

ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА РАЗНЫХ АГРОФОНАХ

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО¹⁾, В. Б. ЦЫРИБКО²⁾, А. В. ЮХНОВЕЦ²⁾, И. И. ЖУКОВА³⁾, И. А. ЛОГАЧЕВ²⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси,
ул. Казинца, 90, 220108, г. Минск, Беларусь

³⁾Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,
ул. Советская, 18, 220030, г. Минск, Беларусь

Дерново-подзолистые почвы непосредственно после механической обработки характеризуются очень низкой противозэрозийной стойкостью. Величина размывающей скорости водного потока ($V_{\Delta p}$) не превышает 11,1 см/с. Устойчивость почв к размыву снижается с повышением степени их эрозийной деградации. Использование эродированных почв в почвозащитных травяно-зерновых севооборотах способствует улучшению устойчивости к эрозии. Средне- и сильноэродированные почвы на лессовидных суглинках в зерновом севообороте отличались низкими $V_{\Delta p}$ – 16,5–18,5 см/с, а в травяно-зерновом севообороте с возделыванием люцерны – высоким и средним $V_{\Delta p}$ – 33,1 и 29,8 см/с соответственно. При органоминеральной системе удобрения наблюдалось повышение противозэрозийной стойкости почв по сравнению с минеральной системой удобрения. Размывающая скорость водного потока составила в среднем на незэродированной почве 25,7 см/с, среднеэродированной – 21,8 и сильноэродированной почве – 18,5 см/с. Внесение известковых мелиорантов на фоне органоминеральной системы удобрения не привело к повышению $V_{\Delta p}$. Установлена тесная корреляционная связь ($r = 0,76$) размывающей скорости водного потока с показателем средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов в верхнем слое почвы.

Ключевые слова: эродированные почвы; севообороты; система удобрения; противозэрозийная стойкость; размывающей скорости водного потока.

Благодарность. Исследования выполнены по заданию 2.42. «Установление закономерностей влияния основных показателей плодородия и элементов агротехнологий на устойчивость почв к эрозийной деградации» ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы, подпрограмма «Сохранение и повышение плодородия почв».

Образец цитирования:

Цыбулько НН, Цырибко ВБ, Юхновец АВ, Жукова ИИ, Логачев ИА. Противозэрозийная стойкость дерново-подзолистых почв на разных агрофонах. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2025;1:77–84.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-1-77-84>

For citation:

Tsybulka MM, Tsyribko VB, Yukhnovets AV, Zhukova II, Logachov IA. Erosion stability of sod-podzolic soils in different agricultural fields. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2025;1:77–84. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-1-77-84>

Авторы:

Николай Николаевич Цыбулько – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; начальник научно-исследовательского сектора.

Виктор Борисович Цырибко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий лабораторией агрофизических свойств и защиты почв от эрозии.

Аксана Викентьевна Юхновец – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; ученый секретарь.

Инна Ивановна Жукова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой биологии и методики преподавания биологии.

Илья Александрович Логачев – младший научный сотрудник лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии.

Authors:

Mikalai M. Tsybulka, doctor of science (agriculture), full professor; head of the research sector.
nik.nik1966@tut.by

Viktor B. Tsyribko, PhD (agriculture), docent; head of the laboratory of agrophysical properties and protection of soil erosion.
m029@yandex.by

Aksana V. Yukhnovets, PhD (agriculture), docent; scientific secretary.
brissa_secretary@mail.ru

Inna I. Zhukova, PhD (agriculture), docent; head of the department of biology and methods of teaching biology.
inn0707@bspu.by

Ilya A. Logachev, junior researcher at the laboratory of agrophysical properties and protection.
ia_logachev@list.ru

EROSION STABILITY OF SOD-PODZOLIC SOILS IN DIFFERENT AGRICULTURAL FIELDS

M. M. TSYBULKA^a, V. B. TSYRIBKO^b, A. V. YUKHNOVETS^b, I. I. ZHUKOVA^c, I. A. LOGACHOV^b

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bInstitute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus,
90 Kazinets Street, Minsk 220108, Belarus

^cBelarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank,
18 Saveckaja Street, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: M. M. Tsybulka (nik.nik1966@tut.by)

