

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРИЕМОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА ПРИ ОСВОЕНИИ МАЛОПРОДУКТИВНЫХ ЗЕМЕЛЬ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

В.А. Шевченко, ак. РАН, А.М. Соловьев, д.с.-х.н., Г.И. Бондарева, д.т.н., Н.П. Попова, к.с.-х.н., Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова»

127434, Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2.

Тел. +7 (499) 153-72-70.

e-mail shevchenko.v.a@yandex.ru, e-mail solo-a45@mail.ru, e-mail: lyp.popova@yandex.ru

Исследования выполнены на дерново-подзолистых почвах Верхневолжья. Изучено влияние минеральной и органической систем удобрения, способов основной обработки и культур севооборота на динамику подвижного фосфора. Установлено, что система удобрения – главный фактор стабилизации фосфатного режима. Максимальное накопление фосфора обеспечивает применение твердой фракции навоза – до 234 мг/кг, что на 47-51% выше контроля. Использование жидких стоков накапливает до 214 мг/кг фосфора в почве, что на 27 мг/кг превышает минеральную систему. Рекомендуется использовать органоминеральную систему удобрения в сочетании с чизелеванием и отвальной вспашкой.

Ключевые слова: подвижный фосфор, дерново-подзолистая почва, система удобрения, органические отходы, твердая фракция навоза, жидкие стоки, обработка почвы, чизелевание, минимальная обработка, севооборот, фосфатный режим.

Для цитирования: Шевченко В.А., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Комплексное влияние агромелиоративных приемов на содержание подвижного фосфора при освоении малопродуктивных земель Верхневолжья // Плодородие. – 2026. – №1. – С. 45-49. DOI: 10.25680/S19948603.2026.148.09.

Степень обеспеченности осваиваемых земель сельскохозяйственного назначения подвижными формами фосфора – один из важнейших показателей их плодородия. При достаточном количестве в пахотном слое почвы усваиваемых форм фосфора обеспечиваются условия для формирования высоких урожаев полевых культур. При этом повышается устойчивость к климатическим и биологическим рискам агроценозов, запускается процесс их самовосстановления и саморегуляции [8]. Потери фосфора из почвы вследствие выноса с урожаем возделываемых культур различны. Так, например, на формирование зерна пшеницы с соответствующим количеством побочной продукции фосфора потребуется 12-15 кг/т, люпина – 19, ячменя – 12-13, рапса – 19,3, кукурузы на силос – 1-2,5 кг/т [7, 9].

В почве фосфор присутствует в органической (фитин, нуклеиновые кислоты) и минеральной формах, преимущественно в виде труднорастворимых соединений (апатиты, фосфориты). Растения усваивают его главным образом в форме растворимых солей ортофосфорной кислоты. Однако большая часть фосфора в почве находится в малодоступном состоянии, и лишь небольшая доля (15–20%) из внесённых удобрений усваивается в первый год. По этой причине существует большой разрыв между общим содержанием фосфора в корнеобитаемом слое и его количеством, доступным для растений. Например, в дерново-подзолистой почве Нечерноземной зоны валовое содержание P_2O_5 может достигать в пахотном слое 3,6 т/га, при этом количество доступных форм не превышает 100-200 кг/га [6, 7].

Недостаток фосфора на освоенных залежных землях Нечерноземной зоны наблюдается при его содержании менее 50 мг/кг почвы. При дефиците P_2O_5 у растений слабо развивается корневая система, а на листьях сначала появляются жёлто-бурые, а затем коричневые пятна, что вызывает их засыхание и раннее отмирание.

Оптимальное содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах колеблется от 100 до 200 мг/кг почвы в зависимости от ее физических свойств. Считается, что для поддержания положительного баланса фосфора необходимо ежегодно вносить на песчаных и супесчаных почвах – 40-60 кг/га P_2O_5 , на лёгких и средне-суглинистых – 60-90, а на тяжелосуглинистых 90-120 кг/га [5, 6].

