

## Водоустойчивость структуры дерново-подзолистых почв, подверженных водной эрозии, на разных агрофонах

<sup>1</sup>Николай Николаевич Цыбулько✉, e-mail: nik.nik1966@tut.by, д.с.-х.н., профессор, начальник научно-исследовательского отдела, ORCID: 0000-0001-7746-6990

<sup>2</sup>Виктор Борисович Цырибко, к.с.-х.н., доцент,

зав. лаб. агрофизических свойств и защиты почв от эрозии, ORCID: 0000-0002-5406-016X

<sup>3</sup>Инна Ивановна Жукова, к.с.-х.н., доцент, зав. кафедрой биологии и методики преподавания биологии

<sup>2</sup>Илья Александрович Логачев, м.н.с., соискатель, ORCID: 0000-0003-2239-0866

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова», info@iseu.by, 220070, ул. Долгобродская 23/1, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси, brissa\_erosion@mail.ru, 220108, ул. Казинца 90, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка», e-mail: inn0707@bspu.by, 220030, ул. Советская 18, Минск, Беларусь

**Аннотация.** Водоустойчивость структуры почвы – одна из важнейших характеристик, определяющих ее противозерозионную стойкость. Дерново-подзолистые почвы по своим генетическим свойствам отличаются низкой устойчивостью к эрозии. Поэтому актуальным является разработка агротехнических и агрохимических приемов, способствующих повышению водоустойчивости агрегатов эродированных почв. Новизна представленной работы состоит в изучении влияния севооборотов с насыщением их сельскохозяйственными культурами, имеющими разную почвозащитную способность, а также систем удобрения в севообороте на показатели водоустойчивости структуры в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв. В результате исследований установлено, что из агрофизических и агрохимических показателей, влияющих на структурно-агрегатное состояние почв, водоустойчивость почвенной структуры зависит преимущественно от содержания органического вещества. Использование эродированных почв в травяно-зерновых севооборотах с насыщением многолетними бобовыми травами до 75% и применение в севообороте органоминеральной системы удобрения и известкования приводят к улучшению показателей водоустойчивости почвенной структуры. Установлено, что средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов снижается с увеличением степени эрозионной деградации почв. Возделываемые сельскохозяйственные культуры не оказывают существенного влияния на этот показатель. Отмечается только тенденция его повышения под люцерной третьего года пользования в травяно-зерновом севообороте. Не установлено также достоверного влияния систем удобрения на средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов. Полученные результаты исследований являются научной основой при разработке почвозащитных адаптивно-ландшафтных систем земледелия для разных агротехнологических групп земель, подверженных эрозионной деградации.

**Ключевые слова:** водоустойчивость почв, водопрочные агрегаты, эродированные почвы, севооборот, система удобрения.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», подпрограмма «Сохранение и повышение плодородия почв» по заданию 2.42. «Установление закономерностей влияния основных показателей плодородия и элементов агротехнологий на устойчивость почв к эрозионной деградации».

**Цитирование.** Цыбулько Н.Н., Цырибко В.Б., Жукова И.И., Логачев И.А. Водоустойчивость структуры дерново-подзолистых почв, подверженных водной эрозии, на разных агрофонах // Научно-агрономический журнал. 2024. 1(124). С. 40-47. DOI: 10.34736/FNC.2024.124.1.005.40-47

Поступила в редакцию: 22.01.2024

Принята к печати: 06.03.2024

**Введение.** Способность почвы противостоять воздействию дождевых капель, водному потоку, совместному действию потока воды и капель дождя – сложная комплексная характеристика почвы. Противозерозионная стойкость почв количественно выражается в величине размывающей скорости потока, определяемая двумя показателями: размером водопрочных агрегатов и сцеплением их друг с другом. Остальные свойства почв влияют на противозерозионную стойкость косвенно, через эти пока-

затели. Следовательно, противозерозионная стойкость почвы в целом обусловлена водопрочностью ее структуры [1; 3]. Наличие водопрочной структуры – результат формирования органоминеральных соединений при обязательном участии новообразованного гумуса, высокодисперсных глинистых минералов и обменных оснований [13].

В структурообразовании важнейшая роль принадлежит почвенному органическому веществу как основной субстанции, «склеивающей» гра-

нулометрические элементы в микро- и макроагрегаты и образующей гуматы кальция и магния, которые выпадают в осадок и служат центрами образования агрегатов [8]. Способность гумуса склеивать, цементировать частицы почвы в водопропрочные агрегаты должна непосредственно сказываться и на противоэрозионной стойкости почв. Низкое содержание гумуса в почве приводит к тому, что водопропрочные агрегаты диаметром  $>0,25$  мм практически отсутствуют, значит ухудшается физическое состояние почвы (высокая плотность, низкая пористость и водопроницаемость) [5].