Soddy-podzolic soils immediately after mechanical treatment are characterized by very low erosion resistance. The erosive velocity of the water flow does ($V_{\Delta p}$) not exceed 11.1 cm/s. Soil resistance to erosion decreases with increasing degree of erosion degradation. The use of eroded soils in soil-protective grass-grain crop rotations helps improve their resistance to erosion. Moderately and highly eroded soils on loess-like loams in grain crop rotation were characterized by low $V_{\Delta p}$ – 16.5–18.5 cm/s, and in grass-grain crop rotation with alfalfa cultivation – high and medium $V_{\Delta p}$ – 33.1 and 29 cm/s. With the organomineral fertilizer system, an increase in the anti-erosion resistance of soils was observed compared to the mineral fertilizer system. The eroding velocity of water flow averaged 25.7 cm/s on non-eroded soil, 21.8 cm/s on moderately eroded soil, and 18.5 cm·s⁻¹ on highly eroded soil. The application of lime ameliorants against the background of an organomineral fertilizer system did not lead to an increase in $V_{\Delta p}$. A close correlation has been established ($r = 0.76$) between the erosive velocity of water flow and the weighted average diameter of water-resistant aggregates in the soil.

Keywords: eroded soils; crop rotation; fertilization system; erosion resistance; erosion speed of water flow.

Acknowledgments. The research was carried out according to task 2.42. «Establishing patterns of influence of the main indicators of fertility and elements of agrotechnologies on soil resistance to erosion degradation» GPNI «Quality and efficiency of agro-industrial production» for 2016–2020, the subprogram «Conservation and improvement of soil fertility».

Введение

На территории Беларуси водной эрозии подвержено 473,3 тыс. га сельскохозяйственных земель. Эродируемость (смываемость) почвы один из основных факторов водной эрозии. Противозэрозийная стойкость почвы является интегральным показателем и определяется комплексом таких свойств, как минералогический состав, физические и агрохимические показатели. Основными физическими свойствами почв, определяющими устойчивость их к эрозии, являются гранулометрический, микроагрегатный и структурно-агрегатный состав, плотность, пористость и сцепление.

В мировой практике эрозионных исследований известно множество подходов и методов определения эродируемости почвы как прямых, так и косвенных. Для количественной оценки этого параметра, используемого как в статистических, так и в физически обоснованных моделях смыва почв, предложено более десятка различных подходов и способов [1]. В качестве одной из определяющих величин, помимо свойств самой почвы, предлагаются кинетические характеристики склоновых потоков – неразмывающая скорость [2; 3], критическое касательное напряжение [4]. Для оценки эродируемости применяется показатель в виде частного от деления интенсивности смыва на куб скорости потока, который для водных потоков численно равен половине удельной мощности потока [5–7]. В США и странах Западной Европы для оценки податливости почвы эрозии используется предложенное В. Х. Уишмейером и Д. Д. Смитом определение ее эродируемости – количество смытой почвы с эталонной площадки по бессменному пару на единицу эрозионного потенциала осадков [8].

М. С. Кузнецовым установлена зависимость между средневзвешенным диаметром водопрочных агрегатов, сцеплением и плотностью почвы, содержанием корней растений диаметром <1 мм и так называемой донной размывающей скоростью водного потока. Автором предложено уравнение для определения донной размывающей скорости водного потока для почв по вышеперечисленным показателям [9]. Показано, что противозэрозийная стойкость почв количественно выражается величиной размывающей скорости потока, которая непосредственно определяется двумя показателями почвы: размером водопрочных агрегатов и сцеплением их друг с другом. Остальные свойства почв влияют на противозэрозийную стойкость косвенно, через эти показатели. Следовательно, противозэрозийная стойкость почвы в целом определяется водопрочностью ее структуры [10].