Фосфор в отличие от других биогенных элементов, таких как, например, азот или углерод, не способен образовывать газообразные формы, поэтому его потери в атмосферу при минерализации органических удобрений отсутствуют. Также следует отметить, что наиболее благоприятной реакцией почвенного раствора для усвоения фосфатов является слабокислая (рН 6-6,5 ед.), поэтому на осваиваемых сильно деградированных землях Нечерноземной зоны с кислой реакцией (рН 4,7-4,9 ед.) его поглощение агрофитоценозами, даже при высоком содержании P_2O_5 в пахотном слое, затруднено. Из этого следует, что при высокой (150-250 мг/кг почвы) и очень высокой (250 мг/кг и более) степенях обеспеченности почвы фосфором внесение фосфатов необходимо прекратить, чтобы не блокировать поступление в растительный организм других элементов минерального питания [7, 8]. Однако на землях, расположенных вокруг животноводческих комплексов, исключить внесение органических отходов на поля невозможно, поскольку жидкие стоки и твердая фракция навоза ежедневно поступают в лагуны и на площадки компостирования. Их утилизация является важнейшей экологической проблемой в земледелии нашей страны при промышленном производстве животноводческой продукции на базе крупных агрохолдингов.

Цель исследований – изучить комплексное влияние систем удобрения, способов их заделки и набора сельскохозяйственных культур на изменения концентрации

подвижного фосфора в корнеобитаемом слое почвы в течение одной ротации зернопропашного севооборота.

Методика. Опыты проводились на осваиваемых землях сельскохозяйственного предприятия ООО «Ручьевское», расположенного в Ржевском районе Тверской области в 2012-2018 г. Закладке опытного участка предшествовало двухлетнее освоение залежных земель, выбывших из эксплуатации в начале 90-х годов прошлого столетия. Почва – дерново-подзолистая легкосуглинистая, мощность пахотного горизонта – 16-20 см.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка в первые годы освоения характеризовалась следующими показателями: содержание гумуса – 1,76-1,78 мг/кг, подвижного фосфора (P_2O_5) – 106-109, обменного калия (K_2O) – 90-100 мг/кг; кислотность почвы ($pH_{\text{кол}}$) 4,9-5,0.

Опыт заложен методом систематических повторений в трёхкратной повторности. Площадь учётной делянки 250 м². Исследование проведено по многофакторной схеме, включающей изучение следующих факторов, а также их взаимодействий:

Фактор А: системы удобрения. Рассматривалось влияние на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы минеральной системы удобрения под запланированную урожайность каждой культуры, а также органической – с учетом экологических ограничений. Расчет доз минеральных удобрений выполняли по методике [4].

Урожайность полевых культур установлена с учетом ресурсного потенциала территории и материально-технических возможностей хозяйства: люпин узколистый на зерно (сорт Белозерный 110) – 1,8 т/га, кукуруза на силос (гибрид ПР 39 Б х 29) – 40 т/га, пшеница озимая (сорт Скипетр) – 4,5 т/га, рапс яровой на семена (сорт Новосел) – 2,0 т/га, ячмень яровой на фураж (сорт Саншайн) – 4,0 т/га.

Органическая система удобрения включала внесение жидких стоков свиноводческих комплексов в объёме 80 м³/га и твёрдой фракции навоза в дозе 40 т/га. Жидкие стоки в среднем содержали: сухое вещество – 3,0%, общий азот – 0,1, подвижный фосфор – 0,03, обменный калий – 0,28%, pH 7,4. Твёрдая фракция навоза имела: сухое вещество – 35-40%, общий азот – 0,54, подвижный фосфор – 0,29, обменный калий – 0,60%, pH 7,9.

Контрольный вариант – без внесения удобрений, кроме пожнивно-корневых остатков возделываемых культур. Все виды удобрений применяли на фоне измельчённых соломисто-пожнивных остатков предшественника и заделывали в пахотный слой.

Фактор В: чередование культур в севообороте. Изучалось последствие культур в рамках пятипольного плодосменного севооборота.

Фактор С: способы основной обработки почвы. Исследовалось влияние трех вариантов основной обработки почвы: чизелевания – до 30 см, отвальной вспашки на глубину 18-20 см и минимальной обработки на глубину 7-10 см.

Агротехника в опыте общепринятая для региона и культур. Агрохимический мониторинг динамики содержания подвижного фосфора проводили в начале и в конце ротации севооборота в соответствии с ГОСТом 26204. Обработка данных выполнена методами дисперсионного и корреляционного анализов [3].

