

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ВОДОУСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЭРОЗИИ

Н. Н. Цыбулько¹, доктор сельскохозяйственных наук

В. Б. Цырибко², кандидат сельскохозяйственных наук

И. А. Логачёв², младший научный сотрудник

¹Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

²РУП «Институт почвоведения и агрохимии», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изучено влияние севооборотов и систем удобрения на водоустойчивость структуры почв. 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 почвы на лессовидных суглинках характеризовались неудовлетворительной водоустойчивостью. 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. Почвы, сформированные на моренных суглинках, имели более высокие значения этого показателя, особенно в травяно-зерновом севообороте.

Ключевые слова: водоустойчивость, коэффициент водопрочности, водопрочные агрегаты, эродированные почвы, севообороты, система удобрения.

Abstract

N. N. Tsybulka, V. B. Tsyribka, I. A. Logachov

INFLUENCE OF CROPPING ROTATIONS AND FERTILIZER SYSTEMS ON WATER STABILITY STRUCTURES OF SODDY-PODZOL SOILS SUBJECT TO EROSION

The influence of crop rotations and fertilization systems on the water resistance of soil structure was studied. Soddy-podzolic soils on moraine loams were characterized by better water resistance compared to soils on loess-like loams. Non-eroded, weakly and moderately eroded soils in the grass-grain crop rotation had good water resistance (40.7–48.9 %), moderately eroded soils in the grain-grass crop rotation and highly eroded soils in the grass-grain crop rotation – satisfactory (34.8–38.4 %). Soddy-podzolic soils on loess-like loams were characterized by unsatisfactory water resistance. The organomineral fertilizer system, together with liming, improved the water resistance of soils. Compared to the mineral fertilizer system, the water resistance of non-eroded soil increased from 19.9 to 24.8 %, moderately eroded soil – from 12.5 to 18.5, highly eroded soil – from 12.5 to 16.0 %. The weighted average diameter of water-resistant aggregates of soddy-podzolic non-eroded soils on loess-like loams averaged 0.4 mm, and of moderately and highly eroded soils – 0.3 mm. Soils formed on moraine loams had higher values of this indicator, especially in grass-grain crop rotation.

Keywords: water resistance, water resistance coefficient, water-resistant aggregates, eroded soils, crop rotation, fertilizer system.

Введение

Способность почвы противостоять воздействию дождевых капель, водному потоку, совместному действию потока воды и капель дождя – сложная комплексная характеристика почвы. Противоэрозионная стойкость количественно выражается в величине размывающей скорости потока, которая непо-

средственно определяется двумя показателями почвы: размером водопрочных агрегатов и сцеплением их друг с другом. Остальные свойства почв влияют на противоэрозионную стойкость косвенно, через эти показатели. Следовательно, противоэрозионная стойкость почвы в целом обусловлена водопрочностью

ее структуры [1, 2]. Наличие водопрочной структуры – результат формирования органоминеральных соединений при обязательном участии новообразованного гумуса, высокодисперсных глинистых минералов и обменных оснований [3].

В структурообразовании важнейшая роль принадлежит почвенному органическому веществу как основной субстанции, «склеивающей» гранулометрические элементы в микро- и макроагрегаты и образующей гуматы кальция и магния, которые выпадают в осадок и служат центрами образования агрегатов [4, 5]. Способность гумуса склеивать, цементировать частицы почвы в водопрочные агрегаты должна непосредственно сказываться и на противоэрозионной стойкости почв. Низкое содержание гумуса в почве приводит к тому, что водопрочные агрегаты диаметром > 0,25 мм практически отсутствуют – значит, ухудшается физическое состояние почвы (высокая плотность, низкая пористость и водопроницаемость) [6].

Водоустойчивость почв зависит от свойств коллоидно-дисперсных минералов, составляющих илистую фракцию. Почвы, содержащие значительное количество каолинита, имеют низкую водопрочность. Это объясняется тем, что такой минерал, как каолинит, мало набухает и не обеспечивает прочного сцепления между частицами. Почвы, в которых преобладают гидрофильные минералы (монтмориллонит, вермикулит и др.), характеризуются сравнительно высоким сцеплением и водоустойчивостью [7]. Наиболее водопрочная структура образуется при взаимодействии гуминовых кислот с минералами монтморил-

лонитовой группы и гидрослюдами, менее водопрочная – при взаимодействии с кварцем, аморфной кремнекислотой и каолинитом [8].

