

КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ С САХАРНОЙ СВЕКЛОЙ

*О.А. Минакова, д.с.-х.н., О.В. Гамуев, к.с.-х.н., О.В. Кустова,
Всероссийский НИИ сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова*

Показано, что длительно применяемые в севообороте с сахарной свеклой удобрения способствовали некоторому увеличению содержания подвижного K_2O и перераспределению его форм в составе почвы. Согласно нашему прогнозу, в будущем содержание обменного калия в большинстве вариантов опыта будет снижаться.

Ключевые слова: калий, почва, формы калия, минеральные удобрения, сахарная свекла.

Роль калия в жизни растений огромна. Он повышает фотосинтетическую активность растений, ускоряет отток и способствует накоплению продуктов фотосинтеза, активизирует функцию более 60 ферментов, повышает скорость усвоения азота, образования белка и снижает содержание нитратов, оптимизирует кислотно-щелочной баланс, усиливает синтез целлюлозы и пектиновых веществ, снижает интенсивность транспирации и повышает водоудерживающую способность листьев, уменьшает поступление радионуклидов в растения [1]. Сахарная свекла выносит большое количество этого элемента (119-208 кг/га), с ростом доз удобрений вынос увеличивается [2]. При его недостатке замедляется отток углеводов из листьев в корнеплоды, а улучшение калийного питания способствует повышению сахаристости и общего сбора сахара [3]. При длительном внесении удобрений в почвах лесостепи отмечается постепенное увеличение содержания обменного калия, а при прекращении внесения более быстрое его уменьшение [4]. Это обусловлено высокой насыщенностью ППК двухвалентными основаниями, которые не вступают в реакции обмена с калием. В этих условиях калий накапливается в необменной форме. Но при более длительном применении больших доз удобрений и навоза уровень обменного калия и пахотном и более глубоких горизонтах заметно повышался, при этом увеличивалась степень подвижности калия [5]. Ряд авторов также отмечают, что использование на культурах минеральных удобрений и навоза значительно повышает содержание обменного калия [6, 7, 8, 9, 10]. Калийные удобрения повышают урожай последующих культур [7, 11]. Оптимизация калийного питания – актуальная проблема сельскохозяйственного производства в связи с повышенными потребностями почв в калии и неэффективности низких доз калийных удобрений из-за высокой фиксации калия почвами [1].

Цель исследований – изучить влияние длительного применения удобрений на калийный режим чернозема выщелоченного в почве под сахарной свеклой.

Методика. Исследования проводили в 2009-2011 гг. в стационарном опыте по внесению удобрений в зерносвекловичном севообороте (год закладки – 1936), чередование культур: черный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, ячмень, клевер 1-го года, озимая пшеница, сахарная свекла, однолетние травы, овес. Минеральные удобрения (нитроаммофоска 16:16:16, 40 %-ная калийная соль) вносили под основную обработку (глубокую вспашку) сахарной свеклы, полуразложившийся навоз КРС – в паровое поле (табл. 1). Почва опытного участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднесиловый тяжелосуглинистый на тяжелом карбонатном суглинке. Пробы почвы отбирали под сахарной свеклой, выращенной в паровом звене севооборота.

Подвижный K_2O почвы определяли по Чирикову (ГОСТ 26240-91), водорастворимый – в водной вытяжке (Важенин, 1975), обменный – по Масловой, необменный – по Пчелкину, валовой – по Смитю, степень подвижности – солянокислым методом.

1. Схема стационарного опыта по внесению минеральных удобрений и навоза в зерносвекловичном севообороте

№ варианта	Внесение минеральных удобрений, кг д.в./га			Навоз в пар, т/га	Уровень насыщенности севооборотной площади удобрениями, кг/га			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	навоз
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	45	60	45	25	10	13,3	10	2,8
3	90	120	90	25	20	26,6	20	2,8
4	135	180	135	25	30	39,9	30	2,8
5	45	60	90	25	10	13,3	20	2,8
6	120	120	120	50	27	27	27	5,6
7	45	60	45	50	10	13,3	10	5,6
8	190	190	190	0	42	42	42	0

Результаты и их обсуждение. Выявлено, что в начале вегетации не произошло повышения содержания обменного K_2O в слое 0-20 см, на фоне $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза отмечалось снижение его на 17,2-19,0 % (табл. 2). В слое почвы 20-40 см содержание калия в удобренных вариантах было ниже, чем на контроле на 4,2-17,2 %.