Результаты и их обсуждение. Опытный участок в начале исследований характеризовался высокой

степенью однородности по концентрации P_2O_5 в корнеобитаемом слое почвы (табл. 1).

1. Содержание P_2O_5 при закладке опыта, мг/кг почвы

Система удобрения	Культуры севооборота	Слой почвы, см			
		0–10	10–20	20–30	30–40
I. Контроль (без удобрений)	Люпин узколистый	164	131	55	43
	Кукуруза на силос	162	127	63	41
	Озимая пшеница	165	129	57	40
	Яровой рапс	158	131	62	44
	Ячмень	160	126	58	42
	<i>В среднем</i>	162	129	59	42
II. Расчётные дозы минеральных удобрений на запланированную урожайность	Люпин узколистый	165	137	65	48
	Кукуруза на силос	162	132	60	45
	Озимая пшеница	157	136	64	43
	Яровой рапс	165	131	66	44
	Ячмень	159	133	60	41
	<i>В среднем</i>	162	134	63	44
III. Жидкие стоки, 80 м ³ /га	Люпин узколистый	162	138	59	43
	Кукуруза на силос	166	138	61	45
	Озимая пшеница	165	132	64	43
	Яровой рапс	158	131	59	40
	Ячмень	161	137	57	39
	<i>В среднем</i>	162	135	60	42
IV. Твёрдая фракция навоза, 40 т/га	Люпин узколистый	160	135	64	42
	Кукуруза на силос	162	134	60	43
	Озимая пшеница	159	132	61	40
	Яровой рапс	163	137	59	39
	Ячмень	160	135	60	40
	<i>В среднем</i>	161	135	61	41
НСР ₀₅		9,7	8,0	4,2	3,6

Установлено, что в посевном слое 0-10 см исходное содержание подвижного фосфора в среднем составляло 162 мг/кг почвы, а в нижележащих слоях 10-20, 20-30 и 30-40 см оно уменьшалось. Во всех случаях коэффициент вариации P_2O_5 не превышал 10%, что позволяет отнести опытный участок к достаточно однородному по степени выравненности фосфатного режима.

Результаты агрохимических исследований по комплексному влиянию различных систем удобрения, способов их заделки, а также сельскохозяйственных культур в течение первой ротации 5-польного севооборота на изменение содержания подвижного фосфора представлены в таблице 2. Установлено, что система удобрения оказала статистически достоверное ($p < 0,05$) и наиболее сильное влияние на содержание подвижного фосфора во всех исследуемых слоях почвы. Без применения удобрений (контроль) содержание фосфора в слое 0-10 см зависело от способов основной обработки. Применение минеральных удобрений существенно повысило содержание подвижного фосфора в среднем по опыту на 18-20%.

Максимальный эффект отмечен при использовании органической системы удобрения. Так, применение жидких стоков в норме 80 м³/га способствовало увеличению содержания фосфора в пахотном слое, а использование твёрдой фракции навоза в дозе 40 т/га обеспечило наивысшие показатели по накоплению подвижного фосфора, которые превышали контроль на 47-51%.

2. Комплексное влияние систем удобрения, сельскохозяйственных культур, мелиоративных и агротехнических приемов на динамику содержания подвижного фосфора (мг/кг) за ротацию севооборота

