УДК 631.452:631.82

ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Лукин Сергей Михайлович,
Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа - филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ, Россия, главный научный сотрудник

Аннотация. В статье представлены результаты исследования фосфатного состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений. Показано, что при длительном применении удобрений происходит изменение содержания валового и подвижного фосфора в почвах, степени подвижности и фракционного состава фосфатов. Применение удобрений в дозах, обеспечивающих бездефицитный или слабоположительный баланс фосфора способствует получению продуктивности севооборота 30-35 ц з.е./га и поддержание содержания подвижного фосфора в почве на низком уровне. Для получения в севообороте 35-40 ц з.е. /га и увеличения содержания подвижного фосфора до среднего уровня необходимо обеспечить интенсивность баланса фосфора не менее 170 %, 40-45 ц з.е./га – 250 %. Затраты фосфора на увеличение содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой слабоглееватой почве на 10 мг/кг составляют в среднем 104 кг/га, что в 1,7 выше по сравнению с дерново-подзолистыми суглинистыми почвами.

Ключевые слова: органические, минеральные удобрения, содержание фосфора в почвах, дерново-подзолистые почвы

Annotatsiya. Maqolada organik va mineral o‘g‘itlardan uzoq muddat davomida foydalanish sharoitida chimli–podzollashgan qumloq tuproqlarning fosfat holatini o‘rganish natijalari keltirilgan. Uzoq muddatli o‘g‘itlash jarayonida tuproqda yalpi va harakatchan fosfor miqdori, fosfatlarning harakatchanlik darajasi va fraksion tarkibi o‘zgarishi aniqlangan. Fosforning o’rtacha yoki kam ta’minlangan balansini ta’minlaydigan me’yorlarda o‘g‘it qo‘llash almashlab ekishda 30–35 s/ga hosildorlikka erishish hamda tuproqda harakatchan fosfor miqdorini past darajada saqlab turish imkonini beradi.

Almashlab ekishda 35–40 s/ga hosildorlikka erishish va harakatchan fosfor miqdorini o‘rtacha darajagacha oshirish uchun fosfor balansi intensivligini kamida 170 %, 40–45 s/ga hosildorlik uchun esa 250 % darajada ta’minlash zarur. Chimli–podzollangan kam gleylashgan tuproqlarda harakatchan fosfor miqdorini 10 mg/kg ga oshirish uchun fosfor sarfi o‘rtacha 104 kg/ga ni tashkil etib, bu ko‘rsatkich chimli–podzollangan qumoq tuproqlarga nisbatan 1,7 baravar yuqori ekanligi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: organik o‘g‘itlar, mineral o‘g‘itlar, tuproqlarda fosfor miqdori, chimli–podzol-langan tuproqlar.

Annotation. The article presents the results of a study of the phosphate state of sod-podzolic sandy loam soil with prolonged use of organic and mineral fertilizers. It has been s hown that with prolonged use of fertilizers, the content of total and mobile phosphorus in soils, the degree of phosphate mobility and fractional composition of phosphates. The use of fertilizers in doses that provide a deficiency-free or weakly positive phosphorus balance helps to obtain crop rotation productivity of 30-35 c.e./ha and maintain the content of mobile phosphorus in the soil at a low level. To obtain 35-40 c.e./ha in crop rotation and increase the content of mobile phosphorus to an average level, it is necessary to ensure the intensity of phosphorus balance of at least 170%, 40-45 c.e./ha – 250%. Phosphorus costs for increasing the content of mobile phosphorus in sod-podzolic loamy soil by 10 mg/1 kg average 104 kg/ha, which is 1.7 times higher than in sod-podzolic loamy soils.

Key words: organic and mineral fertilizers, phosphorus content in soils, sod-podzolic soils

Введение. Применение различных систем удобрения оказывает неодинаковое влияние на фосфатный режим почв.Как показывают исследования, доступность фосфора навоза, а также остаточного фосфора при использовании органической системы удобрения, выше по сравнению с фосфором минеральных удобрений . Положительное влияние органического вещества навоза на фосфатный режим объясняется защитным действием органических соединений, способных «экранировать» поверхность раздела глин [4]; образованием комплексных соединений органических веществ с подвижными соединениями железа, алюминия [6]; положительным влиянием углекислоты, образующейся при разложении органического вещества, на доступность почвенных фосфатов [13]; увеличением микробиологической активности почвы [10]. Вместе с тем, это обусловливает более высокую миграционную способность фосфора органических удобрений по сравнению с фосфором минеральных удобрений [7,9,14]. При длительном применении фосфорсодержащих удобрений в почве накапливаются неиспользованные растениями остаточные фосфаты и возрастает степень их подвижности [1,2,5,8,12,13].