Цель исследования – определение размывающей скорости водного потока для дерново-подзолистых почв в разной степени подверженных эрозионной деградации, а также в зависимости от их использования в разных севооборотах, приемов обработки почвы и системы удобрения.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись почвенно-геоморфологические профили, представленные в разной степени эродированными (смытыми) дерново-подзолистыми почвами, сформированными на лессовидных и моренных суглинках. Дерново-подзолистые эродированные почвы на лессовидных суглинках располагались на склоне южной экспозиции крутизной 6–7°, а дерново-подзолистые эродированные почвы на моренных суглинках – на склоне северо-восточной экспозиции крутизной 5–7°. На дерново-подзолистых эродированных почвах на лессовидных суглинках исследования проводили в зерновом и травяно-зерновом севооборотах. На дерново-подзолистых эродированных почвах на моренных суглинках исследования проводили в зернотравяном и травяно-зерновом севооборотах.

На дерново-подзолистых незэродированных, слабо- и сильноэродированных почвах в звене зернотравяного севооборота (яровая пшеница – озимая рожь – бобово-злаковые травы) изучено влияние на размывающую скорость водного потока способов основной обработки почв – отвальной вспашки на 20–22 см, безотвальной чизельной обработки на 20–22 см и мелкой дисковой обработки на 10–12 см.

На дерново-подзолистых незэродированных, средне- и сильноэродированных почвах на лессовидных суглинках изучено влияние разных систем удобрения сельскохозяйственных культур на показатель размывающей скорости водного потока. Схема опыта и дозы применения известкового мелиоранта, органических и минеральных удобрений в зерновом севообороте приведены в табл. 1.

Таблица 1

Схема опыта и дозы применения известкового мелиоранта, органических и минеральных удобрений при разных системах удобрения в севообороте

Table 1

Scheme of experience and rates of lime meliorant, organic and mineral fertilizers in different fertilizer systems in crop rotation

Система удобрения	Культуры севооборота			
	*овес	яровой рапс	яровая пшеница	озимая рожь
Неэродированная почва				
Минеральная	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀
Минеральная + известкование почвы	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀ + ДМ _{6,5}	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀
Органоминеральная	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀ + ОУ ₄₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ + ОУ ₄₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀
Органоминеральная + известкование почвы	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀ + ОУ ₄₀ + ДМ _{6,5}	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ + ОУ ₄₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀

Примечание. ДМ – доломитовая мука в т/га; ОУ – органические удобрения (подстильный навоз) в т/га.

Структурно-агрегатный анализ почв для определения средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов при водном просеивании выполняли по методу Саввинова [11]. Размывающую скорость водного потока для почв рассчитывали по модифицированному уравнению М. С. Кузнецова [12]. Противозероизионную стойкость почв оценивали по шкале (табл. 2). Статистическая обработка (определение доверительного интервала) проведена в программном пакете *MS Excel*.

Таблица 2

Классификация почв по противозероизионной стойкости

Table 2

Classification of soils by erosion resistance

Противозероизионная стойкость почвы	Размывающая скорость водного потока, см/с*	Почвы, горизонты
Очень низкая	<15	Рыхлые пахотные горизонты без растительности
Низкая	15–20	Пахотные горизонты под зерновыми культурами (плотность почвы <1,2 г/см ³)
Средняя	20–30	Пахотные горизонты под зерновыми культурами (плотность почвы >1,2 г/см ³)
Высокая	30–50	Пахотные горизонты под травами и зернобобовыми смесями и подпахотные горизонты почв
Очень высокая	> 50	Пахотные горизонты под хорошо развитыми многолетними травами и луговой растительностью

Примечание. Для потока глубиной 1 см, см/с.

Результаты исследования и их обсуждение

В научной литературе встречаются противоречивые результаты исследования влияния механических обработок почв на устойчивость их к смыву. Отмечается, что безотвальные приемы обработки способствуют повышению содержания в почве эрозионно-устойчивых агрегатов по сравнению с традиционной отвальной вспашкой [13]. Имеются научные публикации, в которых отмечается, что показатели устойчивости к эрозии зависят от обработки до определенного предела, когда механические обработки не оказывают на них прямого воздействия [14; 15].

В наших исследованиях определение донной размывающей скорости водного потока ($V_{\Delta p}$) показало, что рыхлый пахотный горизонт почвы непосредственно после проведения механической обработки характеризуются очень низкой устойчивостью к смыву и размыву (менее 15 см/с). Величина $V_{\Delta p}$ колебалась по вариантам с отвальной и безотвальными чизельной и дисковой обработками в пределах 9,4–11,1 см/с. Незначительно выше этот показатель был на безотвальных обработках, что обусловлено защитным влиянием послеуборочных растительных остатков на скорость водного потока (табл. 3).

