

ХИМИЯ И АГРОХИМИЯ ПОЧВ

УДК 631.416.2

Г. С. КАЛМЫКОВ, С. А. ГАЛДИНА, Л. И. КОРНИЛОВА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РСФСР

Рассматриваемые почвы характеризуются исключительно низкой обеспеченностью доступными для питания растений формами фосфора. Значительную часть общего фосфора почвы составляет фосфор, связанный с органическим веществом (75% от валового), приблизительно 23—24% приходится на долю фосфора минеральных малоподвижных соединений и лишь 1—2% — на долю подвижной минеральной формы (2—5 мг P_2O_5 на 100 г почвы).

В настоящей работе рассматриваются материалы по изучению эффективности фосфорных удобрений при освоении мелиорируемых торфяно-болотных почв северо-запада РСФСР и изменение содержания различных форм фосфора в этих почвах.

Стационарные исследования с постановкой полевых и вегетационно-полевых опытов и отбором почвенных образцов проводили на Архангельской и Вологодской опытно-мелиоративных станциях (АОМС, ВОМС) и в совхозе «Волховский» Ленинградской обл. в 1966—1974 гг.

Исследуемые почвы представлены среднесольными (до 10—15%) осоково-древесными, преимущественно хорошо разложившимися (35—45%) торфами мощностью 1,5—2,5 м. Механический состав подстилающих пород неоднороден, но непосредственно под торфом чаще всего залегают суглинки и глины. Источниками избыточного увлажнения являются атмосферные осадки и склоновые воды. Исключением явился пойменный высокозольный (до 45—55%) торфяник на АОМС, источниками избыточного увлажнения которого являются атмосферные осадки и полые воды Северной Двины.

Агрохимические свойства целинных торфяно-болотных почв (слой 0—30 см) опытных участков представлены в табл. 1. Почва опытных участков на АОМС и в совхозе «Волховский» характеризовалась повышенной кислотностью, небольшой суммой поглощенных оснований, достаточным содержанием подвижного K_2O , крайней бедностью P_2O_5 , значительным содержанием общего азота при сравнительно невысоких показателях калия и кальция. На ВОМС почва характеризовалась слабокислой реакцией, небольшой гидролитической кислотностью и высокой суммой поглощенных оснований.

Необходимо отметить, что даже в пределах одного и того же болотного массива общее содержание фосфора колеблется в довольно широких пределах. Так, например, при среднем содержании фосфора в верхнем 30-сантиметровом слое почвы болота на АОМС, равном 0,21%,

отклонения от этой величины были в пределах от 0,18 до 0,24%, а на болоте совхоза «Волховский» при среднем содержании, равном 0,44%, эти показатели колебались в пределах 0,40—0,47%. Таким образом, характерными особенностями распределения общего фосфора в верхних горизонтах целинных торфяно-болотных почв являются неравномерность, ярко выраженная пестрота и скопление его в отдельных точках, что связано с естественной мозаичностью почвенного покрова, сформировавшегося под разнородной лесной и луговой растительностью.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика торфяно-болотных почв опытных участков

Место проведения опытов	рН солевой	Гидролитическая кислотность		Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности, %	Подвижные формы, мг/100 г почвы				Валовое содержание, %		
		мг экв/100 г почвы				N-NH ₄	P ₂ O ₆	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Архангельская опытно-мелиоративная станция	5,1	33	98	74	8,0	1,0	40,0	1,7	0,21	0,38	1,9	
Вологодская опытно-мелиоративная станция	6,0	21	159	88	11,5	2,5	18,5	2,2	0,23	0,23	2,9	
Совхоз «Волховский» Ленинградской обл.	4,0	48	51	52	10,0	5,0	24,0	1,8	0,44	0,20	1,2	

До освоения опытные участки представляли собой закустаренные низинные болота с естественной луговой и древесной растительностью. Основными видами, образующими растительный покров луга, были осока, щучка, белоус, хвощ, бодяг, сныть болотная и мох. В незначительном количестве встречались мышиный горошек, манжетка, мятлик луговой, овсяница красная, подмаренник. Древесная растительность представлена березой, ивой, осиною и серой ольхой. Продуктивность луга составляла 8—12 ц/га сена преимущественно из осоки и хвоща.

После удаления древесной и скашивания луговой растительности кустарниково-болотным плугом ПКБ-2-54 проведена первичная обработка почвы на глубину 30 см. Пласты вспаханной целины для создания рыхлого слоя достаточной мощности (не менее $\frac{2}{3}$ глубины основной обработки) продисковали тяжелой дисковой бороной БДТ-2,2 в 4 следа. Перед посевами и после проводили прикатывание почвы тяжелым катком КВГ-2,5, которое является обязательным приемом на торфяно-болотных почвах, так как проведение его улучшает капиллярный подъем влаги, почва уплотняется и поверхность участка выравнивается.