В задачу исследований входило изучение влияния длительного применения органических и минеральных удобрений на показатели фосфатного состояния дерново-подзолистой почвы легкого гранулометрического состава, проведение сравнительной оценки доступности фосфатов навоза и минеральных удобрений для растений, определение нормативов затрат фосфора для повышения содержания его в почве на 10 мг/кг.

Методы исследования. Оценку влияния длительного применения органических и минеральных удобрений на показатели фосфатного состояния почвы проводили в длительном стационарном опыте ВНИИОУ, заложенном в 1968 году на дерново-подзолистой супесчаной почве в севообороте однолетний люпин - озимая пшеница - картофель - ячмень. В опыте проводится изучение 3 систем удобрения: органической, органоминеральной и минеральной. Системы удобрения выровнены по количеству питательных веществ в дозах, эквивалентных 10 и 20 т/га навоза. Свойства почвы перед закладкой опыта: pH 6,2-6,5, гидролитическая кислотность 1,0-2,2 мг-экв./100 г, сумма поглощенных оснований 4,8-5,3 мг-экв./100 г, P_2O_5 – 14-25, K_2O – 63-104 мг/кг, содержание гумуса 1,05 - 1,17 % [11]. В статье представлены результаты за первые 7 ротаций севооборота.

Результаты. Оценка баланса фосфора в опыте показала, что при поступлении с удобрениями 25 кг/га P_2O_5 в год обеспечивается компенсация его выноса урожаем сельскохозяйственных культур. С увеличением дозы фосфора до 50 кг/га баланс его становится положительным и составляет 22,0-25,2 кг/га в год, а при внесении 75 кг/га – 46,1 кг/га в год. Вследствие меньшей продуктивности посевов при внесении навоза, по сравнению с минеральными удобрениями, интенсивность баланса фосфора по органической системе удобрения составляла 112-193 %, в то время как по органоминеральной – 105-173 %, минеральной – 106-189 %. Вместе с тем, различия в коэффициентах использования фосфора навоза и минеральных удобрений были невелики. Так, при среднегодовой дозе внесения навоза 10 т/га коэффициент использования фосфора равнялся 28 %, а при внесении эквивалентного количества минеральных удобрений – 33 %, при дозе 20 т/га - 19 и 20 %. При

сочетании органических и минеральных удобрений коэффициенты использования фосфора составляли 26-34 %. Это свидетельствует о том, что фосфор из органических удобрений усваивается не хуже, чем из минеральных удобрений.

Потребление фосфора растениями значительно увеличивалось при сочетании его с азотными удобрениями. Так, при использовании P50K60 коэффициент использования фосфора составил 4 %, а при сочетании фосфора с азотом – 13 %, с азотом и калием – 18 %. Отмечается также увеличение коэффициента использования фосфора при сочетании минеральных удобрений с соломой (табл.1).

Анализ динамики содержания подвижного фосфора в почве длительного стационарного опыта показал, что количество его в варианте без удобрений практически не менялось по сравнению с исходным состоянием, несмотря на ежегодный вынос фосфора с урожаем в среднем 17,5 кг/га. Очевидно, при низких исходных запасах подвижного фосфора, усвоение его происходило из менее подвижных форм, а также подпахотных горизонтов почвы. Этому способствовало систематическое поддерживающее известкование почвы, а также выращивание в севообороте 1 раз в 4 года однолетнего люпина. Об усвоении фосфора из менее подвижных форм, а также подпахотных горизонтов свидетельствует тот факт, что при длительном применении удобрений в дозах, обеспечивающих интенсивность баланса фосфора 105-112 % (P25), содержание его возросло на 23-38 мг/кг. несение с удобрениями P50 обеспечивало увеличение содержания подвижного фосфора до 53-96 мг/кг, P75 – до 101 мг/кг.