Водоустойчивость почв зависит от свойств коллоидно-дисперсных минералов, составляющих илистую фракцию. Почвы, содержащие значительное количество каолинита, имеют низкую водопропрочность. Это объясняется тем, что каолинит мало набухает и не обеспечивает прочное сцепление между частицами. Почвы, в которых преобладают гидрофильные минералы (монтмориллонит, вермикулит и др.), характеризуются сравнительно высоким сцеплением и водоустойчивостью. Наиболее водопропрочная структура образуется при взаимодействии гуминовых кислот с минералами монтмориллонитовой группы и гидрослюдами, менее водопропрочная – при взаимодействии с кварцем, аморфной кремнекислотой и каолинитом [2].

Обменные катионы определяют поверхностные свойства почвенных частиц, поэтому их состав также влияет на водоустойчивость агрегатов. Установлено, что почвы, богатые коллоидами, имеют более высокую водопропрочность структуры, если они насыщены обменным кальцием [9].

Воздействие смывости почвы на ее водоустойчивость выражается в ухудшении гумусного состояния и агрофизических свойств. Рыхлые пахотные горизонты смытых почв имеют в среднем в 1,2 раза меньшую размывающую скорость, чем несмытые почвы, за счет ухудшения водопропрочности структуры. На более плотных почвах влияние смывости может не проявиться, так как уменьшение водопропрочности структуры смытых почв компенсируется увеличением их сцепления в результате уплотнения [4].

Следует отметить, что водопропрочность макроструктуры дерново-подзолистых почв, сформированных на разных почвообразующих породах, подверженных эрозионным процессам, а также влияние на нее агротехнологий, включая системы удобрения, исследованы недостаточно.

Цель исследований – изучить влияние севооборотов с насыщением их сельскохозяйственными культурами, имеющими разную почвозащитную способность, а также воздействие систем удобрения на водоустойчивость структуры в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных и моренных суглинках.

**Объекты и методика исследований.** Исследования проводили в 2018-2021 гг. в условиях центральной и северной почвенно-экологических

провинций Беларуси на полевых опытных станциях «Стоковые площадки» (Минский район, Минская область) и «Браслав» (Браславский район, Витебская область) Института почвоведения и агрохимии.

Объектами исследований являлись дерново-подзолистые почвы, сформированные на лессовидных и моренных суглинках, расположенные соответственно на склонах южной экспозиции крутизной  $6-7^\circ$  и северо-восточной экспозиции крутизной  $5-7^\circ$ . На водораздельной равнине находились неэродированные почвы, в верхней части склона – слабо- и среднеэродированные почвы, в средней части склона – сильноэродированные почвы.

Показатели водоустойчивости почвенной структуры изучали под сельскохозяйственными культурами, которые возделывали в следующих севооборотах:

- зерновой севооборот №1 (овес – яровой рапс – яровая пшеница – озимая рожь);
- зернотравяной севооборот №2 (горох с овсом на зеленую массу – озимая тритикале – горох с овсом на зеленую массу – озимая пшеница);
- травяно-зерновой севооборот №3 (однолетние травы с подсевом люцерны – люцерна трехлетнего пользования);
- травяно-зерновой севооборот №4 (яровая пшеница с подсевом люцерны – люцерна трехлетнего пользования).

На дерново-подзолистых неэродированных, средне- и сильноэродированных почвах на лессовидных суглинках в зерновом севообороте 1 изучено влияние систем удобрения на показатели водоустойчивости структуры почв. Схема опыта включала следующие варианты: 1. Минеральная система удобрения – применяли только минеральные (NPK) удобрения под возделываемые культуры; 2. Минеральная система удобрения + известкование – минеральные (NPK) удобрения и доломитовая мука в дозе 6,5 т/га в севообороте после озимой пшеницы; 3. Органоминеральная система удобрения – минеральные (NPK) удобрения и органические удобрения в дозах 40 т/га после озимой пшеницы и после ярового рапса; 4. Органоминеральная система удобрения + известкование – минеральные (NPK) удобрения, органические удобрения в дозах 40 т/га после озимой пшеницы и после ярового рапса, доломитовая мука в дозе 6,5 т/га в севообороте после озимой пшеницы. Дозы минеральных удобрений под культуры: овес –  $N_{90}P_{60}K_{80}$ ; яровой рапс –  $N_{130}P_{60}K_{90}$ ; яровая пшеница –  $N_{120}P_{60}K_{90}$ ; озимая рожь –  $N_{130}P_{60}K_{90}$ .