Полевые опыты проводили в 4-кратной повторности, учетная площадь делянки 100—200 м². Учет урожая проводили сплошным способом. Минеральные удобрения (аммиачная селитра, суперфосфат и калийная соль) вносили ежегодно под дискование на глубину 16—18 см, а под многолетние травы — поверхностно. Почвенные образцы брали весной и осенью с 3-кратной повторностью с глубины 0—30 см.

Вегетационно-полевые опыты были заложены в поле в сосудах без дна. Сосуды размером 20×30 см были врыты в почву и заделаны после набивки на уровне поверхности почвы. В сосуд набивали 8—10 кг торфа, тщательно перемешанного с удобрениями, которые вносили из расчета 0,75 г N, 0,5 г P₂O₅ и 0,5 г K₂O на сосуд. Опыты заложены в 4—6-кратной повторности. Полива растений не проводили, что в значительной степени приближало условия опытов к естественным.

При сравнительном изучении естественных и мелиорируемых болотных почв были отобраны образцы низинных торфяно-болотных почв разной продолжительности освоения и целинных их аналогов, сформировавшихся в одинаковых условиях рельефа и материнских пород. При этом непременно соблюдали следующие условия: 1) целинные и окультуренные варианты торфяно-болотных почв должны находиться в пределах единого болотного массива; 2) целинные и окультуренные варианты исследуемых почв должны быть близки по ботаническому составу слагающих их растений-торфообразователей, чтобы свести к минимуму разницу в химическом составе сравниваемых почв. Основные анализы почвенных образцов проводили по общепринятым в почвоведении и агрохимии методам.

Характерными особенностями исследуемых почв явились их низкая обеспеченность доступными для питания растений формами фосфора и исключительно высокая эффективность на них фосфорных удобрений. Без внесения фосфорных удобрений в проводимых опытах, как правило, не удавалось получать в первые годы освоения хороших урожаев возделываемых культур. Так, в опытах на ВОМС внесение минеральных, и прежде всего фосфорных удобрений, сопровождалось исключительно высокими прибавками урожаев возделываемых культур при первичном освоении мелиорируемых торфяно-болотных почв (табл. 2).

Таблица 2

Влияние минеральных удобрений на урожай возделываемых культур на торфяно-болотной почве в 1-й год освоения (левый столбец) и на 4-й (правый столбец), ц/га

Удобрения	Горохо-овсяная смесь (зеленая масса)		Картофель	
Контроль (без удобрений)	50	80	146	150
N ₆₀ P ₉₀	265	290	172	214
N ₆₀ K ₉₀	230	250	155	183
P ₉₀ K ₉₀	320	360	185	254
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	370	400	200	266

На контрольных участках, где удобрения не вносили, урожаи сельскохозяйственных культур характеризовались невысокими показателями. Внесение азотно-калийных удобрений увеличивало урожаи зеленой массы горохо-овсяной смеси в 3—4 раза, а фосфорно-калийных удобрений — в 5—6 раз по сравнению с контролем. Наибольшие урожаи были получены в вариантах с полным минеральным удобрением. Высокие прибавки урожая сельскохозяйственных культур были установлены и в последующие годы освоения (картофель, 54—116 ц/га).

Результаты 4-летних полевых опытов с многолетними травами, проводившихся на осваиваемых болотах Архангельской обл., также показали высокую эффективность фосфорных удобрений.

На контрольных вариантах, где удобрения не вносили, были получены ничтожные урожаи сена при низком его качестве. Внесение азотно-калийных удобрений незначительно увеличивало урожай по сравнению с контролем. И лишь применение фосфорных удобрений, как в чистом виде, так и в различных сочетаниях, сопровождалось высокими прибавками урожая сена. Наибольшие урожаи сена, как и в рассмотренных выше опытах, были получены на фоне полного минерального удобрения.

В целом результаты многолетних полевых опытов с минеральными удобрениями, обобщенные по некоторым опытно-мелиоративным станциям СевНИИГиМ и хозяйствам зоны, а также наши исследования:

показали исключительно высокую эффективность фосфорных удобрений в первые годы освоения мелиорируемых болот в северо-западной части РСФСР (табл. 3).