Система удобрения (фактор А)	Культуры севооборота (фактор В)	Способ заделки (фактор С)											
		Минимальная обработка на 7-10 см				Отвальная вспашка на 18-20 см				Чизелевание на 27-30 см			
		Слой почвы, см											
		0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-0	0-10	10-20	20-30	30-40
I. Контроль (без удобрений)	Люпин узколистый	161	109	51	39	159	124	53	42	147	113	58	46
	Кукуруза на силос	158	104	49	36	157	121	61	40	146	112	66	45
	Озимая пшеница	160	105	49	35	156	123	56	39	141	111	62	44
	Яровой рапс	156	106	50	38	154	125	61	43	148	114	67	48
	Ячмень	158	101	48	34	151	120	57	41	145	116	63	45
	В среднем за ротацию	159	105	49	36	155	123	58	41	145	114	63	46
II. Расчётные дозы минеральных удобрений на запланированную урожайность + P₁₀ кг д.в./га при посеве	Люпин узколистый	191	127	60	45	169	140	66	49	151	139	70	52
	Кукуруза на силос	185	120	59	42	166	135	64	46	157	133	68	50
	Озимая пшеница	183	125	57	41	160	139	65	45	152	130	69	49
	Яровой рапс	194	124	61	46	168	134	67	46	158	132	71	53
	Ячмень	180	118	58	40	162	136	62	43	153	129	66	48
	В среднем за ротацию	187	123	59	43	165	137	65	46	154	133	69	50
III. Жидкие стоки, 80 м³/га + P₁₀ кг д.в./га при посеве	Люпин узколистый	215	147	59	56	179	158	70	61	175	156	78	69
	Кукуруза на силос	213	145	58	53	182	159	67	57	179	154	77	65
	Озимая пшеница	212	141	57	50	181	152	71	56	178	151	76	64
	Яровой рапс	219	139	60	54	173	150	66	58	170	149	78	70
	Ячмень	210	144	56	55	176	156	63	57	173	152	77	65
	В среднем за ротацию	214	143	58	54	178	155	67	58	175	152	77	67
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га + P₁₀ кг д.в./га при посеве	Люпин узколистый	236	161	55	52	191	167	66	54	188	164	73	62
	Кукуруза на силос	230	160	52	50	190	168	64	55	185	165	72	60
	Озимая пшеница	235	158	50	47	188	164	65	52	182	162	71	58
	Яровой рапс	241	163	54	49	192	168	68	51	189	166	74	63
	Ячмень	229	157	49	46	187	163	61	52	182	160	70	60
	В среднем за ротацию	234	160	52	49	190	166	65	53	185	163	72	61
НСР₀₅	для фактора А	11,9	8,0	3,3	2,7								
	для фактора В	10,3	8,7	3,8	3,0								
	для фактора С	9,9	8,4	4,2	3,4								
	для АВС	18,0	14,2	6,5	5,3								

Применение в качестве основного удобрения твёрдой фракции навоза в комплексе с припосевным внесением P₁₀ кг д.в./га по фону измельченных соломенно-познанных остатков показало высокую эффективность в улучшении фосфатного режима пахотного слоя почвы при всех способах их заделки. Так, при утилизации этого вида удобрения с помощью дисковых орудий на глубину 7-10 см в среднем по опыту в конце ротации севооборота содержание подвижного фосфора в слоях 0-10 и 10-20 см было, соответственно, на 20 и 17 мг/кг больше, чем от применения жидких стоков при аналогичном способе их заделки. Это согласуется с данными о высоком содержании подвижного фосфора (0,29%) в составе твёрдой фракции навоза и его пролонгированном действии [6, 9].

Полученные результаты подтверждают большую эффективность органических удобрений в поддержании фосфатного режима по сравнению с минеральными [1, 2]. Однако оба вида органических удобрений при их систематическом внесении в высоких дозах, превышающих в 2,5-3 раза рекомендуемые, способствуют зафосфачиванию почв, при котором содержание подвижного фосфора в пахотном слое может превысить 500 мг/кг и более.

Способ обработки также оказал статистически значимое влияние (НСР₀₅ = 9,9 мг/кг для слоя 0-10 см), определив характер распределения фосфора по почвенному профилю. Минимальная обработка дискованием (7-10 см) способствовала аккумуляции фосфора в посевном слое (0-10 см). При внесении твёрдой фракции навоза в этом варианте содержание фосфора резко снижалось с глубиной (в слое 20-30 см). Отвальная вспашка (18-20 см) обеспечивала более равномерное и повышенное, по

сравнению с контролем, содержание фосфора в слое 0-20 см. Глубокая безотвальная обработка (чизелевание на 27-30 см) способствовала перемещению фосфора в подпахотные горизонты (20-40 см), где его содержание было максимальным среди всех вариантов.

При чизелевании установлено заметное положительное влияние на фосфатный режим подпахотного слоя, благодаря чему концентрация подвижных форм фосфора в конце ротации севооборота в нём даже повысилась относительно исходного значения при одновременном уменьшении P₂O₅ в пахотном слое на статистически доказуемую величину.