Агрохимические свойства почв ( $A_n$ ): неэродированная почва:  $pH_{KCl}$  – 5,74, гумус – 2,24%, содержание  $P_2O_5$  и  $K_2O$  (по Кирсанову) соответственно 282 и 230 мг/кг почвы; среднеэродированная почва:  $pH_{KCl}$  – 5,66, гумус – 1,73%, содержание  $P_2O_5$  и  $K_2O$  соответственно 270 и 212 мг/кг почвы; сильноэродированная почва:  $pH_{KCl}$  – 5,41, гумус – 1,33%, содержание  $P_2O_5$  и  $K_2O$  соответственно 270 и 139 мг/кг почвы.

Таблица 1. Показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках

Культуры севооборота	Эродированность почвы	$d_{wp}$ , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
Зерновой севооборот №1				
Овес	Неэродированная	0,4	18,2	0,1
	Среднеэродированная	0,2	9,7	< 0,1
	Сильноэродированная	0,2	8,3	< 0,1
Яровой рапс	Неэродированная	0,3	11,6	0,1
	Среднеэродированная	0,2	9,6	0,1
	Сильноэродированная	0,2	9,7	< 0,1
Яровая пшеница	Неэродированная	0,4	19,0	0,1
	Среднеэродированная	0,3	15,1	0,1
	Сильноэродированная	0,3	13,4	0,1
Озимая рожь	Неэродированная	0,5	29,6	0,2
	Среднеэродированная	0,5	18,7	0,1
	Сильноэродированная	0,2	15,5	0,1
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,4	19,6	0,1
	Среднеэродированная	0,3	13,3	0,1
	Сильноэродированная	0,2	11,7	<0,1
Травяно-зерновой севооборот №3				
Однолетние травы с подсевом люцерны	Неэродированная	0,4	17,0	0,1
	Среднеэродированная	0,2	14,8	0,1
	Сильноэродированная	0,2	13,5	<0,1
Люцерна 1-го года пользования	Неэродированная	0,4	17,3	0,1
	Среднеэродированная	0,3	16,4	0,1
	Сильноэродированная	0,2	15,8	<0,1
Люцерна 2-го года пользования	Неэродированная	0,4	18,3	0,1
	Среднеэродированная	0,3	16,4	0,1
	Сильноэродированная	0,2	8,3	<0,1
Люцерна 3-го года пользования	Неэродированная	0,6	31,7	0,2
	Среднеэродированная	0,4	18,6	0,1
	Сильноэродированная	0,3	17,2	0,1
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,4	21,0	0,1
	Среднеэродированная	0,3	16,5	0,1
	Сильноэродированная	0,2	13,7	0,1

Структурно-агрегатный анализ почв определяли по Н.И. Саввинову, водоустойчивость – по соотношению агрегатов диаметром  $\geq 0,25$  мм при водном и сухом просеивании. Коэффициент водопрочности ( $K_{вп}$ ) рассчитывали, как соотношение содержания водопрочных агрегатов  $\geq 0,5$  мм при водном просеивании и агрегатов такого же диаметра при сухом просеивании.

**Результаты и их обсуждение.** Водоустойчивость почвенной структуры – комплексная характеристика почвы, которая отражает прочность связей между структурными элементами внутри почвенного агрегата. Наиболее значимыми факторами, определяющими водоустойчивость почвы, являются микроагрегированность, гидрофобность

твердой фазы и пространственное расположение твердых частиц и пустот [10; 11]. Водопрочные агрегаты – наиболее устойчивые компоненты почвы благодаря различным факторам и механизмам их образования [12].

Неустойчивость сложения дерново-подзолистых почв связана с невысоким содержанием в них водопрочных агрегатов. Дерново-подзолистые суглинистые почвы с содержанием водопрочных агрегатов менее 20% могут уплотняться до 1,5–1,6 г/см<sup>3</sup>. Устойчивое сложение дерново-подзолистых почв достигается при содержании водопрочных агрегатов ( $> 0,25$  мм) более 40%.

Дерново-подзолистые почвы, сформированные на лессовидных суглинках, характеризовались не-

удовлетворительной водоустойчивостью (ВУ), которая была ниже 30%. Повышение степени эродированности почвы приводило к снижению водоустойчивости почвенных агрегатов. В зерновом севообороте №1 водоустойчивость неэродированной почвы изменялась по годам от 11,6 до 29,6%, среднеэродированной почвы – от 9,6 до 18,7, сильноэродированной почвы – от 8,3 до 15,5%, составив в среднем соответственно 19,6%, 13,3 и 11,7% (табл. 1).