Обменные катионы определяют поверхностные свойства почвенных частиц, поэтому их состав также влияет на водоустойчивость агрегатов [9]. Установлено, что почвы, богатые коллоидами, имеют более высокую водопрочность структуры, если они насыщены обменным кальцием [10].

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 водопрочности структуры. На более плотных почвах влияние смывости может не проявиться, так как уменьшение водопрочности структуры смытых почв компенсируется увеличением их сцепления в результате уплотнения [8, 11, 12].

Следует отметить, что водопрочность 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 сельскохозяйственными культурами, имеющими разную почвозащитную способность, а также воздействие систем удобрения на водоустойчивость макроструктуры в разной степени эродированных дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных и моренных суглинках.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2018–2021 гг. в условиях центральной и северной почвенно-экологических провинций Беларуси на полевых опытных стационарах Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси – «Стоковые площадки» (Минский р-н) и «Браслав» (Браславский р-н).

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы исследований различались. На стационаре «Браслав» (северная почвенно-экологическая провинция) среднее много-

летнее значение ГТК – 1,52; в 2018 г. он составил 1,11 (в условиях, близких к засушливым), в 2019 г. – 1,30 (хорошее увлажнение), в 2020 г. – 1,55 (хорошее увлажнение) и в 2021 г. – 2,14 (избыточное увлажнение). На стационаре «Стоковые площадки» (центральная почвенно-экологическая провинция) вегетационные периоды 2018–2020 гг. характеризовались хорошим увлажнением (ГТК 1,42–1,49), а 2021 г. наблюдалось избыточное увлажнение (ГТК – 1,85).

Объектами исследований послужили:

дерново-подзолистая почва, сформированная на легких лессовидных суглинках, расположенная на склоне южной экспозиции крутизной 6–7°. На водораздельной равнине находятся незэродированные почвы, в верхней части склона – среднеэродированные, в средней – сильноэродированные почвы (стационар «Стоковые площадки»);

дерново-подзолистая почва, сформированная на моренных суглинках, расположенная на склоне северо-восточной экспозиции крутизной 5–7°. На водораздельной равнине находятся незэродированная почва, в верхней части склона – слабо- и среднеэродированная, в средней – сильноэродированная почва (стационар «Браслав»).

На стационаре «Стоковые площадки», на склоне южной экспозиции крутизной 6–7°, изучались:

а) *зерновой севооборот* (овес – яровой рапс – яровая пшеница – озимая рожь) с показателем почвозащитной способности 0,55;

б) *травяно-зерновой севооборот* (однолетние травы с подсевом люцерны – люцерна трехлетнего пользования) с показателем почвозащитной способности 0,81.

На стационаре «Браслав», на склоне северо-восточной экспозиции крутизной 5–7°, изучались:

а) *зернотравяной севооборот* (горох с овсом на зеленую массу – озимая тритикале – горох с овсом на зеленую массу – озимая пшеница) с показателем почвозащитной способности 0,54;

б) *травяно-зерновой севооборот* (яровая пшеница с подсевом люцерны – люцерна трехлетнего пользования) с показателем почвозащитной способности 0,72.

Почвозащитную способность севооборотов определяли на основе коэффициентов противоэрозионной способности отдельных сельскохозяйственных культур и насыщения ими севооборотов. Коэффициенты противоэрозионной способности культур таковы: люцерна двух- и трехлетнего пользования – 0,98; люцерна однолетнего пользования – 0,92; озимая пшеница, озимая тритикале, озимая рожь – 0,84; яровая пшеница, овес, яровой рапс – 0,35; однолетние травы – 0,34 [13].

В полевом опыте на дерново-подзолистых незэродированных, средне- и сильноэроди-

рованных почвах, сформированных на лессовидных суглинках, изучено влияние систем удобрения на показатели водоустойчивости структуры почв. Агрохимические показатели почв следующие (A_n): незэродированная почва: pH_{KCl} – 5,74, гумус – 2,24 %, содержание P_2O_5 и K_2O 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.

В зерновом севообороте *озимая пшеница – овес – яровой рапс – яровая пшеница – озимая рожь* схема опыта включала следующие варианты систем удобрения и известкования почв:

1) минеральная система удобрения – применяли только минеральные (NPK) удобрения под возделываемые культуры; 2) минеральная система удобрения + известкование, то есть минеральные (NPK) удобрения и доломитовая мука после озимой пшеницы в дозе 6,5 т/га; 3) органоминеральная система удобрения – минеральные (NPK) удобрения и органические удобрения в дозах 40 т/га после озимой пшеницы и ярового рапса; 4) органоминеральная система удобрения + известкование, то есть минеральные (NPK) удобрения, органические удобрения в дозах 40 т/га после озимой пшеницы и ярового рапса, доломитовая мука после озимой пшеницы в дозе 6,5 т/га. Дозы минеральных удобрений под культуры севооборота: 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 – $N_{130}P_{60}K_{90}$.

