

ДЕЙСТВИЕ И ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ РАЗНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В ДЛИТЕЛЬНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ НА КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

Л.В. Никитина, к.б.н., ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова

В длительном полевом опыте изучено действие и последствие разных систем удобрения на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Показано, что трансформация форм почвенного калия определялась системами удобрения сельскохозяйственных культур, дозами калийных удобрений и структурой севооборотов.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, длительный полевой опыт, калийный режим, севообороты разной интенсивности.

В современных условиях информация, полученная в результате долговременных опытов, представляет большой интерес, так как систематическое определение элементов питания в почве по ротациям севооборота даёт правильную оценку влияния длительного применения удобрений на плодородие почвы.

В годы интенсивной химизации сельского хозяйства прослеживалась устойчивая тенденция к накоплению биогенных элементов в почвах, что способствовало повышению плодородия почв и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур [1-3]. Систематическое внесение минеральных, органических удобрений и их совместное применение оказывало положительное влияние на содержание калия в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава [4, 5].

За последние десятилетия в практике сельского хозяйства России резко сократилось внесение удобрений, в том числе калийных, и как следствие этого – нарастающее истощение калием пахотных почв, наблюдаемое в разных сельскохозяйственных зонах страны [6-9]. В современных условиях низкозатратного земледелия важно не допустить снижения почвенного плодородия в отношении калия. Поэтому изучение его трансформации в почве как под влиянием длительного применения удобрений, так и после прекращения их использования представляется актуальным.

Методика. Для изучения трансформации почвенного калия при длительном применении систем удобрения и их последствия был привлечен длительный полевой опыт (СШ-5), проводимый на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии. Опыт был заложен в 1964-1966 гг. на трех полях для изучения роли органического вещества навоза в повышении плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности сельскохозяйственных культур. Схема опыта описана в работах [10, 11] и предполагала внесение органических и минеральных удобрений в эквивалентных количествах. В течение 28 лет в опыте сравнивали действие органических и минеральных удобрений и их сочетаний в интенсивном зернопропашном севообороте: 1 – картофель ранний, 2 – озимая пшеница, 3 – свекла кормовая, 4 – ячмень яровой (насыщенность пропашными культурами – 50%). По окончании седьмой ротации севооборота в 1992-1994 гг. эксперимент модифицировали: вносить удобрения прекратили, а зернопропашной севооборот заменили менее интенсивным – зерновым: 1 – викоовсяная смесь на зелёную массу, 2 – озимая пшеница, 3 – ячмень, 4 – овёс (насыщенность пропашными культурами – 0%), т.е. началось изучение последствий удобрений в течение 8 лет в новых экспериментальных условиях.

Изучение действия и последствия разных систем удобрения на калийный режим суглинистой почвы проводили в поле №3. В почвенных образцах, отобранных из пахотного горизонта разнородных вариантов опыта, определяли показатели калийного режима: обменного калия – по методу Масловой, (1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$), легкогидролизуемой фракции необменного – по методу Пчёлкина (2н. HCl) и необменного

фиксированного калия – видоизмененным методом Гедройца (10% – ная HCl при кипячении) в модификации А.В. Петербургского и Ф.В. Янишевского. Калий во всех аналитических исследованиях определяли на пламенном фотометре.

Результаты и их обсуждение. Исследуемая дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва до закладки опыта характеризовалась средним содержанием обменного калия, его варьирование по делянкам опыта составило 11,1-12,8 мг/100 г почвы. При рассмотрении в зернопропашном севообороте динамики изменений содержания обменного калия в семи ротациях опыта (28 лет) установлено [11], что в пахотном горизонте дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в варианте без удобрений (контроль) происходило уменьшение обменного калия до определенного уровня, при этом снижение от первоначального его количества в почве достигало 25%. Основные потери наблюдали в первые 8 лет, в последующие годы достигнутый уровень $\text{K}_2\text{O}_{\text{обм}}$ практически не изменялся, несмотря на продолжающийся вынос его растениями, т.е. в варианте при полном отсутствии применения удобрений устанавливался устойчивый минимальный уровень обменного калия ($\text{K}_2\text{O}_{\text{мин}}$), равный 8,0-9,0 мг/100 г почвы. Согласно полученным ранее аналогичным данным, установлено, что ориентировочный уровень $\text{K}_2\text{O}_{\text{мин}}$ для дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв составляет 7,0-11,0 мг/100 г почвы [12]. Устойчивость в течение длительного времени содержания в почве $\text{K}_2\text{O}_{\text{обм}}$ при дефицитном балансе калия обеспечивалась дополнительным высвобождением этого элемента из необменных форм, тем самым препятствуя убыли количества обменного калия. Использование калия из необменных форм за 7 ротаций составило 1107 кг/га, или почти 40 кг/га в год [11].