Таблица 3

Эффективность фосфорных удобрений на осваиваемых низинных болотах северо-западной части РСФСР

Место проведения исследований	Культура	Урожай, ц/га		Прибавка от фосфора, %
		НК-фон	фон + P	
Архангельская опытно-мелиоративная станция	Многолетние травы (сено)	20,8	48,8	140
		23,1	51,4	121
	Вико-овсяная смесь (зеленая масса)	92,0	198,0	115
		92,0	183,0	99
	Картофель	105,0	220,0	105
Кормовая брюква (корнеплоды)	104,0	472,0	353	
Колхоз «Организатор» Приморского р-на Архангельской обл.	Многолетние травы (сено)	21,0	46,0	119
		15,0	45,0	220
	Вико-овсяная смесь (зеленая масса)	86,4	190,0	120
Колхоз им. Ленина Шенкурского р-на Архангельской обл.	Многолетние травы (сено)	25,6	47,7	44
		29,4	52,7	79
	Многолетние травы (сено)	29,0	50,0	72
		116,0	188,0	62
Горохо-овсяная смесь (зеленая масса)				
Вологодская опытно-мелиоративная станция	Картофель	117,0	192,0	64
		183,0	266,0	45
		283,0	342,0	20
	Озимая пшеница (зерно)	285,0	357,0	25
		25,0	41,0	64
		15,0	27,0	80
		595,0	730,0	22
Кормовая брюква (корнеплоды)				
Горохо-овсяно-подсолнечниковая смесь (зеленая масса)	130,0	450,0	246	
Совхоз «Новое» Сокольского р-на Вологодской обл.	Многолетние травы (сено)	33,0	51,9	57
		209,0	270,0	29
Совхоз «Волховский» Волховского р-на Ленинградской обл.	Озимая пшеница (зерно)	29,1	37,2	27
Новгородская опытно-мелиоративная станция	Многолетние травы (сено)	41,0	57,0	39
		33,0	51,0	54
	Овес (зерно)	21,3	28,0	33

Внесение фосфорных удобрений ($P_{60-90-180}$) сопровождалось большим увеличением урожаев всех возделываемых культур. Так, прибавки урожаев сена многолетних трав составляли 20—30 ц, зеленой массы однолетних бобово-злаковых смесей — 70—120 ц, картофеля — 72—115 ц, кормовой брюквы — 135—368 ц и зерновых культур — 7—14 ц/га.

Сравнение эффективности фосфорных удобрений в разных областях северо-запада РСФСР показывает, что действие их уменьшается по мере продвижения с севера на юг, оставаясь всюду на уровне высоких прибавок урожая. Это объясняется большей интенсивностью процессов минерализации органического вещества торфа и мобилизацией фосфатов почвы в южных районах.

Результаты обобщения многолетних полевых опытов, проводившихся на АОМС и ВОМС по изучению влияния минеральных удобрений на урожай сена многолетних трав, также показали очень высокую эффективность фосфорных удобрений в первые годы освоения низинных болот.

На участках без внесения удобрений урожай были крайне низкими: в течение всего срока наблюдений они колебались в пределах 12—

15 ц/га. Внесение каких-либо одних видов удобрений, а также их парных сочетаний сильно уступало по эффективности внесению полного минерального удобрения. Сравнение действия отдельных видов минеральных удобрений показало, что наибольшие прибавки урожая (до 200%) в опытах получены при внесении фосфора. Значительно меньшие прибавки дали азот и калий, но применение их в сочетании с фосфором характеризовалось уже достаточно высокими показателями.

Исключительно высокие прибавки урожая возделываемых культур при внесении фосфорных удобрений на осваиваемых торфяно-болотных почвах получены и в вегетационно-полевых опытах, проведенных на АОМС.

Данные табл. 4 еще раз свидетельствуют об исключительно низкой обеспеченности осваиваемых почв доступными для растений питательными веществами и высокой эффективности на них минеральных и прежде всего фосфорных удобрений. Без применения минеральных удобрений урожай почти всех возделываемых культур равнялись нулю. Внесение удобрений, и особенно фосфора, сопровождалось значительными прибавками урожая сельскохозяйственных культур. При этом следует отметить, что эффективность азотных и калийных удобрений в этих опытах проявилась лишь в сочетании с фосфором. Так, внесение НК привело к повышению урожая только в опытах с ячменем, что же касается остальных опытов, то в этом случае урожай возделываемых культур почти не отличались от урожая, полученных на контрольных

Таблица 4

Влияние удобрений на урожай сельскохозяйственных культур на целинных торфяно-болотных почвах, г/сосуд

Удобрения	Ячмень		Многолетние травы		Картофель		Гибрид Куузику	
	зерно	солома	зеленая масса	сухое вещество	клубни	ботва	корне-плоды	листья
Контроль (без удобрений)	0	5	6	3	246	161	6	14
NP	15	74	212	61	806	325	368	296
NK	10	7	14	5	236	169	6	14
PK	16	47	274	63	556	268	362	165
NPK	21	69	300	82	946	329	538	658

вариантах. Это объясняется тем, что основным лимитирующим фактором питательного режима исследуемых почв является недостаток фосфора, который находится в первом минимуме. Наибольшие урожай сельскохозяйственных растений во всех опытах получены на фоне полного минерального удобрения.