В травяно-зерновом севообороте №3 при трехлетнем возделывании люцерны посевной наблюдалось некоторое увеличение водоустойчивости почвенных агрегатов. Так, под люцерной третьего года пользования водоустойчивость структуры неэродированной почвы составила 31,7% (удовлетворительная), среднеэродированной почвы – 18,6, сильноэродированной почвы – 17,2%.

Средний размер водоустойчивых агрегатов более точно отражает состояние водопрочной структуры. Отмечается, что водопрочность почвенного агрегата возрастает при увеличении его диаметра [7]. Показатель средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов ( $d_w$ ) используется в уравнении М. С. Кузнецова для расчета донной размывающей скорости потока при определении противозерозионной стойкости почв [1].

Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов изменялся по годам в зависимости от эродированности почв – от 0,2 до 0,6 мм. Наблюдалось его снижение с увеличением степени эродированности почвы. Возделываемые сельскохозяйственные куль-

туры не оказали существенного влияния на величину  $d_w$ . Отмечена только тенденция его повышения под люцерной третьего года пользования в травяно-зерновом севообороте. В среднем в обоих севооборотах данный показатель составил на неэродированных почвах 0,4 мм, на среднеэродированных почвах – 0,3 мм, на сильноэродированных почвах – 0,2 мм.

Коэффициент водопрочности, определяемый по соотношению содержания водопрочных агрегатов  $\geq 0,5$  мм при водном просеивании и агрегатов такого же диаметра при сухом просеивании, свидетельствует о низкой генетической устойчивости дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках к смыву и размыву. Величина этого показателя не превышала 0,1 как для неэродированных почв, так и для средне- и сильноэродированных почв.

Дерново-подзолистые почвы, сформированные на моренных суглинках, отличались более высокой водоустойчивостью по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. В зернотравяном севообороте №2 при возделывании зерновых культур и однолетних бобово-злаковых трав водоустойчивость неэродированной почвы изменялась по годам от 42,5 до 51,4%, слабоэродированной почвы – от 38,0 до 42,0, среднеэродированной почвы – от 34,7 до 39,2, сильноэродированной почвы – от 31,9 до 37,1%, а в среднем составила соответственно 47,0; 40,7; 38,4; 34,8%. Следовательно, водоустойчивость неэродированной и слабоэродированной почв была хорошей, средне- и сильноэродированной почв – удовлетворительной (таблица 2).

Таблица 2. Показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, в зернотравяном севообороте №2

Культуры севооборота	Эродированность почвы	$d_w$ , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
Однолетние травы	Неэродированная	0,5	51,3	0,2
	Слабоэродированная	0,4	42,0	0,2
	Среднеэродированная	0,4	39,2	0,2
	Сильноэродированная	0,4	36,4	0,2
Озимая тритикале	Неэродированная	0,5	51,4	0,2
	Слабоэродированная	0,4	38,0	0,2
	Среднеэродированная	0,4	34,7	0,1
	Сильноэродированная	0,3	31,9	0,1
Однолетние травы	Неэродированная	0,6	42,9	0,3
	Слабоэродированная	0,5	40,9	0,3
	Среднеэродированная	0,5	38,0	0,2
	Сильноэродированная	0,4	34,0	0,2
Озимая пшеница	Неэродированная	0,6	42,5	0,3
	Слабоэродированная	0,5	41,9	0,3
	Среднеэродированная	0,5	41,7	0,3
	Сильноэродированная	0,4	37,1	0,2
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,5	47,0	0,3
	Слабоэродированная	0,4	40,7	0,2
	Среднеэродированная	0,4	38,4	0,2
	Сильноэродированная	0,4	34,8	0,2



Таблица 3. Показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных суглинках, в травяно-зерновом севообороте №4

Культуры севооборота	Эродированность почвы	$d_w$ , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
Яровая пшеница с подсевом люцерны	Неэродированная	0,7	48,7	0,3
	Слабоэродированная	0,6	43,1	0,2
	Среднеэродированная	0,5	42,2	0,2
	Сильноэродированная	0,4	35,1	0,2
Люцерна 1-го года пользования	Неэродированная	0,5	41,2	0,2
	Слабоэродированная	0,5	40,8	0,2
	Среднеэродированная	0,5	39,7	0,2
	Сильноэродированная	0,4	37,7	0,2
Люцерна 2-го года пользования	Неэродированная	1,0	51,8	0,4
	Слабоэродированная	0,9	43,5	0,3
	Среднеэродированная	0,8	42,6	0,3
	Сильноэродированная	0,5	40,9	0,2
Люцерна 3-го года пользования	Неэродированная	1,0	53,9	0,4
	Слабоэродированная	0,8	49,0	0,4
	Среднеэродированная	0,7	43,9	0,3
	Сильноэродированная	0,6	38,9	0,3
Среднее за севооборот	Неэродированная	0,8	48,9	0,3
	Слабоэродированная	0,7	44,1	0,3
	Среднеэродированная	0,6	42,1	0,3
	Сильноэродированная	0,5	38,2	0,2