Рассматривая влияние разных систем удобрения на продуктивность зернопропашного севооборота и изменения содержания обменного калия во времени, можно отметить особенности их действия (табл. 1). К концу седьмой ротации зернопропашного севооборота содержание обменного калия, в сравнении с исходными данными, последовательно возрастало с увеличением доз его при применении разных систем удобрения.

При низком уровне внесения удобрений со среднегодовой дозой K_{75-80} в составе органической и минеральной систем, при уравновешенном балансе в варианте с внесением навоза и уровнем продуктивности 28 ц з.ед/га и дефицитном балансе в варианте NPK с продуктивностью – 37 ц з.ед/га, содержание обменного калия практически сохранялось на исходном уровне.

Совместное внесение органических и минеральных удобрений способствовало накоплению обменного калия, в зависимости от доз внесения калийных удобрений. Органоминеральная система удобрения навоз + NPK обеспечивала продуктивность севооборота 45,2 ц з.ед/га. При этой системе удобрения (среднегодовая доза калия 155 кг/га) наблюдалось увеличение количества $\text{K}_2\text{O}_{\text{обм}}$, которое превышало исходное содержание в 1,8 раза, а обеспеченность исследуемой почвы калием достигла повышенного уровня (20,0 мг/100 г почвы).

Увеличение насыщенности севооборота удобрениями в вариантах навоз + 2NPK и навоз + 3NPK сопровождалось дальнейшим ростом продуктивности севооборота, которая достигла 55-59 ц з.ед/га. Увеличение обменного калия в этих вариантах относительно его исходного количества было наибольшим – 20,8-21,6 мг/100 г почвы, и обеспеченность почвы повысилась до очень высокого уровня – 33,6-34,2 мг/100 г почвы.

Внесение азота, фосфора и калия с минеральной системой удобрения (3NPK – 4NPK) на уровне удобренности навоз + 2NPK и навоз + 3NPK обеспечивали продуктивность 52-58 ц з.ед/га. С внесением калия при минеральной системе удобрения в количествах, эквивалентных его внесению в вариантах навоз + 2NPK и навоз + 3NPK накопление $K_2O_{обм.}$ относительно его исходного содержания было значительно меньше (12,4-13,7 мг/100 г почвы), и обеспеченность почвы этих вариантов характеризовалась повышенным (23,8 мг) и высоким (25,4 мг) содержанием.

С повышением доз калийных удобрений в составе систем удобрения и интенсивности баланса калия возрастали темпы накопления $K_2O_{обм.}$ в почве (см. табл. 1), причем органоминеральная и минеральная системы по-разному влияли на этот процесс.

В вариантах с внесением органоминеральной системы удобрения (навоз + 2NPK и навоз + 3NPK) в среднем за год

величина накопления $K_2O_{обм.}$ несмотря на разные дозы внесения калия, была практически одинаковой и составила 0,74-0,77 мг/100 г почвы, или 22-23 кг/га.

При минеральной системе (3NPK и 4NPK) с внесением калия в количествах, эквивалентных его внесению в вариантах навоз + 2NPK и навоз + 3NPK, темпы накопления этой формы калия в среднем за год составили 0,44-0,50 мг/100 г почвы, или 13-15 кг/га.

