

УДК 631.8

ФОРМЫ КАЛИЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

В. А. ДЕМИН, АУДУ МУСА

(Кафедра агрохимии)

По результатам опыта возрастающие дозы удобрений в севообороте при их длительном применении на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве способствовали повышению содержания всех форм калия в почве, в слоях 0-20 и 20-40 см.

Калий главным образом находится в минеральной части почвы, а в органической части его очень мало. Он содержится в почве в виде простых солей (нитратов, карбонатов, сульфатов и др.), т. е. калий почвенного раствора; калий, поглощенный коллоидными частицами — обменный и не-обменный; в кристаллической решетке первичных и вторичных минералов — калий минералов; калий органических остатков. Поскольку калий в растениях и микроорганизмах всегда находится в ионной форме, то после отмирания клеток он легко освобождается из них даже простым выщелачиванием водой [1].

Для рационального применения калийных удобрений необходимо иметь правильное представление о запасах и формах почвенного калия, а также о его изменении в почве при внесении удобрений. Калий, внесенный с удобрениями, может подвергаться различным изменениям в почве. Так, обменный калий постепенно превращается в необменную форму (фиксация) и становится недоступным или трудно доступным для растений. Фиксация калия не является единственным способом потери калия удобрений. В зависимости от различных факторов он может вымываться

из корнеобитаемого слоя (выщелачиваться). Установлено, что по мере потребления растениями подвижных форм калия происходит, хотя и неполное, восстановление его за счет необменных форм. Однако процесс перехода фиксированных ионов в подвижное состояние во времени идет медленно. Поэтому для обеспечения растений калием необходимо применять калийные удобрения [2]. Снижение калийного потенциала почвы может происходить быстрее ожидаемого, поэтому важно осуществлять систематический контроль за состоянием калия в почве [3].

Цель данной работы — изучить изменение форм калия при длительном применении различных уровней удобрений в севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

Методика

Исследования проводили в 4-польном полевом стационарном опыте в учхозе МСХА «Михайловское» Московской обл. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Опыт был заложен осенью 1975 г. Перед закладкой опыта почва была произвесткована по полной гидролитической кислотности и имела в год закладки следующие агрохимические показатели (в слое 0-20 см): содержание гу-

муса (по Тюрину) — 1,58-1,63%, $\text{pH}_{\text{сод}}$ — 5,9-6,0; гидролитическая кислотность — 2,3-2,4; сумма поглощенных оснований — 10,9-11,6 мг-экв на 100 г; степень насыщенности основаниями — 82-83%; содержание кальция — 7,6—7,9, магния — 1,2-1,3 мг • экв; подвижных форм (по Кирсанову) фосфора — 10,8-11,8 мг и калия — 11,5-12,2 мг на 100 г. Опыт развернут в пространстве всеми 4 полями севооборота, имеет 6 вариантов в 4-кратной повторности: 1 — контроль (без удобрений); 2 — первый уровень минеральной системы удобрения (33N26P79K, всего 138 кг д.в. на 1 га); 3 — первый уровень навозно-минеральной системы удобрения (8N13K+17,5 т навоза в среднем на 1 га, всего 214 кг д.в.); 4 — второй уровень минеральной системы удобрения (93N44P126K, всего 263 кг д.в. на 1 га); 5 — второй уровень навозно-минеральной системы удобрения (69N13P29K+17,5 т навоза в среднем на 1 га, всего 304 кг д.в.); 6 — второй уровень минеральной системы удобрения (93N126K и P_2O_5 вносится в запас на 4 года). В течение 25 лет дозы изменялись. Указанная насыщенность севооборота удобрениями относится к 6-й и 7-й ротациям (табл. 1). Общая площадь делянки 151,2 м² (8,4 х 18 м), учетная — 30—80 м².

