в 2018 г. – перед заделкой зеленой массы клевера. Определение агрофизических свойств проводили по общепринятым методикам: влажность почвы – методом высушивания до постоянной массы; плотность – методом режущего кольца; агрегатный состав – по Н.И. Саввинову. Содержание ОВ в почве определяли по И.В. Тюрину в модификации Никитина.

Для проведения расчетов потери почвы в результате эрозии использовано универсальное уравнение потерь почвы [11] (1):

$$Q = 0.224 \times R \times K \times L \times S \times C \times P, \quad (1)$$

где Q – потери почвы в результате эрозии, кг/га; 0,224 – поправочный коэффициент, введенный Вишмайером и Смитом.

Следующие переменные уравнения разделены на две части:

– Переменные окружающей среды, относительно стабильные по времени:

R – фактор эродирующей способности осадков (по Вишмайеру-Смиту);

K – фактор подверженности почв эрозии (определяется в зависимости от ГМС и содержания гумуса, для дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой слабосмытой почвы – 0,34);

L – фактор длины склона;

S – фактор крутизны склона.

– Переменные величины, изменения которых носят сезонный характер и могут в течение года достаточно часто меняться:

C – фактор классификации почвенно-растительного покрова (значение фактора C принято как среднее между орошаемыми пахотными землями (0,47) и культурным травяным покровом (0,32) – 0,4;

P – фактор влияния противозерозионных почвозащитных мероприятий (используется коэффициент 0,6) [2].

Для оценки эродирующей способности осадков применено уравнение (2):

$$R = R_{\text{дождя}} + (R_s \times 0.0591), \quad (2)$$

где R – фактор эродирующей способности осадков; $R_{\text{дождя}}$ – фактор эродирующей способности дождя, рассчитываемый по формуле (3); R_s – фактор эродирующей способности талых вод, рассчитываемый путем сложения суммы осадков за период с ноября по март, умноженной на коэффициент 0,0591.

$$R_{\text{дождя}} = ([E] \times r30 \div 173.6), \quad (3)$$

где $R_{\text{дождя}}$ – фактор эродирующей способности дождя; E – кинетическая энергия дождевых капель, определяемая по формуле (4); $r30$ – средняя 30-минутная интенсивность дождя.

$$E = 1.213 + 0.8901 \times \lg r, \quad (4)$$

где E – кинетическая энергия дождевых капель; r – интенсивность дождя.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием дисперсионного и корреляционного анализа по Б.А. Доспехову (1985) с помощью программы Microsoft Office 2013.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальный участок площадью 8,3 га расположен на опытном поле Удмуртского НИИСХ структурного подразделения УдмФИЦ УрО РАН. Элемент рельефа – средняя часть пологого ($2-3^\circ$) юго-восточного склона. Ближайшими водными объектами являются р. Позимь и р. Вожойка, которые относятся к типу рек с весенне-летним, хорошо выраженным половодьем. Линия водораздела находится на высоте 179 м над уровнем моря. Смыв почвы на склоне вызывают весенние талые воды и ливневые дожди. Наибольший сток – в мае.

Для расчета фактора эродирующей способности осадков, с учетом специфического характера энергетического воздействия на почву стекающей массы талых вод и осадков вегетационного периода с апреля по октябрь, использовались данные метеостанций (Удмуртский ЦГМС, метеостанция Ижевск). Расчет смыва почвы со склонов применительно к условиям стока воды дает возможность сравнительного анализа и количественной оценки интенсивности эрозионных процессов (табл. 2). В примененной методике американских исследователей Wismeier и Smith одновременно учитываются длина и крутизна склона, что способствует повышению достоверности определения показателей эродируемости почв.

Эффективность обработки почвы в борьбе с водной эрозией зависит прежде

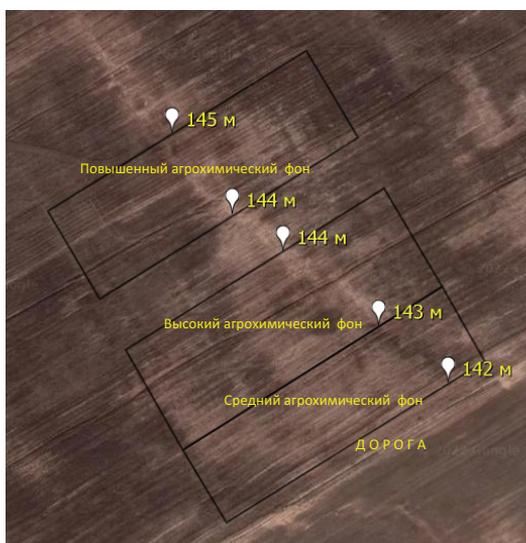


Рис. 1. Расположение агрохимических фонов на склоне с указанием высоты над уровнем моря вдоль линии стока, м