Кроме того, необходимо отметить, что в условиях Северо-Западного региона Нечерноземной зоны даже без дополнительного внесения удобрений содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы 0-20 см в конце ротации севооборота оставалось высоким при минимальной обработке, при отвальной вспашке и при чизелевании; при НСР₀₅ = 10,0 мг/кг не имело существенных различий по способам обработки почвы.

Установлено, что на посевах без внесения удобрений (контроль) в среднем за ротацию севооборота произошло снижение концентрации подвижного фосфора при всех способах обработки. Так, на фоне заделки соломенно-познанных остатков дисковыми орудиями на глубину 7-10 см снижение P₂O₅ в слое 0-10 см составило всего лишь 3 мг/кг почвы, что при НСР₀₅ для комплексного взаимодействия факторов АВС = 18 мг/кг находилось в пределах статистической погрешности опыта. В то же время снижение содержания подвижного фосфора в слоях 10-20, 20-30 и 30-40 см в контрольном варианте с применением минимальной обработки явилось

существенным уменьшением концентрации P_2O_5 как для фактора А, так и для совокупного воздействия факторов АВС.

Применение отвальной вспашки в контрольном варианте способствовало равномерному снижению фосфора относительно исходного содержания по всему профилю. Заделка измельчённых соломисто-пожнивных остатков без дополнительного внесения удобрений чизелеванием вызвала в конце ротации севооборота чёткое снижение содержания P_2O_5 в слоях 0-10 и 10-20 см, соответственно, на 17 и 15 мг/кг, что было существенным для фактора А. В то же время в слоях 20-30 и 30-40 см его концентрация даже повысилась по сравнению с первоначальным значением на 4 мг/кг почвы, что в обоих случаях явилось существенным увеличением для фактора А при НСР₀₅ = 3,3 и 2,7 мг/кг. Следовательно, разноглубинные способы заделки растительных остатков в контрольном варианте неодинаково влияют на содержание подвижного фосфора в течение одной ротации севооборота. Так, минимальная обработка определяет стабилизацию фосфатного режима по сравнению с исходной величиной лишь в посевном слое 0-10 см, в то время как отвальная вспашка способствует равномерному распределению P_2O_5 по профилю почвы, что привело к одинаковому его снижению в слоях пахотного и подпахотного горизонтов.

Заделка минеральных удобрений чизельными орудиями вызвала несущественное снижение концентрации фосфора в посевном слое 0-10 см по сравнению с первоначальным значением, оставив без изменения содержание P_2O_5 в слое 10-20 см и обеспечив при этом достоверное его увеличение в слоях 20-30 и 30-40 см.

Таким образом, применение различных способов внесения расчетных доз минеральных удобрений обеспечивает неодинаковые распределение и закрепление подвижного фосфора по слоям корнеобитаемого слоя. Минимальная обработка даёт лишь существенное увеличение P_2O_5 в посевном слое 0-10 см и снижение в слоях 10-20 и 20-30 см, а отвальная вспашка способствует его равномерному распределению и закреплению по всему корнеобитаемому слою, в то время как чизелевание достоверно увеличивает его концентрацию относительно исходной величины только в подпахотном горизонте.

Менее выраженное, но статистически значимое влияние на накопление подвижного фосфора оказали культуры севооборота. Установлено, что наибольшее содержание подвижного фосфора в пахотном слое в среднем по всем системам удобрения отмечено после люпина и ярового рапса, наименьшее – после ячменя. Эти различия могут быть связаны с особенностями фосфорного питания растений, глубиной проникновения их корневых систем, количеством и качеством растительных остатков предшественников, а также с влиянием предшественника на биологические и физико-химические свойства почвы.

Расчётами установлено, что величина НСР₀₅ для взаимодействия факторов АВС (18,0 мг/кг для слоя 0-10 см) указывает на наличие сложных совместных эффектов. Например, максимальное содержание подвижного фосфора в слое 0-10 см зафиксировано в сочетании твёрдая фракция навоза + яровой рапс + минимальная обработка. Это подчёркивает необходимость дальнейших исследований и комплексного подхода к разработке агротехнологий по регулированию фосфатного режима малопродуктивных земель Нечерноземья.