Структурно-агрегатный анализ почв выполняли по методу Н. И. Саввинова. Водоустойчивость определяли по соотношению агрегатов диаметром $\geq 0,25$ мм при водном и сухом просеивании. Коэффициент водопрочности (далее – $K_{вп}$) рассчитывали как соотношение содержания водопрочных агрегатов $\geq 0,5$ мм при водном просеивании и агрегатов такого же диаметра при сухом просеивании. Показатель средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (d_w) используется в уравнении М. С. Кузнецова для расчета донной размывающей скорости потока при определении противоэрозионной стойкости почв [1].

Результаты исследований 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 [14, 15]. Водопрочные агрегаты – наиболее устойчивые компоненты почвы благодаря различным факторам и механизмам их образования [16, 17].

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/см³. Устойчивое сложение дерново-подзолистых почв достигается при содержании водопрочных агрегатов (> 0,25 мм) более 40 %.

Установлено, что дерново-подзолистые почвы, сформированные на лессовидных суглинках, характеризуются неудовлетворительной водоустойчивостью (далее – ВУ), которая была ниже 30 %. Увеличение эродированности почвы снижало водоустойчивость почвенных агрегатов. В зерновом севообороте водоустойчивость неэродированной почвы изменялась по годам от 11,6 до 29,6 %, среднеэродированной почвы – от 9,6 до 18,7 и сильноэродированной почвы – от 8,3 до 15,5 %, составив в среднем соответственно 19,6 %, 13,3 и 11,7 % (табл. 1).

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

Культуры севооборота	Эродированность почвы	d_w , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
<i>Зерновой севооборот</i>				
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	Неэродированная	0,4	19,6	0,1
	за севооборот	0,3	13,3	0,1
	Сильноэродированная	0,2	11,7	< 0,1
<i>Травяно-зерновой севооборот</i>				
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

Окончание табл. 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

В травяно-зерновом севообороте при трехлетнем возделывании люцерны посевной наблюдалось некоторое увеличение водоустойчивости почвенных агрегатов. Так, под люцерной 3-го года пользования водоустойчивость структуры неэродированной почвы была 31,7 % (удовлетворительная), среднеэродированной почвы – 18,6, сильноэродированной почвы – 17,2 %.

Средний размер водоустойчивых агрегатов более точно отражает состояние водопропрочной структуры. Отмечается, что водопропрочность почвенного агрегата возрастает при увеличении его диаметра [18].

Средневзвешенный диаметр водопропрочных агрегатов изменялся по годам в зависимости от степени эродированности почв – от 0,2 до 0,6 мм. Наблюдалось его снижение с увеличением степени эродированности почвы. Возделываемые сельскохозяйственные культуры не оказали существенного влияния на величину d_w . Отмечена лишь тенденция его повышения под люцерной 3-го 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 водопропрочности ($K_{вп}$), определяемый по соотношению содержания водопропрочных 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 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 (табл. 2).

Таблица 2. Показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв разной эродированности, сформированных на моренных суглинках

Культуры севооборота	Эродированность почвы	d_w , мм	ВУ, %	$K_{вп}$
<i>Зернотравяной севооборот</i>				
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

Окончание табл. 2

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
<i>Травяно-зерновой севооборот</i>				
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 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 %, то есть была на уровне хорошей, за исключением сильноэродированной почвы.

Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов изменялся по годам в зависимости от эродированности почв под культурами зерно-травяного севооборота от 0,3 до 0,6 мм, под

культурами травяно-зернового севооборота – от 0,4 до 1,0 мм. Наблюдалось повышение d_w под люцерной 3-го года пользования в травяно-зерновом севообороте. В среднем за годы исследований в зерно-травяном севообороте средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов составил в неэродированной почве 0,5 мм, в слабо-, средне- и сильноэродированной почвах 0,4 мм. В травяно-зерновом севообороте 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 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 – 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 на водоустойчивость

структуры дерново-подзолистых почв на лесовидных 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 %. В течение лет 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 (табл. 3).