всего от количества выпадающих осадков и растительного фактора. В 2015 г. на повышенном агрохимическом фоне был расположен чистый пар, который наиболее сильно подвергся водной эрозии. Расчетные годовые потери почвы составили 12,1 т/га за счет наибольшего в период наблюдений количества осадков 510,6 мм, выпавших в виде дождя. Эрозийность ливней, при большей кинетической энергии дождевых капель относительно поверхностного стока талых вод, оказывает решающее влияние на фактор эродирующей способности осадков. Так, ливни 2015 и 2017 гг. способствовали росту показателя R до 353,3 и 313,4 соответственно, что привело к значительным потерям почвы в размере 12,1–5,1 т/га.

Таблица 2

Расчетные потери почвы в результате водной эрозии, т/га (2015–2020 гг.)

Год	Количество осадков, выпавших в виде дождя, мм	Количество осадков, выпавших в виде снега R _s , мм	Фактор эродирующей способности осадков R	Расчетные потери, т*		
				повышенный фон	высокий фон	средний фон
2015	510	152	353,3	12,1	11,2	5,8
2016	292	248	138,6	4,7	4,4	2,2
2017	502	220	313,4	10,7	9,9	5,1
2018	367	182	175,2	6,0	5,5	2,8
2019	412	227	203,6	6,9	6,4	3,3
2020	308	202	108,9	3,7	3,5	1,8

*Расположение агрохимических фонов в таблице соответствует расположению агрохимических фонов на склоне (рис. 1).

Снижение потерь почвы до 1,8 т/га в год на среднем агрофоне может быть обусловлено снижением скорости потока в пределах выровненного рельефа вдоль дороги, а также намыванием неустойчивых микроагрегатов с расположенных выше фонов.

В конце четвертой ротации зернопаротравяного севооборота (2020 г.) мы вновь определили содержание ОВ в почве по слоям 0–10 и 10–20 см. Установлено общее снижение содержания связанного с минеральной частью почвы органического вещества относительно данного показателя 2015 г. (рис. 2). Существенно большими потери ОВ на высоком агрохимическом фоне, относительно повышенном, обусловлены большей скоростью его минерализации и выносом питательных веществ с урожаем. В результате к концу ротации шестипольного зернопаротравяного севооборота повышенный и высокий агрохимические фоны выровнялись по содержанию связанного с почвой ОВ.

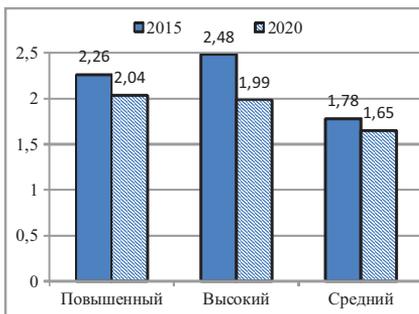


Рис. 2. Содержание связанного с почвой органического вещества в начале и в конце ротации зернопаротравяного севооборота, % (2015 и 2020 гг.)

Дисперсионный анализ данных позволил проследить влияние системы основной обработки почвы на процессы накопления и распределения органического вещества в пахотном

горизонте при разном уровне показателей плодородия агродерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что при ежегодной вспашке содержание органического вещества на всех агрофонах было низким – 21,4–28,1 т/га. Очень низкое содержание ОВ отмечено также при ежегодном поверхностном рыхлении 22 т/га в необрабатываемом слое 10–20 см. Поверхностная система обработки почвы способствовала достоверному накоплению ОВ в верхнем слое пахотного горизонта и существенно повысила его содержание до 31,6 т/га на повышенном агрохимическом фоне, но привела к значительной послышной дифференциации пахотного горизонта по плодородию с преимуществом слоя 0–10 см. При отвальной системе обработки почвы органическое вещество лучше сохранялось в нижнем десятисантиметровом слое на 3,2 т/га относительно верхнего.

Таблица 3

**Содержание связанного с почвой органического вещества
в пахотном горизонте в зависимости от агрохимического фона
и системы основной обработки почвы, т/га (2020 г.)**

Уровень показателей	0–10 см		Ср. А	10–20 см		Ср. А
	О	М		О	М	
Повышенный (к)**	24,1	31,6	27,8	28,1	25,2	26,6
Высокий***	25,3	29,3	27,3	26,2	27,1	26,6
Средний *	21,4	23,8	22,6	26,0	22,0	24,0
Среднее по фактору В	23,6	28,2		26,8	24,8	
НСР ₀₅	главных эффектов	частных различий		главных эффектов	частных различий	
А	1,4	2,4		1,8	3,0	
В	1,1	1,9		1,2	2,0	

Сохранение пожнивных остатков на поверхности почвы после мелких безотвальных обработок препятствует стоку ливневых вод и смыву почвы. Так, при минимальной системе почвообработки в среднем по всей толще пахотного горизонта органического вещества содержалось больше, чем при отвальной, на 2,6 т/га.