Т а б л и ц а 1

Дозы минеральных удобрений в севообороте за 1996–1999 гг. и 2000–2003 гг. (кг д.в. на 1 га)

Чередование культур	Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4		Вариант 5		Вариант 6		
	N	P ₂ O ₅ , K ₂ O	N	P ₂ O ₅ , K ₂ O	N	P ₂ O ₅ , K ₂ O	N	P ₂ O ₅ , K ₂ O	N	P ₂ O ₅ , K ₂ O	
Одн. травы (сено)	30	— 90	—	—	60	20	145	20	—	60	145
Оз. рожь/оз. пшеница	20	30 60	—	—	65	45	100	50	—	75	100
Картофель	35	40 125	30	—	140	65	230	135	—	140	230
Ячмень/яр. пшеница	45	35 40	—	—	105	45	30	70	50	40	105
В среднем по севообороту	33	26 79	8	—	93	44	126	69	13	29	93
Всего NPK	138		21		263		111				175

Пр и м е ч а н и е. В 3-м и 5-м вариантах вносили навоз: под однолетние травы — 30 т/га и картофель — 40 т/га, или в среднем 17,5 т/га в севообороте.

175
в запас на 4 года

Севооборот включает следующее чередование культур: однолетние травы (вика с овсом или горох с овсом) — озимая рожь — картофель — ячмень. Следует отметить, что в 1997 г. озимую рожь заменили озимой пшеницей и в 1999 г. ячмень яровой — пшеницей. В севообороте выращивали следующие сорта сельскохозяйственных культур: горох — Немецкий кормовой, овес — Гамбо / Скакун — 2000 г., озимая рожь — Восход 1, картофель — Невский, ячмень — Зазерский 85, озимая пшеница — Московская 39, яровая пшеница — Иволга, но в отдельные годы были другие сорта в зависимости от обстоятельств в учхозе.

Из минеральных удобрений применяли аммиачную селитру, аммофос/двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий; из органических — подстилочный навоз. Навоз вносили под однолетние травы (30 т/га) и картофель (40 т/га) или в среднем 17,5 т на 1 га севооборота. Среднее содержание питательных веществ в навозе КРС составило (в %): N 0,4, P₂O₅ 0,2 и K₂O 0,5 на сырую массу. Фосфорные, калийные удобрения и навоз вносили под культуры ярового клина под зяблевую вспашку, а азотные — весной под культивацию. Под

озимые зерновые культуры 1/3 часть азота от общей дозы вносили до посева под культивацию, а 2/3 давали в ранневесеннюю подкормку.

Почвенные образцы для определения форм калия были отобраны с 1 (контроль), 4, 5, 6-го вариантов и с участка без культуры и без внесения удобрений (черный пар) по 3 повторностям опыта. Из горизонта 0-20 см отобрали по 30 и 70 уколов, из горизонта 20-40 — по 30 уколов.

Содержание водорастворимого калия определяли по Александрову, подвижного калия — по Масловой и Кирсанову, кислоторастворимого — по Важенину. Математическую обработку результатов проводили методом дисперсионного анализа на IBM PC с использованием программы STRAZ.

Результаты и их обсуждение

Длительное применение удобрений в севообороте на дерново-подзолистой средне-суглинистой почве практически не привело к увеличению содержания общего калия в почве во всех удобренных вариантах (табл. 2). По сравнению с исходным показателем его содержание в 1-м варианте снизилось с 2,11 до 2,04%, т. е. на 0,07%, после 24 лет выращивания

Таблица 2

Формы калийных соединений (K_2O мг на 100 г почвы)
в слое 0-20 см

Вариант	Водорастворимый	Обменный	Подвижный по		Необменный гидролизуемый	Кислото-растворимый
			Кирсанову	Масловой		
<i>70 уколов</i>						
Исх.	1,8	9,7	11,5	14,8	142	153
1	1,6	9,1	10,7	13,5	121	131
4	2,8	19,2	21,9	23,4	148	170
5	3,6	21,2	24,7	26,9	166	190
6	3,0	17,7	20,6	24,1	147	167
НСР ₀₅	0,9	2,4	2,1	2,2	15,4	16,5
<i>30 уколов</i>						
1	1,6	9,2	10,8	12,0	121	132
4	2,9	18,8	21,7	22,3	145	167
5	3,7	22,0	25,7	27,1	158	183
6	3,2	18,0	21,2	22,3	132	153
НСР ₀₅	0,6	3,4	3,3	3,8	15,8	15,1

Примечание. Исходный вариант (черный пар).