В травяно-зерновом севообороте №4 при трехлетнем возделывании люцерны посевной наблюдалось увеличение водоустойчивости почвенных агрегатов. В среднем она составила на неэродированной, слабо-, средне- и сильноэродированной почвах соответственно 48,9, 44,1, 42,1 и 38,2%, т. е. была на уровне хорошей, за исключением сильноэродированной почвы (таблица 3).

Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов изменялся по годам в зависимости от эродированности почв под культурами зернотравяного севооборота №2 от 0,3 до 0,6 мм, под культурами травяно-зернового севооборота №4 от 0,4 до 1,0 мм. Наблюдалось повышение  $d_w$  под люцерной третьего года пользования в травяно-зерновом севообороте №4.

В среднем за годы исследований в зернотравяном севообороте №2 средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов составил в неэродированной почве 0,5 мм, в слабо-, средне- и сильноэродированной почвах 0,4 мм. В травяно-зерновом севообороте №4 он был выше: в неэродированной почве – 0,8 мм, слабоэродированной почве – 0,7 мм, среднеэродированной почве – 0,6 мм, сильноэродированной почве – 0,5 мм.

Коэффициенты водопрочности почвенных агрегатов дерново-подзолистых почв на моренных суглинках изменялись в зависимости от степени их эродированности и севооборота от 0,1 до 0,4.

Под культурами зернотравяного севооборота №2 коэффициент водопрочности в среднем за 4 года исследований составил на неэродированной почве 0,3, на эродированных почвах – 0,2, а под культурами травяно-зернового севооборота №4 – на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах – 0,3, на сильноэродированной почве – 0,2.

Изучено влияние минеральной и органоминеральной систем удобрения без известкования и с внесением известковых мелиорантов в зерновом севообороте №1 на водоустойчивость структуры дерново-подзолистых почв на лессовидных суглинках, в разной степени подверженных водной эрозии. В среднем за севооборот при минеральной системе удобрения водоустойчивость структуры неэродированной почвы составила 19,9%, средне- и сильноэродированной почв – 12,5%. По годам этот показатель колебался на неэродированной и эродированных почвах от 8,3 до 28,2%. Во всех случаях водоустойчивость была неудовлетворительной (<30%). Известкование почв на фоне минеральной системы удобрения способствовало незначительному повышению водоустойчивости неэродированной и среднеэродированной почв (таблица 4). На фоне органоминеральной системы удобрения наблюдалось некоторое улучшение водоустойчивости эродированных почв, которая составила в среднем за севооборот 15,5–15,6%; колебания по годам составили соответственно 13,6–18,2 и 7,7–22,3%.

Таблица 4. Влияние систем удобрения на показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв разной эродированности

Система удобрения	Неэродированная почва	Средне-эродированная почва	Сильно-эродированная почва
Водоустойчивость, %			
Минеральная	<u>*11,6–28,2</u> 19,9	<u>9,61–5,5</u> 12,5	<u>8,3–18,7</u> 12,5
Минеральная + известкование почвы	<u>15,9–28,1</u> 22,7	<u>6,2–18,8</u> 13,1	<u>8,2–15,5</u> 11,2
Органоминеральная	<u>17,5–25,8</u> 20,7	<u>13,6–18,2</u> 15,6	<u>7,7–22,3</u> 15,5
Органоминеральная + известкование почвы	<u>18,2–28,6</u> 24,8	<u>15,0–22,6</u> 18,5	<u>8,2–24,4</u> 16,0
Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов, мм			
Минеральная	<u>0,2–0,5</u> 0,4	<u>0,2–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,5</u> 0,3
Минеральная + известкование почвы	<u>0,3–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,3</u> 0,3
Органоминеральная	<u>0,3–0,5</u> 0,4	<u>0,3–0,4</u> 0,3	<u>0,2–0,3</u> 0,3
Органоминеральная + известкование почвы	<u>0,3–0,5</u> 0,4	<u>0,2–0,3</u> 0,3	<u>0,2–0,3</u> 0,3
Коэффициент водопрочности			
Минеральная	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u>&lt;0,1–0,1</u> 0,1	<u>&lt;0,1–0,1</u> 0,1
Минеральная + известкование почвы	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u>&lt;0,1–0,1</u> 0,1	<u>&lt;0,1–0,1</u> 0,1
Органоминеральная	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>&lt;0,1–0,2</u> 0,1
Органоминеральная + известкование почвы	<u>0,1–0,4</u> 0,2	0,1	<u>&lt;0,1–0,1</u> 0,1

\*Примечание. Над чертой – колебания по годам, под чертой – среднее значение за годы исследований.