Следовательно, при внесении калия в повышенных дозах при органоминеральной (навоз + 2NPK и навоз + 3NPK) и минеральной (3NPK и 4NPK) системах удобрения с близким уровнем продуктивности (52,0-59,0 ц з. ед/га) действие длительного применения только минеральных удобрений на накопление обменного калия в почве было значительно слабее, чем систем удобрения с использованием навоза, т.е. органоминеральная система в большей степени способствовала накоплению обменной формы.

1. Влияние систем удобрения на продуктивность зернопропашного севооборота и изменение содержания обменного калия в почве во времени

Вариант опыта	Среднегодовые дозы удобрений, кг д.в./га			Продуктивность севооборота, ц з.ед/га в год	Интенсивность баланса калия (ИБ), %	Содержание обменного калия, мг/100 г почвы		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			исходное	конечное	баланс за 28 лет, ±
Без удобрений (контроль)	-	-	-	20,5	-	12,0	8,6	- 3,4
Навоз	63	31	75	28,0	102	12,5	12,6	+ 0,1
Навоз +NPK	118	64	155	45,2	120	11,4	20,0	+ 8,6/0,31*
Навоз +2NPK	173	97	235	55,0	128	12,8	33,6	+ 20,8/0,74
Навоз +3NPK	228	130	315	59,1	144	12,6	34,2	+ 21,6/0,77
NPK	55	33	80	37,0	87	11,1	12,4	+ 1,3/0,05
2NPK	110	66	160	46,4	118	11,9	16,2	+ 4,3/0,15
3NPK	165	99	240	51,5	133	11,4	23,8	+ 12,4/0,44
4NPK	220	132	320	57,5	153	11,7	25,4	+ 13,7/0,50
HCP ₀₅				3,2			1,7	

*Под чертой – накопление $K_2O_{обм.}$ в год.

После завершения 7-ой ротации севооборота сравнивали влияние органической, минеральной и органо-минеральной систем удобрения на трансформацию форм почвенного калия. При низком уровне внесения калия (K_{75-80}) в вариантах навоз и NPK с уравновешенным и дефицитным балансом и уровнем продуктивности, соответственно, 28 и 37 ц з.ед/га проявлялись, прежде всего, сохранение содержания обменного калия на уровне исходной обеспеченности и поддержание количества обменного легкогидролизующего калия на уровне контроля. Это обеспечивалось за счет мобилизации под влиянием удобрений и растений менее доступной обменной формы, определяемой по методу Гедройца. В условиях постоянного некомпенсируемого выноса этого элемента с урожаем сельскохозяйственных культур снижение труднодоступного калия составило в варианте навоз – 13,0 мг/100 г почвы, или 7,6%, в варианте NPK – 23,0 мг/100 г, или 14,0% (табл. 2).

2. Влияние систем удобрения на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

Вариант опыта	Среднегодовая доза калия, K_2O , кг/га	Исходное содержание $K_2O_{обм.}$, мг/100г почвы	Содержание форм калия после 7-ой ротации (через 28 лет)		
			$K_2O_{обм.}$ (по Маслову)	$K_2O_{легкогидролиз.}$ (по Пчелкину)	$K_2O_{необм.}$ (по Гедройцу)
			мг/100 г почвы		
Без удобрений (контроль)	-	12,0	8,6	41	170
Навоз	75	12,5	12,6	43	157
Навоз + NPK	155	11,4	20,0	50	166
Навоз + 2NPK	235	12,8	33,6	55	197
Навоз + 3NPK	315	12,6	34,2	62	214
NPK	80	11,1	12,4	41	147
2NPK	160	11,9	16,2	44	147
3NPK	240	11,4	23,8	52	158
4NPK	320	11,7	25,4	54	155

Существенное накопление легкогидролизующего обменного калия по сравнению с содержанием этой формы в почве контрольного варианта происходило только при внесении высоких доз калия ($K_{240-320}$ кг/га в год) с минеральной системой удобрения, но при этом отсутствовало более прочное его закрепление в обменной форме, определяемой при использовании более жесткого экстрагента (10%-ная HCl при кипячении). Объяснение этому дается в работах [13-15]. Авторами установлено, что в зернопропашном севообороте под действием длительного внесения больших доз физиологически кислых минеральных удобрений и интенсивной механической обработки почвы происходят постепенное дезагрегирование пахотного слоя, разрушение глинистого материала и вынос с тонкодисперсными фракциями минералов, способных более прочно фиксировать калий, за пределы пахотного горизонта.