культур без внесения удобрений. Внесение удобрений привело к достоверному повышению содержания водорастворимого калия в слоях 0-20 см по отношению к исходным данным. Увеличение его содержания в слое 0-20 см составило от 1,0 мг/100 г в 4-м до 1,8 (в 2 раза больше) в 5-м варианте (второй уровень навозно-минеральной системы удобрения, где применяли самые высокие дозы удобрений); в слое 20-40 см — соответственно 0,1 и 0,2 мг/100 г, а в 6-м варианте — 0,3 мг/100 г. По сравнению с исходным значением содержание водораство-

римо калия в контрольном варианте снизилось на 11% в обоих слоях (табл. 2 и 3).

При отборе средних почвенных образцов из 70 и 30 уколов тростьевым буром в слое 0-20 см не наблюдалось существенных различий по содержанию форм калия почвы (рис. 1, табл. 2). В среднем по всем показателям разница между 70 и 30 уколами составила меньше 5%, за исключением содержания подвижных форм калия по Масловой — 11,1% (в 1-м варианте). Следовательно, отбор средней почвенной пробы из 30 уколов вполне достаточен для получения

Таблица 3

**Формы калийных соединений (K_2O мг на 100 г почвы)
в слое 20—40 см (30 уколов)**

Вариант	Баланс K_2O в среднем за 1976—1999 гг.	Водорастворимый	Обменный	Подвижный по		Необменный гидролизуемый	Кислоторастворимый
				Кирсанову	Масловой		
Исх.	—	1,6	7,2	8,8	10,6	135	144
1	-89	1,4	7,3	8,7	9,5	124	133
4	+13	1,7	12,9	14,6	16,5	152	167
5	+53	1,8	14,9	16,7	18,0	168	184
6	+16	1,9	13,0	14,9	15,6	138	153
НСР ₀₅	—	0,1	2,0	1,9	3,2	22,0	16,6

Рис. 1. Содержание K_2O в почве, мг/100 г.

Последовательно слева направо показаны: содержание водорастворимого, обменного, подвижного по Кирсанову и подвижного по Масловой.

высокодостоверных результатов.

При насыщении севооборота удобрениями наблюдалось увеличение содержания подвижных форм калия по Кир-

санову в ощутимых размерах: в 2,1; 2,6 и 1,9 раза соответственно в 4-м, 5-м и 6-м вариантах по сравнению с контролем (слой 0—20 см); по Масловой — в среднем на

2,7 мг/100 г выше содержания K_2O , определенного по методу Кирсанова.

Вниз по профилю почвы абсолютное содержание подвижного калия во всех вариантах убывает, особенно в удобренных. Так, максимальный уровень подвижных форм K_2O (вариант 5) в слое 20-40 см достиг 18,0 и 16,7 мг, а в слое 0—20 см — 27,1 и 25,7 мг/100 г почвы по Масловой и Кирсанову соответственно. Относительное содержание подвижных форм калия по Масловой в контрольном варианте снизилось на 9,0% в слое 0-20 см и на 10,3% — в слое 20-40 см по сравнению с исходным показателем после 24 лет возделывания культур без внесения удобрений. По Кирсанову эти значения составили 7,0 и 6,0% соответственно в слоях 0-20 и 20-40 см. Содержание этих форм калия в 4-м и 6-м вариантах (второй уровень минеральной системы удобрения) было одинаковое, хотя в последнем фосфорные удобрения вносились в запас на 4 года.