Аналогичные результаты получены и в вегетационно-полевых опытах, проведенных на ВОМС. И в этом случае внесение азотно-калийных удобрений практически не увеличило урожай по сравнению с контролем. Внесение же фосфора (на фоне НК) резко повысило урожай всех возделываемых культур. Последующее увеличение доз фосфорных удобрений сопровождалось весьма существенными прибавками урожая, причем в опыте с многолетними травами применение фосфора обеспечило более равномерное получение продукции по укосам.

В опытах с многолетними травами, проводившихся в 1965—1968 гг. на АОМС на фоне различной интенсивности осушения, увеличение доз фосфорных удобрений также сопровождалось возрастанием прибавок урожая сена.

Это еще раз свидетельствует о том, что эффективное плодородие исследуемых почв без применения удобрений, определяемое величиной

урожая, как правило, низкое. Так, урожаи сена многолетних трав без применения удобрений в 1-й год освоения составляли от 9 до 14 ц/га. Без внесения удобрений низкие урожаи получали на этих почвах и в последующие годы. Систематическое же применение минеральных удобрений сопровождалось значительным увеличением урожая сена при более высоком его качестве и возрастанием эффективного плодородия осваиваемых земель. Увеличение доз фосфорных удобрений в рассматриваемых пределах оказалось весьма эффективным. Наивысший урожай сена был получен при внесении P_{90} (на фоне $N_{60}K_{60}$).

Анализ урожайных данных в зависимости от интенсивности осушения показал, что абсолютные наибольшие прибавки урожая сена получены при более интенсивном осушении, но относительно более высокий эффект влияния минеральных удобрений отмечен на участках, осушенных менее интенсивно.

В процессе освоения мелиорируемых торфяно-болотных почв под влиянием систематического применения минеральных удобрений и интенсификации процессов разложения органического вещества торфа происходит накопление подвижных форм фосфора в почве. Условия фосфорного питания растений при этом в значительной степени улучшаются, а эффективность фосфорных удобрений, особенно высокая в первые годы освоения, в последующем несколько снижается. Причем эта закономерность прослеживается почти на всех культурах, возделываемых на мелиорируемых торфяно-болотных почвах (табл. 5).

Таблица 5

Влияние фосфорных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур в зависимости от степени окультуренности торфяно-болотной почвы, г/ссуд

Удобрения	Целинная почва						Почва 5-го года освоения					
	картофель		овес		многолетние травы		картофель		овес		многолетние травы	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль (без удобрений)	155	100	49	100	30	100	294	100	67	100	60	100
NK-фон	160	103	60	122	33	110	340	115	84	110	78	130
Фон + P (0,5 э)	350	225	152	310	72	240	520	176	187	279	134	223
» + P (0,1 э)	440	283	180	367	105	350	545	185	195	291	153	255
» + P (1,5 э)	510	328	193	394	136	453	551	187	209	312	161	268

Примечание. 1 — абсолютные величины, 2 — выраженные в %.

Из данных табл. 5 видно, что с повышением степени окультуренности торфяно-болотных почв урожаи возделываемых культур на контроле и в варианте с азотно-калийными удобрениями увеличивались. Внесение фосфорных удобрений (на фоне NK) сопровождалось уже значительным ростом урожаев сельскохозяйственных культур на почве как вновь осваиваемой, так и на почве 5-го года освоения, хотя относительная эффективность их в процессе освоения заметно снижалась. Увеличение доз фосфорных удобрений проявилось главным образом на целинной почве, где прибавки урожая сельскохозяйственных растений возросли примерно на 100% по сравнению с вариантами, в которые вносили одинарную дозу фосфорных удобрений. Что же касается сравнительно окультуренных почв, то повышение дозы фосфора сопровождалось незначительным ростом урожаев возделываемых культур. Этот вывод подтверждается и результатами полевых опытов с овсом и картофелем. Следовательно, применять высокие дозы фосфорных удобрений на сравнительно окультуренных торфяно-болотных почвах экономически нецелесообразно.

Изучение сравнительного действия различных форм фосфорных удобрений на фоне азотно-калийных и калийных удобрений проводилось на АОМС и Новгородской опытно-мелиоративной станциях (НОМС). В настоящее время в северо-западной части РСФСР основными формами фосфорных удобрений являются суперфосфат и фосфоритная мука. В связи с этим необходимо отметить, что в большинстве опытов такое же высокое положительное действие, как и суперфосфат, на исследуемых почвах оказала фосфоритная мука (табл. 6).