Таблица 3. Влияние систем удобрения на показатели водоустойчивости структуры дерново-подзолистых почв разной эродированности

Система удобрения	Неэродированная почва	Среднеэродированная почва	Сильноэродированная почва
<i>Водоустойчивость, %</i>			
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
<i>Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов, мм</i>			
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
<i>Коэффициент водопрочности</i>			
Минеральная	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u><0,1–0,1</u> 0,1	<u><0,1–0,1</u> 0,1
Минеральная + + известкование почвы	<u>0,1–0,2</u> 0,2	<u><0,1–0,1</u> 0,1	<u><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><0,1–0,2</u> 0,1
Органоминеральная + + известкование почвы	<u>0,1–0,4</u> 0,2	0,1	<u><0,1–0,1</u> 0,1
П р и м е ч а н и е. *Над чертой – колебания по годам, под чертой – среднее значение за годы исследований.			

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 %. 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 лессовид-

ных суглинках, указывают и полученные коэффициенты водопрочности. На всех изучаемых системах удобрений 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.

Выводы

1. 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.

2. Органоминеральная система удобрений совместно с известкованием улучшала водо-

стойчивость почв. По сравнению с минеральной системой удобрений 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 %.

3. 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, сформированные на моренных суглинках, отличались более высокими значениями d_w , особенно в травяно-зерновом севообороте: для неэродированных почв – 0,8 мм, для эродированных – 0,5–0,7 мм.

Библиографический список

1. Кузнецов, М. С. Противоэрозионная стойкость почв / М. С. Кузнецов. – Москва : Изд-во МГУ, 1981. – 135 с.
2. Булыгин, С. Ю. Параметры эрозионной стойкости почв лесостепной зоны Украины / С. Ю. Булыгин, Г. А. Можейко // Почвоведение. – 1995. – № 6. – С. 768–774.
3. Хан, Д. В. Органоминеральные соединения и структура почв / Д. В. Хан. – Москва : Наука, 1989. – 140 с.
4. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв / Д. С. Орлов. – Москва : Изд-во МГУ, 1974. – 331 с.
5. Воронин, А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – Москва : Изд-во МГУ, 1984. – 204 с.
6. Кузнецов, М. С. Структурное состояние почвы и ее противоэрозионная стойкость / М. С. Кузнецов // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 31–35.
7. Дюшофур, Ф. Основы почвоведения: эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур ; пер. с франц. М. И. Герасимова ; ред. И. П. Герасимов. – Москва : Прогресс, 1970. – 587 с.
8. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – Москва : Изд-во МГУ, 2004. – 350 с.

9. Орлов, Д. С. Изменение гумусового состояния дерново-подзолистых почв под влиянием различных факторов / Д. С. Орлов, М. Ф. Овчинникова, Я. М. Аммосова // Комплексная химическая характеристика почв Нечерноземья ; под ред. Д. С. Орлова. – Москва : Изд-во МГУ, 1987. – С. 43–58.
10. Soil degradation studies / D. A. Zaskowski [et al.] // Residue Review. – 1983. – Vol. 85. – P. 139–147.
11. Гусаров, В. Т. Смыв и потери питательных веществ дерново-подзолистыми почвами юга Московской области / В. Е. Гусаров // Эродированные почвы и эффективность почвозащитных мероприятий : науч. тр. / Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева. – Москва : Колос, 1987. – С. 28–33.
12. Проценко, Е. П. Изменение свойств темно-серых лесных почв под действием антропогенных факторов / Е. П. Проценко, Н. И. Оксененко // Прогноз развития эрозионных процессов и устойчивость агроландшафтов к воздействию естественных и антропогенных факторов. – Курск : КГУ, 1990. – 149 с.
13. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионно-опасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси : рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
14. Amezketá, E. Soil aggregate stability: a review / E. Amezketá // Journ. of Sustainable Agriculture. – 1999. – Vol. 14, iss. 2–3. – С. 83–151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
15. Doerr, S. H. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance / S. H. Doerr, R. A. Shakesby, R. P. D. Walsh // Earth-Science Reviews. – 2000. – Vol. 51, iss. 1–4. – P. 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8)
16. Tisdall, J. M. Organic matter and waterstable aggregates in soils / J. M. Tisdall, J. M. Oades // European Journ. of Soil Science. – 1982. – Vol. 33, iss. 2. – P. 141–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
17. Microaggregates in soils / K. U. Totsche [et al.] // Journ. of Plant Nutrition and Soil Science. – 2018. – Vol. 181, iss. 1. – P. 104–136. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600451>
18. Теория и методы физики почв : коллект. монография / Е. В. Шеин ; под общ. ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – Москва : Гриф и К, 2007. – 616 с.

Поступила 12 января 2024 г.