Внесение расчетных доз минеральных удобрений на запланированную урожайность в качестве основного удобрения по фону измельчённых растительных остатков выявило неодинаковое изменение концентрации фосфора по слоям корнеобитаемого слоя в зависимости от способов их заделки. Так, в конце ротации севооборота при использовании минимальной обработки наблюдается существенное увеличение содержания P_2O_5 лишь в самом верхнем 0–10 см слое (+ 25 мг/кг почвы при НСР₀₅ для фактора А = 11,9 мг/кг и 18,0 мг/кг для АВС), тогда как в слоях 10–20 и 20–30 см отмечено его достоверное уменьшение для фактора А относительно исходного значения (соответственно -11 и - 4 мг/кг при НСР₀₅ = 8,0 и 3,3 мг/кг). Также следует отметить, что поверхностная заделка удобрений не оказывает влияния на нижний слой подпахотного горизонта 30–40 см, поскольку различия по содержанию в нём подвижного фосфора укладываются в статистическую погрешность опыта (-1 мг/кг почвы при НСР₀₅ для фактора А = 2,7 мг/кг).

Запашка расчетных доз минеральных удобрений отвальными плугами на глубину 18-20 см обеспечивает лишь положительную тенденцию к накоплению P_2O_5 во всех слоях почвы, соответственно, +3; +3; +2 и +2 мг/кг почвы.

Использование жидких стоков свиноводческих комплексов в дозе 80 м³/га в сочетании с припосевным внесением P_{10} кг д.в./га при поверхностной их заделке дисковыми орудиями на глубину 7-10 см позволило увеличить содержание подвижного фосфора в слое 0-10 см на 52 мг/кг по сравнению с исходным значением и на 27 мг/кг, чем от применения минеральной системы. Вместе с тем, в слоях 10-20 и 20-30 см статистической разницы от их применения относительно первоначальной величины не установлено, в то время как в слое 30-40 см выявлена достоверная прибавка, равная 6 мг/кг почвы, что существенно как для фактора А, так и для взаимодействия факторов АВС. Данное увеличение может объясняться высокой фильтрационной способностью этого вида органического удобрения при его внесении на лёгких дерново-подзолистых почвах.

Отвальная заделка жидких стоков обеспечивает существенное повышение концентрации фосфора во всех почвенных слоях, что подтверждает их высокую эффективность для улучшения фосфатного режима малопродуктивных земель.

Применение для заделки жидких стоков чизелевания в среднем за ротацию севооборота способствует более гомогенному распределению и закреплению P_2O_5 по всему корнеобитаемому слою почвы относительно других способов их утилизации. По сравнению с запашкой этого вида органического удобрения отвальными плугами, при чизелевании содержание подвижного фосфора в пахотном слое 0-20 см снизилось в среднем на 3 мг/кг почвы, однако в подпахотном горизонте оно возросло в среднем на 10 мг/кг почвы.

На основании анализа полученных данных можно заключить, что заделка жидких стоков свиноводческих комплексов чизельными орудиями обеспечивает наибольшее повышение P_2O_5 в нижних горизонтах корнеобитаемого слоя за счёт увеличения глубины обработки и возрастания интенсивности воздействия на почву их рабочими органами.

Расчёт коэффициентов корреляции выявил высокую степень сопряженности между содержанием

подвижного фосфора в пахотном слое и вносимыми в почву органическими отходами свиного комплекса ($r = 0,82-0,87$), среднюю – между способами заделки удобрений ($r = 0,33-0,35$) и слабую – между культурами севооборота ($r = 0,19-0,22$) и его накоплением за пятилетний период исследований.

Исходя из определения коэффициентов детерминации установлено, что на долю изменения фосфатного режима приходится 67,2-75,7% от вносимых удобрений; 10,9-12,3 от способов обработки и 3,6-4,8% от культур севооборота. Таким образом, в сумме доля изучаемых факторов составляет 81,7-92,8% варибельности подвижного фосфора в почве, в то время как 7,2-18,3% его колебаний обусловлены другими факторами, среди которых следует отметить влияние водно-воздушного и теплового режимов, а также гранулометрического состава корнеобитаемого слоя почвы.