Таблица 6

Влияние фосфорных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур на мелиорируемых торфяно-болотных почвах, ц/га

Архангельская опытно-мелиоративная станция		Новгородская опытно-мелиоративная станция	
удобрения	многолетние травы (сено)	удобрения	многолетние травы (сено)
Контроль (без удобрений)	12,0	Контроль (без удобрений)	7,0
$N_{40}K_{90}P_{c\ 90}$	46,1	$K_{90}P_{c\ 60}$	15,9
$N_{40}K_{90}P_{\Phi\ 90}$	31,2	$K_{90}P_{\Phi\ 60}$	11,1
$N_{40}K_{90}P_{\Phi\ 180}$	45,8	$K_{90}P_{\Phi\ 120}$	15,2

Данные табл. 6, где сведены многолетние материалы, свидетельствуют о том, что двойная ($P_{\Phi\ 120-180}$) по сравнению с суперфосфатом ($P_{c\ 60-90}$) доза фосфоритной муки на исследуемых почвах по своей эффективности почти не уступала или лишь немного уступала одинарной дозе суперфосфата.

При определении эффективности этих двух форм удобрений необходимо учитывать и последствие их на урожай последующих культур. Так, в опытах на АОМС с многолетними травами в первый год наблюдений фосфоритная мука ($P_{\Phi\ 180}$) оказала меньший эффект, чем суперфосфат ($K_{c\ 90}$). При суммировании эффекта за 4 года получились данные одного порядка на слабокислых (рН 5,3—5,5) и более высокие в варианте с фосфоритной мукой на почвах, характеризующихся повышенной кислотностью (рН 4,5—4,9).

В целом исследования по эффективности фосфоритной муки на мелиорируемых болотах показали, что применение ее на торфяниках, характеризующихся повышенной кислотностью, в большинстве случаев оказалось более целесообразным, чем использование суперфосфата. Это объясняется тем, что на кислых почвах, содержащих значительное количество железа и алюминия, происходит связывание легкорастворимой фосфорной кислоты суперфосфата и перевод ее в труднодоступную для растений форму, что в значительной степени снижает его эффективность. Следовательно, при выборе форм вносимых фосфорных удобрений необходимо в первую очередь учитывать свойства почвы.

Кроме того, не следует сочетать внесение фосфоритной муки с одновременным известкованием почвы. Так, в опытах НОМС с многолетними травами на фоне известки фосфоритная мука в первый год ее внесения оказалась малоэффективной даже в сочетании с таким химически и физиологически кислым удобрением, как хлористый калий.

На известкованном фоне суперфосфат в половинной (по сравнению с фосфоритной мукой) дозе был значительно эффективнее, в то время как в вариантах без внесения известки урожай по суперфосфату и фосфоритной муке был практически одинаков. Внесение фосфоритной муки в сочетании с известкованием сопровождалось уменьшением урожая по сравнению с неизвесткованным фоном.

Таким образом, на основании многолетних данных полевых и вегетационно-полевых опытов установлено, что ведущая роль в формировании урожаев возделываемых культур в первые годы освоения мелиорируемых торфяно-болотных почв принадлежит фосфорным удобрениям, на следующем месте азот и калий. Исключение фосфорных удобрений приводит к резкому уменьшению урожаев всех сельскохозяйственных культур. Это объясняется тем, что в вышеупомянутых почвах в первом минимуме в начале освоения находится подвижный фосфор. Наиболь-

Таблица 7

Изменение содержания подвижного фосфата при освоении осушенной торфяно-болотной почвы, мг P_2O_5 100 г почвы

Вариант	1967 г.		1968 г.		1969 г.		1970 г.		1971 г.		1972 г.		1973 г.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль (без удобрений)	5,0	5,8	5,1	5,5	6,5	7,3	7,1	7,8	7,5	8,0	8,4	8,6	8,7	9,2
$N_{40}P_{60}K_{60}$	5,0	9,1	10,0	16,2	18,4	23,0	24,7	29,3	29,9	37,0	39,4	41,6	43,7	46,2

Примечание. 1 — почвенные образцы, взятые до посева, 2 — после уборки.

шие прибавки урожаев возделываемых культур в опытах были получены по РК и НРК. Эти сочетания минеральных удобрений и являются наиболее перспективными в первые годы освоения мелиорируемых торфяно-болотных почв, расположенных в северо-западной части РСФСР.

Как показали результаты рассмотренных выше опытов, характерными особенностями осваиваемых торфяно-болотных почв явились их исключительно низкая обеспеченность доступными для питания растений формами фосфора и высокая эффективность на них фосфорных удобрений. Вместе с тем исследуемые почвы характеризуются сравнительно высоким содержанием валового фосфора, достигающим до 200—440 мг и более P_2O_5 на 100 г почвы. Однако большая часть валового фосфора представляет собой фосфор, связанный с органическим веществом торфа (около 75%), приблизительно 24% составляет фосфор-минеральных малоподвижных соединений и лишь 1% находится в подвижной минеральной форме.