Совместное внесение органических и минеральных удобрений, особенно при повышенных дозах последних (среднегодовая доза $K_{235-315}$ кг/га), существенно повышало не только содержание $K_2O_{обм.}$, но и количество обменного как легкогидролизующего, так и определяемого по методу Гедройца калия.

В условиях последствий удобрений при смене интенсивного севооборота на менее интенсивный, при низком уровне продуктивности зернового севооборота (14,4 ц з.ед/га за две ротации последствий) и длительном (8 лет) некомпенсируемом выносе элемента урожаем, содержание обменного калия в почве контрольного варианта достигло исходного уровня за счёт мобилизации элемента из обменных форм (табл. 3).

Изучение последствий разных систем удобрения на калийные показатели исследуемой почвы показало, что в зерновом севообороте с меньшим уровнем продуктивности практически во всех вариантах опыта произошло некоторое снижение содержания $K_2O_{обм.}$ относительно уровня, созданного длительным применением удобрений. В вариантах последствий органоминеральных систем

удобрения (навоз + 2NPK, навоз + 3NPK), где в результате внесения в предшествующие годы высоких доз калия ($K_{235-315}$ кг/га) был создан очень высокий (33,6-34,2 мг/100 г почвы), согласно грациям метода Масловой, уровень обеспеченности, уменьшение обменной формы было значительным. В среднем за год снижение обменной формы составило 0,60-0,91 мг/100 г почвы, или 18,0- 27,3 кг/га, и за 8 лет последствие обеспеченность почвы обменным калием в этих вариантах изменилась на одну градацию – с очень высокого уровня до высокого.

В вариантах с последствием минеральных систем удобрения (NPK – 4NPK) темпы снижения количества обменного калия были несколько ниже, и обеспеченность почвы сохранялась в основном на уровне, созданном длительным внесением удобрений (см. табл. 3).

3. Продуктивность зернового севооборота и содержание форм почвенного калия в условиях последствия удобрений

Вариант опыта	Продуктивность зернового севооборота, ц з.ед/га		Формы калия, K_2O , мг/100 г почвы		
	1-ая ротация	2-ая ротация	$K_2O_{обм.}$ (по Масловой)	$K_2O_{легкогидрол.-необм.}$ (по Пчелкину)	$K_2O_{необм.}$ (по Гедройцу)
Без удобрений	8,4	6,0	11,4/+0,35*	36	150
Навоз	10,2	6,2	13,7/+0,14	35	160
Навоз + NPK	11,4	7,9	19,1/-0,11	39	165
Навоз + 2NPK	13,6	9,2	26,3/-0,91	47	181
Навоз + 3NPK	14,5	9,9	29,4/-0,60	44	210
NPK	7,1	6,8	12,1/-0,04	34	155
2NPK	9,2	7,1	16,8/+0,08	39	160
3NPK	11,2	8,3	21,1/-0,34	39	158
4NPK	10,6	8,8	24,1/-0,16	40	158
HCP ₀₅	2,1	1,5			

*Под чертой величина снижения (накопления) $K_2O_{обм.}$ в год.

Через 8 лет после прекращения внесения удобрений в опыте наблюдается уменьшение количества наиболее подвижной фракции необменного калия, определяемой по методу Пчелкина. Наибольшие изменения в содержании этой формы произошли в вариантах последствие высоких доз калийных удобрений при минеральной (3NPK – 4NPK) и органоминеральной (навоз + 3NPK) системах удобрения. За две ротации последствие снижение содержания необменного легкогидролизуемого калия относительно уровня, который был сформирован в результате длительного применения удобрений, составило 13,0-18,0 мг/100 г почвы. При этом содержание труднодоступного необменного калия, определяемого при использовании более жёсткого экстрагента (10%-ная HCl при кипячении), во всех удобренных ранее вариантах, практически остается без изменений. Полученные результаты позволяют предположить возможное выщелачивание наиболее подвижного калия (обменного и необменного легкогидролизуемого) за пределы пахотного горизонта. В связи с этим, можно отметить исследования Липкиной [16], которые показали, что в старопашотных, интенсивно удобрявшихся калием дерново-подзолистых суглинистых почвах, при низких уровнях урожая, происходило передвижение части почвенного калия вниз по профилю: в первые 5 лет миграционные потери наблюдались в метровом слое почвы, а в последующие 15 лет – в полутораметровом слое.