Выводы. 1. Система удобрения является доминирующим фактором, определяющим уровень содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Наибольшая эффективность в повышении фосфатного режима отмечена при применении побочных продуктов животноводческих комплексов, в особенности твёрдой фракции навоза (40 т/га). Жидкие стоки при всех способах их утилизации обеспечивают равномерное распределение подвижного фосфора по профилю почвы, в то время как твердая фракция навоза значительно повышает его концентрацию в пахотном слое 0–20 см.

2. Способ основной обработки почвы статистически достоверно влияет на вертикальное распределение подвижного фосфора в профиле 0–40 см. Минимальная обработка способствует накоплению подвижного фосфора лишь в поверхностном слое, в то время как глубокая обработка (чизелевание) обеспечивает его равномерное распределение и перемещение в подпахотный горизонт, вызывая его накопление в нижних слоях. Отвальная

вспашка содействует более гомогенному распределению подвижного фосфора по всему профилю корнеобитаемого слоя почвы 0-40 см и определяет положительные тенденции к его накоплению.

3. Для оптимизации фосфатного режима малопродуктивных дерново-подзолистых почв рекомендуется применять минеральные, а при наличии животноводческих комплексов и органоминеральные системы удобрения на основе побочных продуктов животноводства в сочетании с дифференцированной обработкой почвы и с учётом биологии возделываемых сельскохозяйственных культур севооборота.

Литература

1. Адрианов, С. Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения / С. Н. Адрианов. – М.: ВНИИА, 2004. – 296 с.
2. Дзюин, А. Г. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв Северо-Восточной зоны Нечерноземья: монография / А. Г. Дзюин. – Ижевск: Алкид, 2020. – 208 с.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. Каюмов, М. К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / М. К. Каюмов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 320 с.
5. Сушеница, Б. А. Фосфатный уровень почв и его регулирование / Б. А. Сушеница. – М.: КолосС, 2007. – 376 с.
6. Сычев, В. Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
7. Шевченко, В. А. Динамика содержания подвижного фосфора в зависимости от системы удобрения и предшественников при освоении залежных земель / В. А. Шевченко, А. М. Соловьев, Г. И. Бондарева, Н. П. Попова // Плодородие. – 2020. – № 5. – С. 3–7.
8. Шевченко, В. А. Перспективы производства растениеводческой продукции на мелиорированных землях Нечерноземной зоны России: монография / В. А. Шевченко. – М.: ВНИИГиМ, 2017. – 918 с.
9. Шевченко, В. А. Современное состояние выбывших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения: монография / В. А. Шевченко. – М., 2021. – 410 с.
10. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – М., 2002. – 584 с.

COMPREHENSIVE EFFECT OF AGROMELIORATION TECHNIQUES ON THE CONTENT OF MOBILE PHOSPHORUS DURING THE RECLAMATION OF LOW-PRODUCTIVE LANDS IN THE UPPER VOLGA REGION

*V. A. Shevchenko, Academician, Dr. Agr. Sci.; A. M. Solovyev, Dr. Agr. Sci.;
G. I. Bondareva, Dr. Tech. Sci.; N.P. Popova, Cand. Agr. Sci.*

*Federal State Budgetary Scientific Institution “A.N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation”, 127434, Moscow, 44, Building 2, Bolshaya Akademicheskaya St. Tel. +7 (499) 153-72-70.
e-mail: shevchenko.v.a@yandex.ru*

The research was conducted on grass-podzolic soils in the Upper Volga region. The influence of mineral and organic fertilizer systems, primary tillage methods, and crop rotation on the dynamics of mobile phosphorus was studied. It was established that the fertilizer system is the main factor stabilizing the phosphate regime. The maximum accumulation of phosphorus is provided by the application of the solid fraction of manure – up to 234 mg/kg, which is 47-51% higher than the control. The use of liquid waste accumulates up to 214 mg/kg of phosphorus in the soil, which is 27 mg/kg higher than the mineral system. An organo-mineral fertilizer system combined with chiseling and moldboard plowing is recommended.

Keywords: mobile phosphorus, grass-podzolic soil, fertilizer system, organic waste, solid fraction of manure, liquid waste, soil tillage, chiseling, minimum tillage, crop rotation, phosphate regime.