Под влиянием агротехнических факторов, и главным образом в результате применения удобрений, условия фосфорного питания растений на осваиваемых почвах в значительной степени изменяются. Как показали наблюдения, проведенные в полевых опытах в совхозе «Волховский» Ленинградской обл. с горохо-овсяной смесью, накопление подвижного фосфора в первые годы освоения зависит главным образом от внесения фосфорных удобрений. Значительно меньшая роль принадлежит повышению содержания подвижного фосфора за счет минерализации органического вещества торфа (табл. 7).

На контрольных делянках опыта, где фосфорные удобрения не вносили (проведено лишь известкование), содержание подвижного фосфора в почве в течение 7 лет наблюдений оставалось на очень низком уровне (5,0—7,5) и только к концу 5-го года освоения увеличилось до 8,0 мг P_2O_5 на 100 г почвы, оставаясь в дальнейшем на этом уровне (8,4—9,2 мг/100 г почвы). Содержание фосфора на делянках с систематическим применением фосфорных удобрений после 7 лет освоения возросло до 43—46 мг P_2O_5 на 100 г почвы, т. е. приблизилось к уровню хорошей обеспеченности фосфором зерновых культур, картофеля и корнеплодов на торфяно-болотных почвах [5].

Аналогичные результаты получены и в опытах с вико-овсяной смесью, проведенных на АОМС, где содержание подвижного фосфора на контрольных делянках за 4 года наблюдений возросло всего лишь

на 3,0—3,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы по сравнению с его исходным содержанием (1,0—1,5 мг/100 г почвы). При систематическом применении фосфорных удобрений содержание P_2O_5 в почве за этот же срок наблюдения увеличилось до 17—20 мг/100 г почвы.

В опытах на ВОМС с пропашными культурами (картофель, кормовая брюква Куузику) в результате систематического применения фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора в почве за 4 года наблюдений увеличилось с 12—14 до 25—30 мг P_2O_5 на 100 г почвы.

Вместе с тем необходимо отметить, что наблюдения за изменением содержания подвижных форм фосфора в опытах с многолетними травами, проведенные на АОМС и ВОМС и в совхозе «Волховский» Ленинградской обл., выявили иную закономерность. Содержание фосфора в вариантах с систематическим внесением фосфорных удобрений в течение 4 лет исследований на всех объектах колебалось в пределах 6,0—8,0 мг P_2O_5 на 100 г почвы, т. е. накопления подвижных форм фосфора в осваиваемых почвах практически не происходило. Более продолжительные наблюдения в этих же опытах не показали заметно-го увеличения подвижных форм фосфора.

Несмотря на несомненное участие минерализующегося органического вещества торфа в пополнении запасов доступного для растений фосфора в почве, результаты проведенных исследований не позволяют считать темпы этого процесса в первый год освоения и его роль в снабжении возделываемых культур фосфором значительными (табл. 8).

Таблица 8

Изменение содержания органических и минеральных соединений фосфора при освоении мелиорируемых торфяно-болотных почв

Пункт отбора образцов	Торфяник	Фосфор, мг/100 г почвы			
		валовой	органический	минеральный	
				неподвижный	подвижный
Архангельская опытно-мелиоративная станция	Естественная залежь	189,0	135,0	53,0	1,0
	Осушенный, но неосвоенный (целина)	190,0	130,0	58,0	2,0
	1-й год освоения	193,0	121,0	67,5	4,5
	2-й »	193,8	120,1	65,5	8,2
	3-й »	195,0	114,0	68,5	12,5
	Окультуренный	230,0	102,0	83,0	45,0
Вологодская опытно-мелиоративная станция	Естественная залежь	210,6	185,1	24,0	1,5
	Осушенный, но неосвоенный (целина)	210,8	173,4	35,4	2,0
	1-й год освоения	212,0	160,2	45,2	6,6
	2-й »	212,6	158,1	44,8	9,7
	3-й »	215,4	150,4	52,0	13,0
Совхоз «Волховский» Ленинградской обл.	Естественная залежь	438,8	355,0	81,8	2,0
	Осушенный, но неосвоенный (целина)	439,0	343,0	93,5	2,5
	1-й год освоения	440,0	330,0	105,0	5,0
	2-й »	440,8	328,0	103,0	9,8
	3-й »	443,0	320,0	109,0	14,0
	Окультуренный	509,6	290,0	168,9	50,7

Из данных табл. 8 видно, что процесс минерализации фосфора, связанного с органическим веществом торфа, в первые годы освоения протекает крайне медленно. Содержание подвижных форм фосфора в результате одного осушения практически не изменилось, хотя наблюдалось некоторое увеличение общего содержания минеральных соеди-

нений фосфора за счет органических фосфатов торфа. Под влиянием обработки почвы, внесения удобрений, возделывания сельскохозяйственных культур и особенно усиления жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в процессах разложения органического вещества торфа, наблюдается переход фосфора из органических соединений в минеральные с образованием усвояемых фосфатов. Однако главным фактором, способствующим накоплению подвижного фосфора в пахотном горизонте исследуемых почв в первые годы освоения, а также определяющим условия фосфорного питания сельскохозяйственных культур, являются фосфорные удобрения. Необходимо отметить, что наибольшим содержанием фосфора отличаются верхние горизонты всех исследуемых почв, что определенно указывает на биологический характер накопления этого элемента.