Применение известковых мелиорантов на фоне органоминеральной системы удобрения также повышало водоустойчивость структуры как неэродированной, так и эродированных почв, но в то же время она была неудовлетворительной.

На слабую водоустойчивость дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках, указывают и полученные коэффициенты водопрочности. При всех изучаемых системах удобрения сельскохозяйственных культур на неэродированной почве они фактически не превышали 0,2, а на эродированных почвах – 0,1.

Не установлено достоверного влияния систем удобрения на средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов. В среднем за севооборот как на неэродированной, так и на эродированных почвах он составил 0,3–0,4 мм, в отдельных случаях 0,5 мм.

Выполнен корреляционно-регрессионный анализ с целью определения взаимосвязей между водоустойчивостью почвенной структуры и агрофизическими и агрохимическими свойствами почв. Проанализировано более 100 сопряженных почвенных проб.

Как показали полученные результаты, слабая связь водоустойчивости структуры почв прослеживается с содержанием структурных агрегатов диаметром 0,25–5,0 мм ( $r = 0,30$ ), средняя – с плотностью почвы ( $r = 0,30$ ) и высокая – с содержанием органического вещества (гумуса) в пахотном горизонте (рисунок 1).

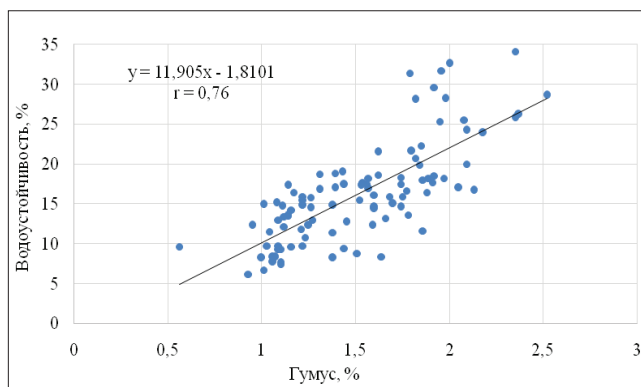


Рисунок 1. Взаимосвязь водоустойчивости почвенной структуры с содержанием органического вещества в почве

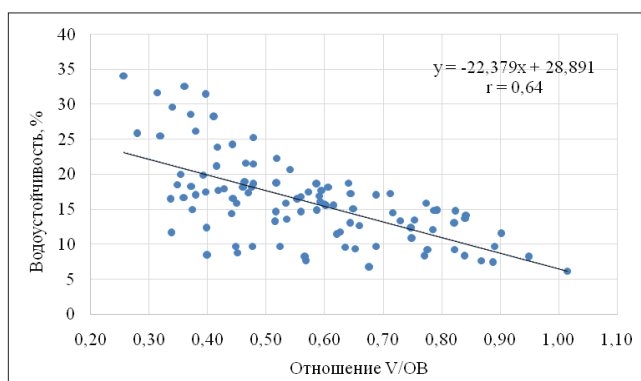


Рисунок 2. Взаимосвязь водоустойчивости почвенной структуры с показателем отношения степени насыщенности почв основаниями к содержанию гумуса в почве

По литературным данным [6], водоустойчивость структуры почвы зависит от такого параметра, как отношение степени насыщенности почв основаниями (V, %) к содержанию органического вещества в почве (ОВ, %). Агрофизический и агрохимический смысл этого отношения – обеспеченность почвы склеивающим веществом водопрочных агрегатов. В наших исследованиях установлена отрицательная корреляция средней силы между водоустойчивостью структуры почвы и показателем отношения степени насыщенности почв основаниями к содержанию гумуса в пахотном горизонте (рисунок 2).

**Выводы.** Дерново-подзолистые почвы на моренных суглинках отличались лучшей водоустойчивостью по сравнению с почвами на лессовидных суглинках. Неэродированные, слабо- и среднеэродированные почвы в травяно-зерновом севообороте имели хорошую водоустойчивость (40,7–48,9%), среднеэродированные почвы в зернотравяном севообороте и сильноэродированные почвы в травяно-зерновом севообороте – удовлетворительную (34,8–38,4%). Дерново-подзолистые неэродированные и эродированные почвы на лессовидных суглинках характеризовались неудовлетворительной водоустойчивостью структуры.