Таблица 3

Влияние обработок почвы в звене севооборота
яровая пшеница – озимая рожь – бобово-злаковые травы
на размывающую скорость водного потока, см/с

Table 3

The effect of soil treatments in the crop rotation link
spring wheat – winter rye – legume-cereal grasses on the erosion rate of water flow, cm/s

Основная обработка почвы	Эродированность почвы		
	неэродированная	слабоэродированная	сильноэродированная
Отвальная вспашка на 20–22 см	10,4 ± 0,2	10,1 ± 0,2	9,4 ± 0,1
Безотвальная чизельная на 20–22 см	11,1 ± 0,3	10,4 ± 0,2	9,9 ± 0,2
Поверхностная дисковая на 10–12 см	11,1 ± 0,3	10,3 ± 0,2	9,7 ± 0,1

Результаты исследований показали, что устойчивость почв к смыву и размыву существенно зависит от степени их эрозионной деградации и использования. Так, дерново-подзолистые почвы на лессовидных суглинках, не подверженные эрозии, в зерновом севообороте отличались средней противоэрозионной стойкостью по шкале М. С. Кузнецова. Донная размывающая скорость водного потока для них колебалась в пределах 20,3–26,5 см/с (в среднем 23,4 см/с). Средне- и сильноэродированные почвы имели низкую устойчивость с $V_{\Delta p}$ 18,5 и 16,5 см/с соответственно.

Неэродированная и среднеэродированная почвы при трехлетнем возделывании люцерны посевной в травяно-зерновом севообороте характеризовались высокой устойчивостью, сильноэродированная почва – средней устойчивостью к смыву. Размывающие скорости составили 40,1, 33,1 и 29,8 см/с соответственно (табл. 4).

Дерново-подзолистые почвы на моренных суглинках имели более высокие значения размывающей скорости водного потока, то есть отличались лучшей противоэрозионной стойкостью по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. В зернотравяном севообороте при возделывании зерновых культур и однолетних бобово-злаковых трав $V_{\Delta p}$ неэродированной почвы изменялась по годам от 26,2 до 29,0 см/с, слабо- и среднеэродированной почв – от 23,3 до 26,5, сильноэродированной почвы – от 20,5 до 23,7 см/с, что в среднем составила 27,0 см/с, 24,2 см/с и 22,1 см/с соответственно. Следовательно, почвы по величине размывающей скорости водного потока относились (по шкале М. С. Кузнецова) к средней противоэрозионной стойкости.

В травяно-зерновом севообороте при трехлетнем возделывании люцерны посевной наблюдалось существенное повышение устойчивости почв к смыву. На всех по эродированности почвах значения размывающей скорости водного потока были высокими – > 30 см/с, а под люцерной второго и третьего годов пользования достигала 60 см/с и выше, что соответствует очень высокой противоэрозионной стойкости почвы.

Таблица 4

Размывающая скорость водного потока (см/с) для дерново-подзолистых почв в разных севооборотах

Table 4

Erosion rate of water flow (cm/s) for sod-podzolic soils in different crop rotations