Таблица 1. Баланс фосфора в зернопропашном севообороте при использовании различных систем удобрений, кг/га в сумме за 7 ротаций

Варианты опыта	Поступление фосфора			Вынос фосфора с урожаем	Баланс		Интенсивность баланса, %	Коэффициент использования фосфора, %
	с семенами	с удобрениями	всего		всего	в среднем в год		
1. Без удобрений (контроль)	63	0	63	490	-427	-15,3	13	-
2. P50K60	63	1400	1463	551	912	32,6	266	4
3. N50P50	63	1400	1463	678	785	28,0	216	13
4. N50K50	63	0	63	612	-549	-19,6	10	-
5. N50P50K60	63	1400	1463	741	722	25,8	197	18
6. Навоз подстилочный 10 т/га	63	700	763	683	80	219	112	28
7. Навоз подстилочный 20 т/га	63	1400	1463	758	705	25,2	193	19
8. N50P25K60	63	700	763	722	41	1,5	106	33
9. N50P50K90	63	1400	1463	771	692	24,7	190	19
10. Навоз 5 т/га + N25P12K30	63	700	763	730	33	1,2	105	34
11. Навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома	63	1082	1145	823	322	11,5	139	31
12. Навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат	63	1563	1626	866	760	27,1	188	24
13. Навоз 10 т/га + N50P25K60	63	1400	1463	848	615	22,0	173	26
14. N100P50K120	63	1400	1463	775	688	24,6	189	20
15. N50P25K60 + солома	63	773	836	759	77	2,8	110	35
16. Навоз 10 т/га + N100P50K120	63	2100	2163	872	1291	46,1	248	18

Начиная с 4-ой ротации севооборота, при использовании низких доз фосфора отмечалась стабилизация его содержания в почве на уровне 42-55 мг/кг. При применении более высоких доз содержание фосфора в почве продолжало увеличиваться, хотя и более медленными темпами, чем в начале проведения опыта. Характерно, что в первые 4 ротации севооборота органическая и органоминеральная система удобрения по величине прироста содержания подвижного фосфора в почве превосходили минеральную систему удобрения. По мере увеличения содержания фосфора в почве темпы его прироста в вариантах с органической и органоминеральной системой удобрения снижались, в то время, как при использовании минеральных удобрений они оставались на прежнем уровне. В результате, к концу 7 ротации содержание фосфора в почве оказалось примерно одинаковым при всех системах удобрения (табл.2)

Таблица 2

Влияние длительного применения систем удобрения на содержание подвижного фосфора и степень подвижности фосфатов.

Слой почвы, см	Без удобрений	Навоз 20 т/га	Навоз 10 т/га + N50P25K60	N100P50K120	Навоз 10 т/га + N100P50K120
Подвижный фосфор по Кирсанову, мг/кг					
0-20	26,2	77,0	96,3	81,0	100,7
20-40	18,0	40,0	31,2	26,0	28,8
40-60	6,0	10,0	6,3	6,5	12,0
60-80	11,3	9,5	11,8	9,0	14,0
80-100	9,8	15,0	13,8	16,0	19,8
Степень подвижности фосфатов в 0,01M $CaCl_2$, мг/л					
0-20	0,099	0,256	0,250	0,204	0,520
20-40	0,037	0,071	0,053	0,049	0,053
40-60	0,025	0,040	0,049	0,037	0,044
60-80	0,019	0,040	0,043	0,031	0,045
80-100	0,019	0,050	0,043	0,031	0,050

Применение удобрений способствовало увеличению содержания фосфора не только в пахотном слое, но и в нижележащих горизонтах дерново-подзолистой супесчаной почвы. Более заметно это происходило при использовании органической системы удобрения. Так, в слое почвы 20-40 см прирост содержания подвижного фосфора при использовании навоза 20 т/га составил 22 мг/кг, навоз 10 т/га + N50P25K60 – 13 мг/кг, N100P50K120 – 8 мг/кг. Тенденция к увеличению содержания фосфора в почве при использовании навоза наблюдалась до глубины 40-60 см. Одновременно с ростом количества подвижных фосфатов в почве при использовании удобрений возросла степень их подвижности. В иллювиальных горизонтах дерново-подзолистой супесчаной почвы содержание подвижного фосфора и степень подвижности фосфатов были крайне низкие.

Анализ фракционного состава фосфатов по методу Чанга-Джексона показал, что длительное выращивание растений без использования фосфорных удобрений способствовало снижению содержания минеральных фосфатов. При использовании удобрения наблюдалось увеличение содержания минеральных фосфатов в почве, при этом основной прирост

фосфатов произошел за счет фосфатов алюминия.