Изучение сезонной динамики фосфора в рассматриваемых почвах показало, что количественные изменения ее за вегетационный период по сравнению, например, с азотом менее значительны. В неосушенных торфяно-болотных почвах динамика подвижного фосфора выражена очень слабо, что объясняется крайне низким его содержанием по сравнению с осваиваемыми почвами («следы» — 2,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы). Однако несмотря на это динамика подвижного фосфора в почве дает достаточно выраженный летний минимум, хотя и наиболее длительный, чем в случае с азотом. В осушенных и осваиваемых почвах повышение запасов зольных элементов, и в том числе фосфора, доступных растениям, происходит не только за счет внесения удобрений и отмеченного ранее усиления биохимических и микробиологических процессов, но и в результате разложения отмирающих частей растений. Вследствие этого содержание подвижных форм фосфора в этих почвах значительно выше, а сезонная динамика более выражена по сравнению с целинными их аналогами. Наблюдения за динамикой фосфора в осваиваемых почвах показали, что и в этом случае она также дает четко выраженный летний минимум. Как правило, отмечается уменьшение доступных форм фосфатов в середине лета от содержания их весной. Это объясняется максимальным потреблением фосфатов в этот период растениями и микроорганизмами. В конце лета или в начале осени содержание подвижных фосфатов вновь возрастает, что связано с ослаблением или прекращением питания растений и снижением потребления P_2O_5 микроорганизмами. В почве парующих делянок содержание подвижного фосфора подвержено еще меньшим колебаниям, но находится на уровне более высоком, чем в почве делянок, занятых растениями.

Аналогичные результаты были получены и в вегетационно-полевых опытах, где также установлено определенное уменьшение количества подвижных форм фосфора от весны к осени. Наиболее ярко эта тенденция прослеживалась в вариантах с внесением фосфорных удобрений, менее четко — в контрольных вариантах, где удобрения не вносили и содержание подвижных форм фосфора составляло всего 3—6 мг P_2O_5 на 100 г почвы.

В то же время необходимо отметить, что данные о содержании подвижного фосфора оказываются недостаточными для суждения о доступности растениям почвенного фосфора и эффективности рекомендаций по применению фосфорных удобрений. Для этого необходимо иметь достаточно полное представление о количественном содержании разных форм соединений фосфора в данной почве.

С этой целью был прослежен характер превращения фосфатов на мелиорируемых торфяно-болотных почвах АОМС. Объектами исследования явились целинная торфяно-болотная почва и почва 10-летнего срока освоения, находящиеся в пределах одного болотного массива.

При проведении анализов применяли метод Чанга и Джексона. Выделяли следующие группы фосфатов: рыхлосвязанные фосфаты

(1 n NH₄Cl), фосфаты алюминия (0,5 n NH₄F), фосфаты железа (0,1 n NaOH) и фосфаты кальция (0,5 n H₂SO₄). Разность между общим содержанием фосфора и количеством его в выделенных фракциях представляла фосфор остатка, который состоял из органических соединений и труднорастворимых минеральных форм фосфора, куда вошли и группы восстановленно-растворимых фосфатов железа и окклюдируемые формы фосфатов железа и алюминия.

В целинной почве фосфаты представлены в основном в форме фосфатов железа и алюминия. В значительно меньшей степени имеются фосфаты кальция. Такое распределение форм фосфатов в целинных почвах обусловлено зольным составом торфа, где ясно выражено преобладание полуторных окислов над кальцием. В процессе освоения мелиорируемых торфяно-болотных почв происходит увеличение общего содержания фосфора в окультуриваемых почвах по сравнению с целинными их аналогами. Это увеличение фосфора в осваиваемых почвах объясняется резким усилением минерализации органического вещества торфа, поступлением его с растительными остатками, а также за счет внесения фосфорных удобрений.

Как в целинной, так и в осваиваемой торфяно-болотной почве значительная часть фосфора представлена фосфатами остатка (органические формы фосфора и труднорастворимые минеральные формы фосфора). Так, если в целинной почве этот показатель составлял 53%, то в почве 10-летнего срока освоения он равнялся уже 67% от общего содержания фосфора.