Севооборот	Культуры севооборота	Степень эродированности почвы			
		неэродированная	слабоэроди- рованная	среднеэроди- рованная	сильноэроди- рованная
Дерново-подзолистая почва, сформированная на легких лессовидных суглинках					
Зерновой сево- оборот	Овес	23,0 ± 3,3	—	16,5 ± 1,8	16,4 ± 2,0
	Яровой рапс	20,3 ± 0,5	—	16,4 ± 0,3	16,2 ± 0,2
	Яровая пшеница	23,7 ± 3,7	—	20,5 ± 3,6	16,7 ± 6,8
	Озимая рожь	26,5 ± 2,7	—	20,5 ± 0,1	16,7 ± 6,5
	Среднее за севооборот	23,4	—	18,5	16,5
Травяно-зерно- вой севооборот	Однолетние травы + люцерна	39,9 ± 5,8	—	28,1 ± 3,4	27,7 ± 4,9
	Люцерна 1-го года пользования	39,9 ± 6,1	—	34,4 ± 0,6	27,7 ± 5,2
	Люцерна 2-го года пользования	40,4 ± 0,1	—	35,0 ± 5,3	28,6 ± 6,3
	Люцерна 3-го года пользования	40,4 ± 5,3	—	35,0 ± 0,2	35,0 ± 6,3
	Среднее за севооборот	40,1	—	33,1	29,8
Дерново-подзолистая почва, сформированная на моренных суглинках					
Зернотравяной севооборот	Однолетние травы	26,2 ± 3,2	23,4 ± 3,8	23,3 ± 2,5	23,7 ± 3,3
	Озимая тритикале	26,2 ± 5,6	23,4 ± 5,5	23,3 ± 8,9	20,5 ± 3,1
	Однолетние травы	26,5 ± 2,5	26,5 ± 2,7	26,5 ± 2,7	23,7 ± 3,1
	Озимая пшеница	29,0 ± 8,3	23,7 ± 3,1	23,7 ± 3,2	20,5 ± 3,7
	Среднее за севооборот	27,0	24,2	24,2	22,1
Травяно-зерно- вой севооборот	Яровая пшеница + люцерна	30,7 ± 5,4	29,0 ± 3,9	26,1 ± 5,1	23,5 ± 3,3
	Люцерна 1-го года пользова- ния	44,4 ± 9,1	44,9 ± 8,4	45,2 ± 0,8	39,9 ± 9,9
	Люцерна 2-го года пользова- ния	63,9 ± 16,4	57,2 ± 13,1	60,6 ± 4,7	45,2 ± 9,8
	Люцерна 3-го года пользова- ния	60,6 ± 10,9	57,2 ± 15,4	45,2 ± 11,5	45,2 ± 13,6
	Среднее за севооборот	49,9	47,1	44,3	38,4

Изучено влияние известкового мелиоранта (доломитовая мука), органических (подстилочный навоз) и минеральных (азотных, фосфорных, калийных) удобрений на показатель размывающей скорости водного потока для дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках в разной степени подверженных водной эрозии. В среднем за севооборот при минеральной системе удобрения размывающая скорость водного потока неэродированной почвы была на уровне 23,4 см/с, среднеэродированной почвы – 18,5 см/с и сильноэродированной почвы – 16,5 см/с. По годам этот показатель колебался. Известкование почв на фоне минеральной системы удобрения незначительно повышало противоэрозионную устойчивость почв (табл. 5).

Таблица 5

Размывающая скорость водного потока (см/с) для дерново-подзолистых почв при разных системах удобрения в севооборотах

Table 5

Erosion rate of water flow (cm/s) for sod-podzolic soils with different fertilizer systems in crop rotations

Система удобрения	Культуры севооборота				Среднее за севооборот
	овес	яровой рапс	яровая пшеница	озимая рожь	
Неэродированная почва					
Минеральная	23,0 ± 3,3	20,3 ± 0,5	23,7 ± 3,7	26,5 ± 2,7	23,4
Минеральная + известкование почвы	25,7 ± 3,1	19,9 ± 3,1	23,7 ± 0,1	26,5 ± 0,1	24,0
Органоминеральная	30,4 ± 2,4	19,9 ± 0,6	23,5 ± 0,1	29,0 ± 3,0	25,7
Органоминеральная + известкование почвы	34,4 ± 3,2	23,0 ± 2,4	23,7 ± 1,3	23,7 ± 3,1	26,2
Среднеэродированная почва					
Минеральная	16,5 ± 1,8	16,4 ± 0,3	20,5 ± 3,6	20,5 ± 0,1	18,5
Минеральная + известкование почвы	16,5 ± 2,7	16,5 ± 0,3	20,5 ± 3,1	20,5 ± 3,1	18,5
Органоминеральная	20,1 ± 2,0	20,10 ± 0,4	20,5 ± 3,7	26,5 ± 8,3	21,8
Органоминеральная + известкование почвы	20,3 ± 2,6	20,1 ± 3,3	20,5 ± 1,1	26,5 ± 3,6	21,9
Сильноэродированная почва					
Минеральная	16,4 ± 2,0	16,2 ± 0,2	16,7 ± 6,8	16,7 ± 6,5	16,5
Минеральная + известкование почвы	16,4 ± 1,8	16,4 ± 0,2	20,5 ± 3,7	16,7 ± 0,2	17,5
Органоминеральная	16,5 ± 2,6	16,5 ± 3,9	20,5 ± 3,6	23,7 ± 5,8	19,3
Органоминеральная + известкование почвы	16,4 ± 1,4	16,5 ± 0,2	20,5 ± 2,1	20,5 ± 3,7	18,5