Различные системы удобрения оказывали сходное влияние на фосфатный режим почвы. Отмечено некоторое увеличение содержания рыхлосвязанных фосфатов, а также фосфатов алюминия, по органической системе удобрения, по сравнению с минеральной системой удобрения. При использовании удобрений отмечена также тенденция увеличения содержания минеральных фосфатов в подпахотных горизонтах почвы до глубины 60-80 см. В более глубоких горизонтах, фракционный состав фосфатов соответствовал природному (табл.3, 4).

Таблица 3

Влияние длительного применения удобрений на фракционный состав фосфатов дерново-подзолистой супесчаной почвы, мг/100 г

Вариант	Валовое содержание фосфора, мг/100 г	Фракции минеральных фосфатов					Рыхлосвязанные + P-Ca / P-Al +P-Fe
		Рыхло-связанные	P-Al	P-Fe	P-Ca	сумма	
Без удобрений	68,2	0,20 / 1	4,2 / 19	10,9 / 50	6,5 / 30	21,80 / 100	0,44
N50K60	68,5	0,10 / 1	3,7 / 20	8,5 / 47	5,7 / 32	18,00 / 100	0,35
Навоз 5 т/га + N25P12K30	74,2	0,25 / 1	8,7 / 31	12,4 / 45	6,4 / 23	27,75 / 100	0,35
Навоз 20 т/га	91,3	0,65 / 2	8,5 / 30	12,5 / 43	7,2 / 25	28,85 / 100	0,38
Навоз 10 т/га + N50P25K60	90,0	0,55 / 2	7,7 / 27	12,7 / 45	7,3 / 26	28,25 / 100	0,39
N100P50K120	89,7	0,45 / 2	7,2 / 26	12,7 / 46	7,2 / 26	27,55 / 100	0,39
Навоз 10 т/га + N100P50K120	95,8	0,59 / 2	7,2 / 24	14,3 / 48	7,6 / 26	29,69 / 100	0,35

Таблица 4

Изменение фракционного состава фосфатов по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы, мг/100 г

Вариант	Слой почвы, см	Валовое содер-жание фосфора, мг/100 г	Фракции минеральных фосфатов					Рыхлосвязанные + P-Ca / P-Al +P-Fe
			Рыхлосвя-занные	P-Al	P-Fe	P-Ca	Сумма	
Без удобрений	0-20	68,2	0,20	4,2	10,9	6,5	21,80	0,44
	20-40	41,1	0,03	2,3	8,3	2,6	13,23	0,25
	40-60	45,0	0,01	1,3	6,1	1,4	8,81	0,19
	60-80	48,5	0,03	1,4	9,7	1,3	12,40	0,12
	80-100	44,3	0,03	1,9	10,3	1,4	13,63	0,12
Навоз 20 т/га	0-20	91,3	0,65	8,5	12,5	7,2	28,85	0,38
	20-40	45,1	0,07	4,0	9,2	3,2	16,47	0,25
	40-60	38,9	0,01	2,3	9,1	2,0	13,41	0,18
	60-80	41,8	0,07	2,3	10,9	1,3	14,57	0,10
	80-100	55,6	0,05	1,6	11,7	1,1	14,45	0,09
N100P50K120	0-20	89,7	0,45	7,2	12,7	7,2	27,55	0,39
	20-40	49,2	0,03	2,9	9,6	2,6	15,13	0,21
	40-60	36,8	0,02	1,7	7,7	2,0	11,42	0,21
	60-80	49,6	0,03	1,6	13,5	2,2	17,33	0,15
	80-100	45,8	0,03	1,7	12,0	2,4	16,13	0,18

Фракционный состав минеральных фосфатов отражает свойства почвообразующих пород, на которых формировались почвы. Для дерново-подзолистых слабоглееватых и глееватых почв Мещеры, сформировавшихся в условиях периодического избыточного увлажнения, характерно преобладание фосфатов полуторных окислов, особенно железа, над фосфатами кальция, что обусловливает высокие затраты фосфора удобрений на увеличение содержания фосфора в почве (104 кг на 10 мг/кг). Длительное применение удобрений способствовало увеличению доли подвижных фосфатов в валовом содержании фосфора. Коэффициенты корреляции между балансом фосфора в севообороте и показателями фосфатного состояния почвы составили: с валовым содержанием фосфора r = 0,871 (p = 0,000003), с содержанием подвижного фосфора r = 0,908 (p = 0,000000), с долей подвижного фосфора в валовом содержании r = 0,903 (p = 0,000000).