Органоминеральная система удобрения совместно с известкованием улучшала водоустойчивость почв. По сравнению с минеральной системой удобрения водоустойчивость неэродированной почвы повысилась с 19,9 до 24,8 %, среднеэродированной – с 12,5 до 18,5, сильноэродированной почвы – с 12,5 до 16,0 %.

Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов дерново-подзолистых неэродированных почв на лессовидных суглинках составил в среднем 0,4 мм, средне- и сильноэродированных почв – 0,3 мм. Дерново-подзолистые почвы на моренных суглинках отличались более высокими его значениями, особенно в травяно-зерновом севообороте: для неэродированных почв – 0,8 мм, для эродированных – 0,5–0,7 мм.

Из агрофизических и агрохимических показателей почв, влияющих на их структурно-агрегатное состояние, водоустойчивость почвенной структуры зависит преимущественно от содержания органического вещества (гумуса) в почве.

#### Литература:

1. Кузнецов М.С. Противозероэрозийная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 135 с. <https://istina.msu.ru/>

DOI: 10.34736/FNC.2024.124.1.005.40.47

## Water Stability of Sod-podzolic Soils Structure Subject to Water Erosion, on Different Agrophones

<sup>1</sup>Nikolai N. Tsybulka✉, e-mail: nik.nik1966@tut.by, Dr. Sci. (Agr.), Professor, ORCID: 0000-0001-7746-6990

<sup>2</sup>Viktor B. Tsyribka, PhD in Agr. Sci., ORCID: 0000-0002-5406-016X

<sup>3</sup>Inna I. Zhukova, PhD in Agr. Sci., Associate Professor

<sup>2</sup>Ilya A. Iogachov, Junior Researcher, ORCID: 0000-0003-2239-0866

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute, info@iseu.by, Dolgobrodskaya st. 23/1, Minsk, 220070, Belarus

publications/book/3136617

2. Кузнецов М. С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: учебник для вузов /3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2024. 387 с. <https://urait.ru/bcode/541248>

3. Ларионов Г.А., Бушуева О.Г., Горобец А.В., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Максимова И.А., Судницын И.И. Экспериментальное исследование факторов, влияющих на эродированность почв // Почвоведение. 2018. № 3. С. 347–356. DOI: 10.7868/S0032180X18030097

4. Ларионов Г.А., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Горобец А.В., Судницын И.И. Влияние плотности почвы, сопротивления размыву и инфильтрации воды на скорость разрушения межагрегатных связей // Почвоведение. 2017. № 3. С. 354–359. DOI: 10.7868/S0032180X17010099

5. Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения. – Белгород: Константа, 2012. 456 с. <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/4663>

6. Николаенко А. Н., Кавокин А.А. Моделирование связи структуры почвы с содержанием органического вещества и обменных  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2020. № 2. С. 24–28.

7. Теория и методы физики почв: Коллективная монография / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. М.: «Гриф и К», 2007. 616 с. <https://b.twirpx.link/file/557984>

8. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Органическое вещество и структура почвы: учение В.Р. Вильямса и современность // Известия ТСХА. 2014. Вып. 1. С. 42-51. <http://elib.timacad.ru/dl/full/04-2014-1.pdf>

9. Шоба С.А., Шеин Е.В., Ушкова Д.А., Грачева Т.А., Салимгареева О.А., Федотов Г.Н. Физико-химические аспекты водоустойчивости почв // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Том 508. № 1. С. 139-143. DOI: 10.31857/S2686739722601764

10. Amezketa E. Soil aggregate stability: a review. Journal of Sustainable Agriculture. 1999. Т. 14. №. 2-3. С. 83-151. DOI: 10.1300/J064v14n02\_08

11. Doerr S. H., Shakesby R. A., Walsh R. P. D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance // Earth-Science Reviews. 2000. Т. 51. №. 1-4. С. 33-65. DOI: 10.1016/S0012-8252(00)00011-8

12. Totsche K. U. et al. Microaggregates in soils // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2018. Т. 181. №. 1. С. 104-136. DOI: 10.1002/jpln.201600451

13. Six J., Paustian K., Elliot E.T., Combrink C. Soil structure and soil organic matter. I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon // Soil Sci. Soc. Am. J. 2000. V. 64. № 2. P. 681-689. DOI: 10.2136/sssaj2000.642681x

<sup>2</sup>The Institute of Soil Science and Agrochemistry, brissa\_erosion@mail.ru, 220108, st. Kazintsa 90, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tanko, e-mail: inn0707@bspu.by, 220030, st. Sovetskaya 18, Minsk, Belarus