Более интенсивное развитие эрозионных процессов при ежегодной вспашке также подтверждает изменение агрофизических характеристик экспериментального участка (табл. 4). Отвальная система обработки дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы привела к ее распылению. Неустойчивых микроагрегатов по вспашке содержалось на 2,4–6,8% больше, чем при поверхностной обработке почвы. Исключение составил высокий агрофон с содержанием органического вещества 27,1–29,3 т/га. Здесь в необрабатываемом слое пахотного горизонта (10–20 см) по минимальной обработке пылеватой фракции содержалось больше, чем по вспашке в этом слое. Это свидетельствует о большей обеспеченности склеивающим веществом водопрочных агрегатов высокого агрохимического фона, сформированного, в том числе, за счет внесения навоза в 2004 г. Следовательно, в среднем за годы исследований отличным структурным состоянием пахотный горизонт обладал на высоком фоне при обеих

исследуемых системах обработки почвы, на повышенном – только при минимальной, а на среднем фоне отличное структурное состояние сохранил только необрабатываемый слой 10–20 см.

Таблица 4

Агрофизические показатели дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой слабосмытой почвы в зависимости от системы обработки на разных агрохимических фонах (среднее 2017–2020 гг.)

Агрохимический фон	Система обработки почвы	Горизонт, см	Содержание агрегатов < 0,25 мм, %	Плотность, г/см ³	К стр.
Повышенный	Отвальная (к)	0–10	12,5	1,31	3,38
		10–20	14,1	1,39	3,34
	Минимальная	0–10	10,1	1,31	5,00
		10–20	7,3	1,53	4,75
Высокий	Отвальная	0–10	10,7	1,37	5,07
		10–20	7,7	1,45	4,59
	Минимальная	0–10	7,7	1,32	4,79
		10–20	8,5	1,52	4,78
Средний	Отвальная	0–10	14,6	1,39	3,83
		10–20	14,2	1,4	3,54
	Минимальная	0–10	9,0	1,44	3,52
		10–20	7,5	1,6	5,70
НСР ₀₅ главных эффектов	А	0–10	3,9	0,03	1,8
		10–20	4,7	0,02	1,6
	В	0–10	3,9	$F_{\phi} < F_{\tau}$	1,4
		10–20	3,8	0,02	1,3

В среднем за годы исследований наибольшее содержание пыли (14,6%) отмечено в верхнем слое пахотного горизонта при отвальной системе обработки почвы на среднем агрохимическом фоне с наименьшим содержанием ОВ 21,4 т/га. Корреляционный анализ выявил сильную обратную связь содержания органического вещества с плотностью сложения почвы ($r = -0,74$). При этом снижение плотности агродерново-подзолистой почвы сопровождалось ее распылением; коэффициент корреляции составил $-0,49$.

Таким образом, вспашка, обеспечивая более рыхлый и относительно гомогенный пахотный горизонт, повышала содержание неустойчивых к эрозии микроагрегатов. Минимальная система основной обработки почвы привела к послойной дифференциации ее агрофизических показателей. В среднем за годы исследований плотность верхнего

10-сантиметрового слоя при ежегодном рыхлении на повышенном и высоком фонах совпадала с ее плотностью при ежегодной вспашке 1,31–1,32 г/см³, а необработываемый слой был переуплотнен на всех агрохимических фонах – 1,52–1,60 г/см³ при равновесной плотности дерново-подзолистой почвы 1,4–1,5 г/см³.

Выводы

На основании изменения содержания связанного с почвой органического вещества и агрофизических свойств почв за ротацию шестипольного зернопаротравяного севооборота с учетом гидрометеорологического фактора выявлено более интенсивное развитие эрозийных процессов при ежегодной отвальной обработке.

Таким образом, повышение интенсивности обработки почвы неизбежно приводит к потере структуры верхнего слоя агродерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, что в свою очередь в процессе денудации склона ведет к утрате органического вещества в составе неустойчивых к эрозии микроагрегатов. Это подтверждают установленные тесные корреляционные связи содержания микроагрегатов с плотностью почвы ($r = -0,49$) и содержанием связанного с ней органического вещества ($r = -0,74$).