Что же касается изменений группового состава фосфатов почвы, то прежде всего следует отметить, что в процессе освоения не происходит накопления рыхлосвязанных, т. е. наиболее доступных для питания растений форм фосфатов. Более высокое содержание фракции фосфатов кальция в осваиваемой почве по сравнению с целинной объясняется главным образом проведенным известкованием. Как уже отмечалось, рН солевой целинной почвы составлял 4,8—5,0, а для осваиваемой почвы он равнялся 5,4—5,6. Содержание валового кальция в осваиваемой почве больше, чем в целинной (2,5 и 1,9% к сухому торфу соответственно).

Увеличение фракции фосфатов кальция в осваиваемой почве сопровождалось некоторым уменьшением в ней фосфатов железа и алюминия по сравнению с целинной почвой, которая содержала меньше валового кальция и характеризовалась более кислой реакцией.

Таким образом, известкование мелиорируемых торфяно-болотных почв, характеризующихся повышенной кислотностью и сравнительно высоким содержанием железа, вызывает некоторое изменение фракционного состава минеральных фосфатов. Увеличивается фракция фосфатов кальция и уменьшается содержание фосфатов железа и алюминия. Условия фосфорного питания возделываемых культур улучшаются.

Выводы

1. Мелиорируемые торфяно-болотные почвы северо-запада РСФСР, являющиеся важным резервом увеличения производства сельскохозяйственной продукции, характеризуются, как правило, исключительно низкой обеспеченностью доступными для питания растений формами фосфора.

2. Значительную часть валового фосфора исследуемых почв представляет собой фосфор, связанный с органическим веществом почвы (75% от общего), приблизительно 23—24% составляет фосфор минеральных малоподвижных соединений и лишь 1—2% приходится на долю подвижной минеральной формы (2—5 мг P₂O₅ на 100 г почвы).

3. Ведущая роль в формировании урожаев возделываемых культур в первые годы освоения исследуемых почв принадлежит фосфорным удобрениям, последующие места занимают азот и калий. Исключение фосфорных удобрений из состава питательной смеси приводит к резкому снижению урожаев всех сельскохозяйственных культур.

4. Освоение исследуемых почв сопровождается увеличением в них валового фосфора. Одновременно с увеличением содержания валового фосфора происходит возрастание и подвижных форм фосфора в почве, а эффективность фосфорных удобрений при этом несколько снижается.

5. Освоение мелиорируемых торфяно-болотных почв сопровождается некоторым изменением фракционного состава минеральных фосфатов. При внесении извести увеличивается фракция фосфатов кальция, являющаяся ближайшим резервом доступных растениям форм фосфатов, и уменьшается содержание фракций фосфатов железа и алюминия.

6. На мелиорируемых торфяно-болотных почвах, характеризующихся кислой реакцией и повышенным содержанием железа, мобилизация запасов фосфатов должна решаться путем превращения органических фосфатов в минеральные формы, а в составе минеральных — трансформацией фосфатов железа в фосфаты кальция.

Литература

1. *Возбуцкая А. Е.* Химия почвы. «Высшая школа», 1964.
2. *Донских И. Н.* Формы аккумуляции фосфора в торфяных почвах северо-запада. Зап. ЛСХИ. Гумус и почвообразование, т. 117, вып. 1. Л., 1968.
3. *Ефимов В. Н.* Изменение количества и форм аккумуляции фосфора при освоении торфяных почв переходного болота Новгородской опытно-мелиоративной станции. Зап. ЛСХИ. Гумус и почвообразование, т. 137, вып. 4. Л., 1970.
4. *Иванов С. Н.* Физико-химический режим фосфатов торфов и дерново-подзолистых почв. Минск, 1962.
5. *Кулаковская Т. Н.* Зависимость урожая растений от содержания в почве фосфатов. Агрохимия, 1965, № 3.
6. *Скрынникова И. Н.* Почвенные процессы в торфяных почвах. Изд. АН СССР, 1961.

Северный НИИ гидротехники и мелиорации
Архангельская опытно-мелиоративная станция
Вологодская опытно-мелиоративная станция

Дата поступления
29.VI.1976 г.

G. S. KALTYKOV, S. A. GOLDINA, L. I. KORNILOVA

EFFICIENCY OF PHOSPHORUS FERTILIZERS ON RECLAIMED PEAT-BOGGY SOILS OF THE NORTH-WESTERN RSFSR

It has been shown that the investigated soils are highly poor in available for plants phosphorus forms. A considerable portion of the total phosphorus (75%) belongs to phosphorus bound with organic matter, approximately 23—24% of phosphorus belong to mineral, not mobile, compounds, and only 1—2% fall to the share of the mobile mineral form (2—5 mg $P_2O_5/100$ g soil).