Применение органоминеральной системы удобрения способствовало некоторому улучшению устойчивости почв к смыву. Размывающая скорость водного потока составила в среднем за севооборот на неэродированной почве 25,7 см/с, среднеэродированной – 21,8 и сильноэродированной почве – 18,5 см/с. Внесение известковых мелиорантов на фоне органоминеральной системы удобрения не привело к повышению $V_{\Delta p}$.

Ранее нами были представлены результаты изучения влияния разных культур севооборотов и систем удобрения на водоустойчивость макроструктуры (соотношение агрегатов диаметром $\geq 0,25$ мм при водном и сухом просеивании) дерново-подзолистых почв, в разной степени подверженных эрозионной деградации [16]. Выполненный корреляционно-регрессионный анализ сопряженных данных показал, что между значениями водоустойчивости почвенной макроструктуры и размывающей скоростью водного потока для дерново-подзолистых почв существует корреляционная связь средней силы ($r = 0,52$), которая описывается уравнением $y = 0,4728x + 17,17$ (рис. 1).



Рис. 1. Зависимость размывающей скоростью водного потока ($V_{\Delta p}$) от водоустойчивости макроструктуры почвы

Fig. 1. Dependence of the eroding velocity of the water flow ($V_{\Delta p}$) on the waterproofness of the soil macrostructure

Тесная корреляционная взаимосвязь ($r = 0,76$) размывающей скорости водного потока для дерново-подзолистых почв установлена с показателем средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (рис. 2). При средневзвешенном диаметре водопрочных агрегатов 0,2–0,4 мм размывающая скорость водного потока может изменяться от 15 до 30 см/с, что соответствует (по шкале М. С. Кузнецова) низкой и средней противозэрозионной стойкости почвы. При диаметре агрегатов от 0,5 до 0,8 мм величина размывающей скорости водного потока (30–50 см/с) соответствует высокой противозэрозионной стойкости почвы. Очень высокой противозэрозионной стойкостью обладают почвы со средневзвешенным диаметром водопрочных агрегатов $> 0,8$ мм и $V_{\Delta p} > 50$ см/с.

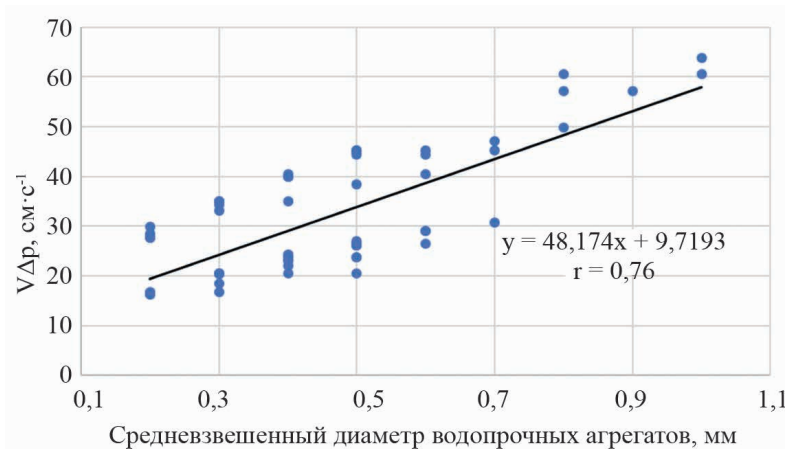


Рис. 2. Зависимость размывающей скоростью водного потока ($V_{\Delta p}$) от средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов в почве

Fig. 1. Dependence of the eroding velocity of the water flow ($V_{\Delta p}$) on the weighted average diameter of the water-bearing aggregates in the soil

Заключение

Таким образом, дерново-подзолистые почвы непосредственно после проведения их механической обработки характеризуются очень низкой устойчивостью к смыву и размыву. Величина размывающей скорости водного потока при отвальной и безотвальных чизельной и дисковой обработках составляет 9,4–11,1 см/с. На безотвальных обработках этот показатель выше, что обусловлено защитным влиянием послеуборочных растительных остатков. Устойчивость почв к размыву снижается с повышением степени их эрозионной деградации.