Полученные экспериментальные данные изменения плотности почвы 1,31–1,60 г/см³, ее структурного состояния и содержания неустойчивых к водной эрозии микроагрегатов от 7,3 до 14,6%, снижения содержания связанного с почвой органического вещества с 2,48 до 1,65% и его распределения в пахотном горизонте в зависимости от системы почвообработки согласуются с результатами расчетного метода определения потерь почвы.

Таким образом, универсальное уравнение потерь почвы Wischmeier и Smith (1965), при его расчете совместно с использованием данных дистанционного зондирования, является пригодным для определения потенциальной опасности водной эрозии на пахотных склонах при выборе системы основной обработки почвы и планировании противоэрозийных мероприятий.

Библиографический список

1. *Вараксина Е.Г.* Эрозия и воспроизводство плодородия эродированных почв в Удмуртии: Монография / Е.Г. Вараксина, Т.И. Захарова; Под общ. ред. А.И. Венчикова. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – 432 с.
2. *Джамалов А.Т.* Прогнозирование эрозийных процессов почв на маршрутах прокладки магистральных трубопроводов на основе геоинформационных технологий и космических снимков высокого разрешения / А.Т. Джамалов, Р.М. Рагимов // Системні дослідження та інформаційні технології – 2011. – № 4. – С. 97–103.
3. ГОСТ 17.4.4.03–86. Охрана природы. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей: дата введения 1987–07–01. – М.: Стандартиформ, 2008.
4. *Кирюшин В.И.* Экологизация земледелия и технологическая политика. – М.: Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.
5. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. – М.: Изд-во Московского университета, 1993. – 200 с.
6. Логачев И.А. Педотрансферные функции структурного состояния и устойчивости к эрозии дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках / И.А. Логачев, Н.Н. Цыбулько, В.Б. Цырирко, А.М. Устинова, И.И. Касьяненко // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1 (66). – С. 42–50.
7. Почвозащитные технологии и современные малозатратные технологические приемы возделывания сельскохозяйственных культур: Рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 28 с.

8. Травникова Л.С. Распределение гранулометрических фракций в дерново-подзолистых почвах, подверженных плоскостной эрозии / Л.С. Травникова, З.С. Артемьева, Н.П. Сорокина // Почвоведение. – 2010. – № 4. – С. 495–504.
9. Тронина Л.О. Минимизация обработки дерново-подзолистой суглинистой почвы при разном уровне плодородия: Монография. – Ижевск: Алкид, 2021. – 164 с.
10. Холзаков В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: Монография. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – 436 с.
11. Kirkby M.J. SOIL EROSION / Эрозия почвы / M.J. Kirkby, R.P. Morgan: Пер. с англ., предисл. М.Ф. Пушкарева. – М.: Колос, 1984. – 415 с.

VALIDATION OF WATER EROSION PREDICTION METHODOLOGY BY ACTUAL CHANGES IN FERTILITY INDICATORS OF AGRO-SOD-PODZOLIC SOIL

L.O. TRONINA, I.M. KUDRYAVCEV

(FSBIS Udmurt Federal Center of Ural branch of the Russian Science Academy)

The article presents the results of the computational method for determining the potential danger of water erosion and quantitative agrophysical and agrochemical indicators obtained by traditional methods of their direct measurement. When calculating losses as a result of water erosion in agro-sod-podzolic loamy weak eroded soil, the universal soil loss equation of Wischmeier and Smith (1965) was used, the variables in which are the erosive power of precipitation, erosiveness of soil, length and steepness of slope, character of vegetative ground cover and influence of erosion control soil protection measures. The obtained values of soil losses from 1,8 to 12,1 t/ha a year are confirmed by the change of soil organic matter content during the rotation of six-course grain-grass-fallow crop rotation from 2,48 to 1,65% according to I.V. Tyurin depending on agrochemical background as well as soil density 1,31–1,60 g/cm³, its structural state and content of microaggregates unstable to water erosion from 7,3 to 14,6%. The dependence of the selected informative signs on the system of main tillage of agro-sod-podzolic loamy soil has been determined. Close correlations between the content of microaggregates and soil density ($r = -0,49$) and the content of organic matter related to it ($r = -0,74$) were established. The analysis of variance allowed to trace the influence of the main tillage system on the accumulation and distribution of in the arable horizon at different levels of the fertility of the agro-sod-podzolic loamy soil. The more intensive development of erosion processes at the annual plowing was revealed.