Обменный калий определяли по разности между K_2O 0,2 н. НС1 (по Кирсанову) и водорастворимым калием (по Александрову). Изменение его содержания по вариантам и по слоям почвы аналогично подвижным формам. Внесение 263 кг д.в. в сред-

нем на 1 га севооборота (вариант 4) способствовало повышению содержания обменного калия на 10,1 мг/100 г, что составляет 110% к контрольному варианту в слое 0-20 см. Дальнейшее увеличение дозы удобрений на 31 кг в 5-м варианте привело к росту его содержания еще на 2 мг/100 г, что в итоге составило 21,1 мг/100 г.

Содержание обменного калия в слое почвы 20-40 см было меньше лишь на 2,2 мг по сравнению с уровнем в слое 0—20 см в контрольном варианте. При внесении удобрений это различие значительно возросло: до 6,2 мг в 4-м и 5-м вариантах и до 4,6 мг/100 г — в 6-м.

Через 24 года выращивания культур без внесения удобрений (1-й вариант) содержание водорастворимого, обменного и подвижного калия сохранилось на уровне исходного в результате восполнения его за счет необменного гидролизуемого калия (табл. 2, 0-20 и 20-40 см).

На рис. 2 показано относительное увеличение содержания разных форм калия по сравнению с исходным показателем при насыщении севооборота удобрением. Наивысшее увеличение наблюдается в 5-м варианте по всем формам калия: от 83% в подвижной форме до 118%

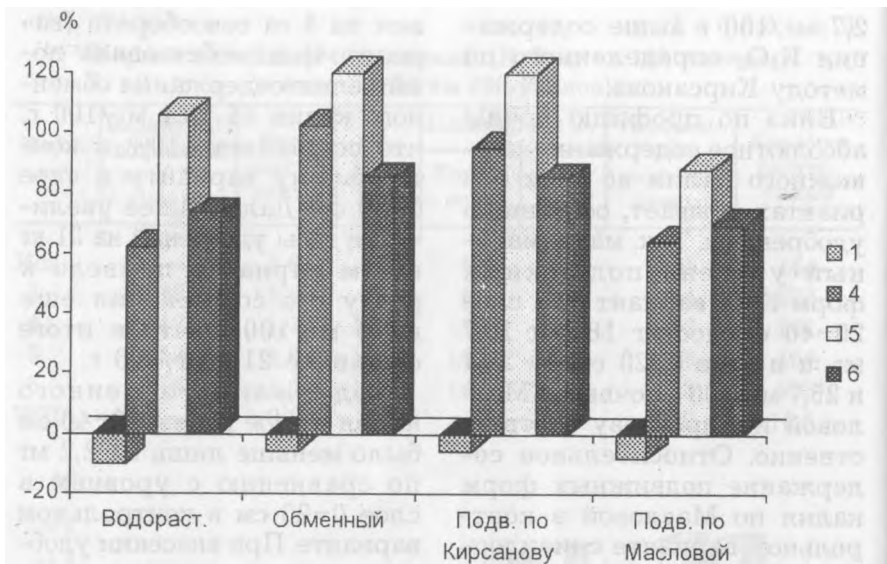


Рис. 2. Относительное увеличение содержания K_2O по отношению к исходному при разных уровнях удобрения.

в обменной. В 4-м варианте увеличение составило 56%, 97, 90 и 58% соответственно водорастворимого, обменного, подвижного по Кирсанову и подвижного по Масловой. Относительное увеличение форм калия по Масловой по сравнению с исходным в 5-м и 6-м вариантах меньше, чем по Кирсанову.

Необменный гидролизуемый калий в почве, который мы определяли по разности (K_2O 2 н. HCl — K_2O по Кирсанову), является резервным для питания растений, поэтому его изучение представляет определенный интерес. При насыщении севооборота удобрениями абсолютное содер-

жание этой формы калия в слое 0-20 см увеличилось до 166 мг в 5-м варианте (второй уровень навозно-минеральной системы удобрения). Относительное увеличение его содержания в 4-м и 5-м вариантах по сравнению с контролем составило соответственно 23 и 37%. По отношению к исходному варианту накопление этой формы калия при применении второго уровня минеральной системы удобрения невелико (6 мг/100 г), зато при втором уровне навозно-минеральной системы (5-й вариант) это значение достигло 24 мг/100 г. В контрольном варианте, где выращивали

сельскохозяйственные культуры в течение 24 лет без внесения удобрений, существенно снизилось содержание обменного гидролизуемого калия в почве (на 21 мг/100 г).