Расчет потерь фосфора на основе его баланса и изменения валового содержания фосфора в почве длительного опыта показал, что в среднем в год потери фосфора при использовании органической системы удобрения (навоз 20 т/га) составляли 5,9 кг P2O5/га в год, минеральной – 2,8 кг/га, органоминеральной – 1,6 кг/га. При использовании в севообороте навоза 10 т/га + N100P50K120 расчетные потери фосфора из пахотного горизонта составляли 12,8 кг/га в год (табл.5).

Таблица 5

Использование и потери фосфора в зернопропашном севообороте при применении различных систем удобрений, кг/га (в сумме за 6 ротаций)

Вариант	Внесено фосфора	Усвоено растениями	Прирост содержания в почве	Всего	Потери фосфора		Коэффициент биологической утилизации (вынос урожаем + прирост в почве) % от внесенного
					всего	в среднем в год	
Навоз 20 т/га	1200	237	822	1059	141	5,9	88
Навоз 10 т/га + N50P25K60	1200	318	843	1161	39	1,6	97
N100P50K120	1200	245	888	1132	67	2,8	94
Навоз 10 т/га + N100P50K120	1800	328	1164	1492	308	12,8	83

Выводы.

1. Длительное применение удобрений вызывает значительные изменения фосфатного состояния почв. Под влиянием удобрений происходит изменение валового и подвижного фосфора в почвах, степени подвижности и фракционного состава фосфатов.

2. Применение удобрений в дозах, обеспечивающих бездефицитный или слабоположительный баланс фосфора способствует получению продуктивности севооборота 30-35 ц з.е./га и поддержание содержания подвижного фосфора в почве на низком уровне. Для получения в севообороте 35-40 ц з.е./га и увеличения содержания подвижного фосфора до среднего уровня необходимо обеспечить интенсивность баланса фосфора не менее 170 %, 40-45 ц з.е./га – 250 %.

3. Затраты фосфора на увеличение

содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой слабоглееватой почве на 10 мг/кг составляют в среднем 104 кг/га, что в 1,7 выше по сравнению с дерново-подзолистыми суглинистыми почвами нормального увлажнения.

4. Установлено, что фосфор органических удобрений в прямом действии усваивается не хуже, а в последействии, лучше, чем из минеральных удобрений. Сочетание органических и минеральных удобрений способствует повышению коэффициента использования фосфора в среднем на 5 %.

Список использованных литературы:

1. Васбиева М.Т., Завьялова Н.Г., Шишков Д.Г. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении азотных, фосфорных и калийных удобрений в условиях Предуралья // Почвоведение, 2022, № , – С. – 1415–1425.

2. Войтович Н.В., Сушеница Б.А., Капранов В.Н. Фосфориты России и ближнего зарубежья. – М.: ВНИИА, 2005. – 448 с.

3. Дзюин А.Г. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв Северо-Восточной зоны Нечерноземья: монография / А.Г. Дзюин. – Ижевск: Алкид, 2020. – 208 с.

4. Донских И.Н., Копылова Л.А. Влияние высоких доз органических удобрений на фракционный состав фосфатов в дерново-подзолистой почве // Агрохимия, 1982, № 4. – С. – 55-63.

5. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Адрианов С.Н. и др. Агрогеохимический цикл фосфора. – М.: Россельхозиздат, 2012. -510 с.

6. Карпухин А.И., Касатиков В.А. Комплексные соединения гумусовых кислот с ионами металлов в генезисе почв и питании растений. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2007. – 238 с.

7. Кауричев И.С., Карпухин А.И., Гринюк В.Г. Миграция и трансформация фосфора жидкого навоза в дерново-подзолистой почве // Агрохимия, 1983, № 10. – С. 111-118.

8. Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н. Действие и последействие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при различной степени известкования // Агрохимия, 2007, № 10. С. 14-23.

9. Кудеярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. – М.: Наука, 1995. – 288 с.

10. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

11. Лукин С.М., Марчук Е.В., Золкина Е.И. Продуктивность зернопропашного севооборота при длительном применении различных систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агрохимия, 2018, № 2. – С. –71-78.

12. Митрофанова Е.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Плодородие, 2014, №4. – С. 19-21.

13. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т. 3. Общие вопросы земледелия и химизации. – М.: Колос, 1965. – 639 с.

14. Титова В.И., Варламова Л.Д. Эколого-агрохимические особенности дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора // Агрохимия, 2002, № 3. – С. – 47-54.