2. Динамика содержания подвижного K_2O в почве под сахарной свеклой

Вариант опыта	Глубина почвы, см	Содержание подвижного калия, мг/100 г почвы		
		начало вегетации	середина вегетации	перед уборкой
Без удобрений	0-20	22,8	20,6	18,0
	20-40	22,5	21,3	16,7
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0-20	23,8	24,0	20,8
	20-40	22,1	24,4	18,2
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0-20	23,0	23,6	21,6
	20-40	21,1	21,5	21,7
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0-20	20,5	24,0	22,4
	20-40	18,9	21,4	20,4
$N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза	0-20	22,3	21,1	23,1
	20-40	21,6	19,8	22,2
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0-20	21,5	21,9	21,7
	20-40	19,2	19,9	23,1
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0-20	21,3	21,7	20,9
	20-40	19,4	20,7	19,9
НСР ₀₅			3,0	

В середине вегетации изменение содержания калия по сравнению с началом вегетации было незначительным, а относительно контроля в слое почвы 0-20 см наблюдалось повышение на 5,3-16,5 %, в наибольшей степени при внесении $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза. В слое почвы 20-40 см произошло его увеличение на 14,5 % при внесении $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза и снижение на 7,0-7,6 % на фоне $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза.

Ко времени уборки отмечено снижение содержания доступного калия относительно середины вегетации: в слое почвы 0-20 см на 3,8-15,4 %, в слое 20-40 см – на 4,9-34,1%, в

наибольшей степени на контроле и при $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза. Перед уборкой в слое почвы 0-20 см повышение относительно контроля в удобренных вариантах было на 15-28,3 %, в слое 20-40 см – на 9,0-38,3 %, в наибольшей степени – при внесении $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза.

Таким образом, применение удобрений оказало влияние на повышение содержания обменного K_2O в середине вегетации и перед уборкой на 5,3-38,3 %, к уборке произошло снижение его концентрации по сравнению с начальными периодами развития растений вследствие потребления.

3. Формы K_2O в почве под сахарной свеклой под влиянием длительного применения удобрений, мг/100 г

Вариант опыта	Слой почвы, см	Водорастворимый	% от валового	Обменный	% от валового	Необменный	% от валового	Валовой
Без удобрений	0-20	7,4	0,71	21,8	2,10	479	46,1	1040
	20-40	5,4	0,48	19,8	1,76	486	43,4	1120
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0-20	7,5	0,70	24,7	2,20	473	44,2	1070
	20-40	7,1	0,62	24,1	2,11	585	51,3	1140
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0-20	5,1	0,44	27,3	2,35	509	43,9	1160
	20-40	5,7	0,49	22,8	1,96	516	44,5	1160
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0-20	6,2	0,54	19,4	1,69	466	40,5	1150
	20-40	4,8	0,42	19,1	1,69	442	39,1	1130
$N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза	0-20	5,1	0,49	21,1	2,02	489	47,0	1040
	20-40	3,5	0,31	20,9	1,87	476	42,5	1120
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0-20	6,2	0,56	24,3	2,04	482	44,2	1090
	20-40	2,8	0,26	23,3	2,20	413	39,0	1060
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0-20	8,6	0,76	29,2	2,61	479	42,8	1120
	20-40	6,2	0,52	21,4	1,78	482	40,2	1200
НСР ₀₅		0,4	-	1,7	-	32,0	-	80,0

Изучение содержания различных форм K_2O в почве стационарного опыта выявило, что в слое 0-20 см содержание водорастворимого калия в удобренных вариантах было ниже, чем на контроле, кроме фона $N_{190}P_{190}K_{190}$ (рост 16,2 %), в слое почвы 20-40 см повышение содержания этой формы элемента составило 5,6-31,5 % при внесении $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и отмечено снижение при внесении $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза на 12,5-92,9 % (табл. 3). Эта форма калия по отношению к содержанию валового K_2O была незначительной. Повышение её относительно контроля составило 8,3-29,2 % в слое 0-20 см при внесении $N_{190}P_{190}K_{190}$, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и 7,0 % при $N_{190}P_{190}K_{190}$.

Абсолютная величина содержания обменного калия увеличивалась в слое почвы 0-20 см на 11,5-33,9 %, в слое 20-40 см на 5,6-21,7 % (в наибольшей степени при внесении $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза и $N_{190}P_{190}K_{190}$). Только в слое 20-40 см отмечалась тенденция к росту на 6,2-25,0 % на фоне $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза.