Использование эродированных почв в почвозащитных травяно-зерновых севооборотах способствует повышению их противозэрозионной стойкости. В зерновом севообороте средне- и сильноэродированные почвы, сформированные на лессовидных суглинках, отличались низкими $V_{\Delta p}$ – 16,5–18,5 см/с, а в травяно-зерновом севообороте, в котором в течение трех лет возделывали люцерну посевную, высоким и средним $V_{\Delta p}$ – 33,1 и 29,8 см/с соответственно.

На фоне применения органоминеральной системы удобрения в севообороте наблюдалось незначительное повышение противозэрозионной стойкости почв по сравнению с минеральной системой удобрения. Размывающая скорость водного потока составила в среднем на незэродированной почве 25,7 см/с, среднеэродированной – 21,8 и сильноэродированной почве – 18,5 см/с. Внесение известковых мелиорантов на органоминеральной системе удобрения не привело к повышению $V_{\Delta p}$.

Установлена тесная корреляция ($r = 0,76$) размывающей скорости водного потока для дерново-подзолистых почв с показателем средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов. При средневзвешенном диаметре водопрочных агрегатов 0,2–0,4 мм размывающая скорость водного потока может изменяться от 15 до 30 см/с, что соответствует низкой и средней противозэрозионной стойкости почвы. При диаметре агрегатов от 0,5 до 0,8 мм величина $V_{\Delta p}$ соответствует высокой противозэрозионной стойкости почвы. Очень высокой противозэрозионной стойкостью обладают почвы со средневзвешенным диаметром водопрочных агрегатов $> 0,8$ мм и $V_{\Delta p} > 50$ см/с.

Библиографические ссылки

1. Лисецкий ФН, Светличный АА, Черный СГ. *Современные проблемы эрозиоведения*. Белгород: Константа, 2012. 456 с.
2. Кузнецов МС. *Противоэрозионная стойкость почв*. Москва: Издательство МГУ; 1981. 135 с.
3. Мирцхулава ЦЕ. *Основы физики и механики эрозии русел*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 304 с.
4. Foster GR. Modeling the Erosion Process. In: Haan CT, Johnson HP and Brakensiek DL, editors. *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. Monograph. Michigan: American Society of Agricultural Engineers; 1982. 380 p.
5. Ларионов ГА, Краснов СФ. Вероятностная модель размыва почв и связных грунтов. *Почвоведение*. 2000;2:235–242.
6. Ларионов ГА, Бушуева ОГ, Добровольская НГ, и др. Определение гидрофизических параметров почвы в модели эрозии. *Почвоведение*. 2010;4:488–494.
7. Nearing MA, Bradford JM, Parker SC. Soil Detachment by Shallow Flow at Low Slopes. *Soil Science Society of America Journal*. 1991;55(2):339–344.
8. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses. *Agricultural handbook*. 1978;537:65.
9. Кузнецов МС, Базаров ОА. Противоэрозионная стойкость некоторых почв. *Почвоведение*. 1993;4:96–103.
10. Булыгин СЮ, Можейко ГА. Параметры эрозионной стойкости почв лесостепной зоны Украины. *Почвоведение*. 1995;6:768–774.
11. Шейн ЕВ, Карпачевский ЛО, редакторы. *Теория и методы физики почв. Коллективная монография*. Москва: Гриф и К; 2007. 616 с.
12. Кузнецов МС, Глазунов ГП. *Эрозия и охрана почв*. Москва: Издательство МГУ; 2004. 350 с.
13. Дрогозов СЕ. Восстановление структуры эродированных почв. *Почвоведение*. 1993;6: 45–51.
14. Швебс ГИ. Теоретические вопросы почвозащитного земледелия. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1986;8:11–13.
15. Булыгин СЮ, Комарова ТД. К оценке влияния механической обработки на почву. *Почвоведение*. 1990;6:135–138.
16. Цыбулько НН, Цырибко ВБ, Жукова ИИ, Логачев ИА. Водостойчивость структуры дерново-подзолистых почв, подверженных водной эрозии, на разных агрофонах. *Научно-агрономический журнал*. 2024;1(124):40–47.