Заключение. Изучение в течение длительного периода действия разных систем удобрения и их последствия на показатели калийного режима тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почвы в севооборотах контрастной интенсивности показало, что трансформация форм почвенного калия определялась системами удобрения

сельскохозяйственных культур, дозами калийных удобрений и структурой севооборотов.

Литература

1. Любарская Л.С. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на урожай культур и свойства почвы // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почв и продуктивность севооборотов. – М., 1974. – С.139-156.
2. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. – М.: Колос, 1977. – 413с.
3. Бабарина Э.А., Жукова Л.М., Шевцова Л.К. Плодородие почв при систематическом применении удобрений // Основные условия эффективного применения удобрений. – М.: Колос, 1983. – С. 206-224.
4. Литвак Ш.И., Бабарина Э.А., Никитина Л.В. Баланс фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – №10. – С. 18-21.
5. Никитина Л.В. Оценка калийного режима разных типов почв и эффективность калийных удобрений в длительных опытах: Автореф. канд. биол. наук, М., – 1994. – 22с.
6. Гамзиков Г.П. Обеспеченность почв калием и эффективность калийных удобрений в земледелии Сибири // «Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений». Мат.-лы науч.-практ. конф. – М.: ЦИНАО, 2002. – С. 85- 94.
7. Конончук В.В., Никитина Л.В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светлосуглинистой почвы при орошении // Агрохимия. – 2002. – №6. – С.53-58.
8. Багрянцева В.Н. Эколого-агрохимическая оценка калийсодержащих удобрений в системе почва-растение в Восточном Предкавказье // «Экологические функции агрохимии в современном земледелии». Мат.-лы Всеросс. совещ. Географической сети опытов с удобрениями. – М., 2008. – С. 35-40.
9. Лукин С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений // Агрохимия. – 2012. – №12. – С.5-14.
10. Ефремов В.Ф. Действие и последствие систем удобрения в зерновом севообороте // Плодородие. – 2004. – №4 (19). – С. 10-11.
11. Никитина Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. – 2012. – №12. – С.15-23.
12. Никитина Л.В. Динамика обменного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 2007. – №2. – С. 14-18.
13. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и известии – М.: НАУКА, 1992. – 190 с.
14. Байбеков Р.Ф. Агроэкологическое состояние почв при длительном применении удобрений. – М.: ЦИНАО, 2003. – 185 с.
15. Чижикова Н.П. Изменение минералогического состава и их подвижности в дерново-подзолистых почвах под влиянием вносимых удобрений // «Минералогический состав и микростроение почв в решении вопросов их генезиса и плодородия». – М., 1990. – С.16-29.
16. Липкина Г.С. Содержание подвижных соединений калия в интенсивно удобряемых дерново-подзолистых суглинистых почвах // Почвоведение. – 1986. – №12. – С. 69-75.

**EFFECT AND AFTEREFFECT OF DIFFERENT FERTILIZING SYSTEMS IN A LONG-TERM FIELD
EXPERIMENT ON THE POTASSIUM STATUS IN CLAY LOAMY SODDY-PODZOLIC SOIL**

***L. V. Nikitina, Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Agricultural
Sciences,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, info@vniia-pr.ru***

The effect and aftereffect of different fertilizing systems on the potassium status of clay loamy study-podzolic soil have been studied in a long-term field experiment. It has been shown that the transformation of potassium forms in the soil is determined by the fertilizing systems, the application rates of potassium fertilizers, and the structure of crop rotations.

Keywords: soddy-podzolic soils, long-term field experiment, potassium status, crop rotations of different intensities.