Key words: *the universal soil loss equation, agro-sod-podzolic soil, the system of tillage, water erosion, plowing, soil structure, organic matter, agrochemical background.*

References

1. Varaksina E.G., Zaharova T.I. Eroziia i vosproizvodstvo plodorodiia erodirovannykh pochv v Udmurtii: monografiia [Erosion and fertility reproduction of eroded soils in Udmurtia: monograph] // Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaiia GSKhA, 2008. – 432 s. (in Rus.)
2. Dzhamalov A.T., Ragimov Prognozirovaniie erozionnykh protsessov pochv na marshrutakh prokladki magistral'nykh truboprovodov na osnove Geoinformatsionnykh tekhnologii i kosmicheskikh snimkov vysokogo razresheniia [Prediction of erosion processes of soil on the routes of the main pipelines on the basis of geo-information technologies and satellite images of high resolution] // Sistemni doslidlzhennia ta informatsiini tekhnologii – 2011. – № 4. – S. 97–103. (in Rus.)
3. GOST 17.4.4.03–86. Okhrana prirody. Pochvy. Metod opredeleniia potentsial'noi opasnosti erozii pod vozdeistviem dozhdei: data vvedeniia 1987–07–01. [Nature Conservation. Soils. Method for determining the potential danger of erosion by rainfall: date of introduction 1987–07–01] // M.: Standartinform, 2008. (in Rus.)

4. *Kiriushin V.I.* Ekologizatsiia zemledeliia i tekhnologicheskaiia politika. [Ecologization of agriculture and technological policy] // M.: Izd-vo MSKhA, 2000. – 473 s. (in Rus.)
5. *Larionov G.A.* Eroziia i defliatsiia pochv: osnovnye zakonomernosti i kolichestvennye otsenki [Soil erosion and deflation: basic laws and quantitative assessments] // M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1993–200 s.
6. *Logachev I.A., Cybul'ko N.N., Cyribko V.B., Ustinova A.M., Kas'yanenko I.I.* Pedotransfernye funktsii strukturnogo sostoianiia i ustoichivosti k erozii dernovo-podzolistykh pochv, sformirovannykh na lessovidnykh suglinkakh [Pedotransfer functions of structural condition and resistance to erosion sod-podzolic soils formed on loess-like loam] // Pochvovedenie i agrokhimii, 2021. – № 1(66). – S. 42–50 (in Rus.)
7. Pochvozaschitnye tekhnologii i sovremennye malozatratnye tekhnologicheskie priemy vzdelyvaniia sel'skokhoziaistvennykh kul'tur: Rekomendatsii. [Soil-protective technologies and modern low-cost technological methods of cultivation of crops: Recommendations] // M.: FGOU «Rosinformagrotekh», 2001. – 28 s. (in Rus.)
8. *Travnikova L.S., Artem'eva Z.S., Sorokina N.P.* Raspredelenie granulometricheskikh fraktsii v dernovo-podzolistykh pochvakh, podverzhennykh ploskostnoi erozii [Distribution of granulometric fractions in sod-podzolic soils subjected to planar erosion] // Pochvovedenie, 2010. – № 4. – S. 495–504. (in Rus.)
9. *Tronina L.O.* Minimizatsiia obrabotki dernovo-podzolistoi suglinatoi pochvy pri raznom urovne plodorodiia: monografiia [Minimization of tillage of sod-podzolic loamy soil at different fertility levels: monograph] // Izhevsk: Alkid, 2021. – 164 s. (in Rus.)
10. *Kholzakov V.M.* Povyshenie produktivnosti dernovo-podzolistykh pochv v Nechernozemnoi zone: monografiia [Increase of productivity of sod-podzolic soils in the Non-Black Earth zone: monograph] // Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaiia GSKhA. – 2006. – 436 s. (in Rus.)
11. *Kirkby M.J., Morgan R.P.* SOIL EROSION / Eroziia pochvy [Soil erosion / translated from English and preface by M.F. Pushkarev] // M.: Kolos, 1984. – 415 s.

Тронина Любовь Олеговна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (структурное подразделение Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства) (426067, Российская Федерация, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34; e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru; тел.: (3412) 62–96–98).

Кудрявцев Иван Михайлович, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (структурное подразделение Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства) (426067, Российская Федерация, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34; e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru; тел.: (3412) 62–96–98).

Tronina Lyubov Olegovna, PhD in agriculture, senior researcher, Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (Structural subdivision – Udmurt Research of Agriculture) (426067, 34, T. Baramzinoj str., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru; phone number: (3412) 62–96–98).

Kudryavcev Ivan Mikhajlovich, assistant researcher, Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (Structural subdivision – Udmurt Research of Agriculture) (426067, 34, T. Baramzinoj str., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru; phone number: (3412) 62–96–98).