Reference

1. Lisetsky FN, Svetlichny AA, Cherny SG. *Sovremennye problemy eroziovedeniya* [Modern problems of erosion studies]. Belgorod: Constant; 2012. 456 p. Russian.
2. Kuznetsov MS. *Protivoerozionnaya stojkost' pochv* [Erosion resistance of soils]. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1981. 135 p. Russian.
3. Mirtschkulava TsE. *Osnovy fiziki i mekhaniki erozii rusel* [Fundamentals of physics and mechanics of riverbed erosion]. Leningrad: Hydrometeoizdat; 1988. 304 p. Russian.
4. Foster GR. Modeling the Erosion Process. In: Haan CT, Johnson HP and Brakensiek DL, editors. *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. Monograph. Michigan: American Society of Agricultural Engineers; 1982. 380 p.
5. Larionov GA, Krasnov SF. *Veroyatnostnaya model' razmyva pochv i svyaznyh gruntov* [Probabilistic model of soil erosion and cohesive soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Sci.] 2000;2:235–242. Russian.
6. Larionov GA, Bushueva OG, Dobrovolskaya NG, et al. *Opreделение gidrofizicheskikh parametrov pochvy v modeli erozii* [Determination of hydrophysical parameters of soil in the erosion model]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Sci.] 2010;4:488–494. Russian.
7. Nearing MA, Bradford JM, Parker SC. Soil Detachment by Shallow Flow at Low Slopes. *Soil Science Society of America Journal*. 1991;55(2):339–344.
8. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses. *Agricultural handbook*. 1978;537:65.
9. Kuznetsov MS, Bazarov OA. *Protivoerozionnaya stojkost' nekotoryh pochv Tadzhikistana* [Erosion resistance of some soils of Tajikistan]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Sci.] 1993;4:96–103. Russian.
10. Bulygin SYu, Mozheyko GA. *Parametry erozionnoj stojkosti pochv lesostepnoj zony Ukrainy* [Parameters of erosion resistance of soils of the forest-steppe zone of Ukraine]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science] 1995;6:768–774. Russian.
11. Shein EV, Karpachevsky LO, editors. *Teoriya i metody fiziki pochv. Kollektivnaya monografiya* [Theory and methods of soil physics. Collective monograph]. Moscow: Grif and K; 2007. 616 p. Russian.
12. Kuznetsov MS, Glazunov GP. *Eroziya i ohrana pochv* [Erosion and soil protection]. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 2004. 350 p. Russian.
13. Drogozov SE. *Vosstanovlenie struktury erodirovannyh pochv* [Restoration of the structure of eroded soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 1993;6:45–51. Russian.
14. Shwebs GI. *Teoreticheskie voprosy pochvozashchitnogo zemledeliya* [Theoretical issues of soil protection agriculture]. *Vestnik sel'skhozaystvennoj nauki* [Bulletin of Agricultural Science] 1986;8:11–13. Russian.
15. Bulygin SYu, Komarova TD. *K ocenke vliyaniya mekhanicheskoy obrabotki na pochvu* [On the assessment of the impact of mechanical treatment on the soil]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science] 1990;6:135–138. Russian.
16. Tsybulko NN, Tsyribko VB, Zhukova II, Logachev IA. *Vodoustojchivost' struktury derno-podzolistykh pochv, podverzhennykh vodnoj erozii, na raznykh agrofonah* [Waterproofness of the structure of sod-podzolic soils subject to water erosion on different agrophones]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal* [Scientific and agronomic journal]. 2024;1(124):40–47. Russian.

Статья поступила в редколлегию 24.10.2024.

Received by editorial board 24.10.2024.