**Abstract.** The water stability of the soil structure is one of the most important factors determining its erosion stability. Sod-podzolic soils by their genesis are characterized by low stability to erosion. Therefore, it is relevant to develop agrotechnical and agrochemical techniques that promotes increasing the water stability of aggregates of eroded soils. The novelty of the presented work is a study of the effect of crop rotations with different soil protection capacity, as well as fertilizer systems in crop rotation on the water stability of the structure of eroded sod-podzolic soils to various degrees. It has been established that of the agrophysical and agrochemical properties affecting the structural and aggregate state of soils, the water stability of the soil structure depends mainly on the content of organic matter. The use of eroded soils in grass-grain crop rotations with saturation of perennial legumes up to 75% and the use of an organomineral fertilizer system and liming in crop rotation lead to an improvement in the water stability of the soil structure. It was found that the weighted average diameter of the water-bearing aggregates decreases with an increase in the degree of erosion degradation of soils. Cultivated crops do not have a significant impact on this indicator. There is only a tendency for its increase under alfalfa for the third year of use in the grass-grain crop rotation. There is also no reliable effect of fertilizer systems on the weighted average diameter of soil aggregates. The results obtained are the scientific basis for the development of soil-protective adaptive-landscape farming systems for different agrotechnological groups of lands subject to erosion degradation.

**Keywords:** soil water stability, water-stability aggregates, eroded soils, crop rotation, fertilizer system.

**Funding.** The work was carried out within the framework of the State research program "Quality and efficiency of agro-industrial production", the subprogram "Conservation and improvement of soil fertility" according to task 2.42. "establishment of patterns of influence of the main indicators of fertility and elements of agrotechnologies on soil resistance to erosion degradation".

**Citation.** Tsybulka N.N., Tsyribka V.B., Zhukova I.I., logachov I.A. Water Stability of Sod-podzolic Soils Structure Subject to Water Erosion, on Different Agrophones. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;1(124):40-47.

DOI: 10.34736/FNC.2024.124.1.005.40-47

Received: 22.01.2024

Accepted: 06.03.2024

#### References:

1. Kuznetsov M.S. Anti-erosion resistance of soils. Moscow. MSU Publ. house. 1981. 135 p. (In Russ.)
2. Kuznetsov M.S., Glazunov G.P. Soil erosion and conservation. Textbook for universities. 3rd ed. revised and additional. M. Yurajt Publishing House. 2024. 387 p. <https://urait.ru/bcode/541248>
3. Larionov G.A., Bushueva O.G., Gorobets A.V., Dobrovolskaya N.G., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Litvin L.F., Maksimova I.A., Sudnitsyn I.I. Experimental study of factors influencing soil erodibility. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2018;3:347-356. (In Russ.)
4. Larionov G.A., Dobrovolskaya N.G., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Litvin L.F., Gorobets A.V., Sudnitsyn I.I. The influence of soil density, resistance to erosion and water infiltration on the rate of interaggregate bonds destruction. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2017;3:354-359. (In Russ.)
5. Lisetsky F.N., Svetlichny A.A., Cherny S.G. Contemporary problems of erosion science. Belgorod. Constanta Publ. house. 2012. 456 p. (In Russ.)
6. Nikolaenko A. N., Kavokin A.A. Modeling of the relationship of soil structure with the organic matter content and Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> exchange. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17. Pochvovedenie = Bulletin of the Moscow University. Series 17. Soil Science*. 2020;2:24-28. (In Russ.)
7. Theory and methods of soil physics: Cooperate monograph / Ed. E.V. Shein and L.O. Karpachevsky. M. "Grif and K" Publ. house. 2007. 616 p. (In Russ.)
8. Shein E.V., Milanovsky E.Yu. Organic matter and soil structure: teachings of V.R. Williams and modernity. *Izvestiâ Timirâzevskoj sel'skohozâjstvennoj akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2014;1:42-51. (In Russ.)
9. Shoba S.A., Shein E.V., Ushkova D.A., Gracheva T.A., Salimgareeva O.A., Fedotov G.N. Physico-chemical aspects of soil water resistance. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*. 2023;508(1):139-143. (In Russ.)
10. Amezketa E. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*. 1999;14(2-3):83-151. DOI: 10.1300/J064v14n02\_08
11. Doerr S. H., Shakesby R. A., Walsh R. P. D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. 2000;51(1-4):33-65. DOI:10.1016/S0012-8252(00)00011-8
12. Totsche K. U. et al. Microaggregates in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2018;181(1):104-136. DOI: 10.1002/jpln.201600451
13. Six J., Paustian K., Elliot E.T., Combrink C. Soil structure and soil organic matter. I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 2000;64(2):681-689. DOI: 10.2136/sssaj2000.642681x

**Авторский вклад.** Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Author's contribution.** Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.