В слое 20-40 см по сравнению со слоем 0-20 см не наблюдалось существенной разницы в содержании обменного гидролизуемого калия. В удобренных вариантах его содержание практически одинаковое (разница меньше НСР).

По сравнению с неудобренным вариантом отмечено увеличение содержания кислоторастворимой формы калия — от 39 до 59 мг/100 г соответственно в 4-м и 5-м вариантах. По сравнению с исходным показателем (черный пар) происходило достоверное снижение кислоторастворимого калия в слое 0-20 см (но не в слое 20-40 см) в контрольном варианте и достоверное его увеличение в 4-м и 5-м вариантах. Снижение его содержания в контроле от исходного составило 22 мг/100 г. Между собой разные слои почвы (0-20, 20-40 см) по содержанию кислоторастворимой формы калия в почве мало различались. Отсюда можно заключить, что применение удобрений на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве постепенно приводит

к закреплению части калия, не использованного растениями, и, наоборот, к высвобождению его при недостатке доступных форм калия для растений.

Выводы

1. Внесение возрастающих доз удобрений способствовало достоверному повышению за 24 года содержания всех форм калия в почве в слоях 0-20 и 20-40 см. При этом относительное увеличение подвижных форм калия достигло наивысшего значения в 5-м варианте по сравнению с исходным показателем и соответственно составило по вариантам 100, 118, 115, 82% в слое 0-20 см и 13, 107, 90, 70% в слое 20-40 см у водорастворимого, обменного, подвижного по Кирсанову и подвижного по Масловой.

2. По содержанию разных форм калия в слое 0-20 см при отборе смешанных почвенных образцов из 70 и 30 проб тростьевым буром не наблюдалось существенной разницы.

3. По сравнению с исходным показателем содержание водорастворимого, обменного, подвижного калия по Кирсанову и по Масловой в контрольном варианте снизилось соответственно на 0,2, 0,6, 0,8 и 1,1 мг на 100 г в слое -20 см.

4. За счет необменного гидролизуемого калия сохранилось исходное содержание подвижных форм калия в почве неудобренного варианта через 24 года возделывания культур.

5. В среднем содержание водорастворимого калия составляло 14,5% к уровню подвижного по Кирсанову, а последнего к уровню кислоторастворимого — 11% и на 13% ниже подвижного калия по Масловой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Возбуцкая А. Е.* Химия почвы. — М.: Высшая школа, 1968, с. 365-366. — 2. *Пчелкин В. У.* Почвенный калий и калийные удобрения. М.: Колос, 1966, с. 40-41. — 3. *Прокошев В. В., Дерюгин И. П.* Калий и калийные удобрения. — М., 2000.

*Статья поступила
4 июня 2002 г.*

SUMMARY

Increasing doses of fertilizers in crop rotations when applied for a long time on soddy-podzolic medium loamy soil favoured higher content of all forms of potassium in the soil (in layers 0-20, 20-40 cm), especially when 69N13P29K+17,5 t of manure on the average per 1 ha (wholly 304 kg of active substance) are applied. Relative increase of movable forms of potassium made up: 100%, 118, 115, 82% in layer of 0~20 cm and 13, 107, 90, 70% in layer of 20-40 cm, correspondingly watersoluble, exchangeable, movable after Kirsanov and movable after Maslova. On the average the content of watersoluble potassium made up 14,5% to movable after Kirsanov, and the latter made up 11% to acidsoluble and was by 13% lower than the level of movable potassium after Maslova.