Содержание обменного K_2O не было повышено относительно неудобренного варианта в слое 0-20 см. В слое 20-40 см на фоне $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза был отмечен его рост на 6,2-20,3 %, что, возможно, связано со значительной фиксацией небольших доз элемента в необменном состоянии, на фоне $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза – снижение на 9,9-17,7 %. В слое 0-20 см происходило снижение валового K_2O на 4,3-13,8 %, кроме $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза, и имела тенденция к снижению в слое 20-40 см на 8,0-11,3 % на фонах $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$.

Содержание валового K_2O в слое 0-20 см в вариантах с удобрениями возрастало на 4,8-11,5 %, в слое 20-40 см

наблюдалась тенденция к росту на 3,6-7,1 % при внесении $N_{190}P_{190}K_{190}$ и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза.

Таким образом, длительное применение удобрений способствует перераспределению содержания различных форм K_2O в составе почвы, выражающееся в росте обменного и, отчасти, водорастворимого и снижении необменного K_2O при одновременном росте валового. Наибольшие изменения произошли в слое почвы 20-40 см.

Изучение степени подвижности соединений K_2O в черноземе выщелоченном выявило, что динамика элемента лучше характеризуется содержанием калия в наиболее подвижных фракциях, соответствующая наименьшим концентрациям равновесного раствора. Общие запасы подвижного калия характеризовались содержанием элемента, определяемого при наибольшей равновесной концентрации кислоты (табл. 4). При концентрации кислоты 0,1 н. был отмечен рост K_2O в 1,83-2,67 раза относительно контроля, в наибольшей степени при внесении $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза. При концентрации кислоты 0,15 н. количество калия возросло в 1,55-2,66 раза, 0,2 н. – в 1,33-3,16 раза при внесении $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза. Обработка 0,4 н. кислотой почвы привела к росту содержания K_2O на 13,1-67,3 %, кроме вариантов $N_{190}P_{190}K_{190}$ и $N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза.

4. Степень подвижности K_2O почвы стационарного опыта, мг-экв/100 г почвы

Вариант опыта	Концентрация кислоты				
	0,05 н.	0,1 н.	0,15 н.	0,2 н.	0,4 н.
Без удобрений	0,008	0,012	0,029	0,043	0,245
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0,001	0,026	0,045	0,057	0,455
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0,002	0,022	0,070	0,112	0,344
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0,004	0,025	0,048	0,063	0,277
$N_{45}P_{45}K_{90} + 25$ т/га навоза	0,006	0,032	0,077	0,102	0,116
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0,006	0,022	0,059	0,136	0,410
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0,005	0,022	0,047	0,081	0,114
НСР ₀₅	0,0003	0,0015	0,004	0,006	0,02

Таким образом, при внесении удобрений в почве возрастает концентрация и, соответственно, увеличивается подвижность форм K_2O , вытесняемых кислотой средней концентрации (0,15-0,2 н.).

Анализ содержания обменного калия в слое почвы 0-20 см стационарного опыта в течение 8 ротаций севооборота выявил, что его концентрация имела тенденцию к значительному росту в удобренных вариантах в 1-3 ротациях и менее значительному – в 7-8 ротациях, что связано с необменным поглощением элемента и запакровкой в кристаллическую решетку глинистых минералов (рис.). Отмечалось снижение уровня K_2O в 4-8 ротациях, особенно на фоне $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза и $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза в пар. Это связано, видимо, как с недостаточным уровнем поступления K_2O , не компенсирующим значительный вынос элемента, так и с необменным поглощением элемента глинистыми минералами почвы.

На основании 72-летних данных по содержанию обменного калия в почве под сахарной свеклой был составлен прогноз содержания элемента в виде уравнений линейной регрессии. На основании их установлено, что при существующих дозах удобрений количество обменного K_2O будет снижаться – наиболее быстро на фоне $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза и $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза (табл. 5). Это связано с низкой ком-

пенсацией удобрениями и высоким выносом культурами. Некоторый прирост содержания этого элемента будет отмечаться только на фоне $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза.



Рис. Содержание обменного K_2O в почве под сахарной свеклой

5. Уравнения линейной регрессии для расчета прогноза содержания обменного калия в слое почвы 0-20 см

Вариант опыта	Уравнение	R
Контроль	$Y = 13,1 - 0,121X$	0,726
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза в пару	$Y = 13,8 - 0,196X$	0,793
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза в пару	$Y = 15,3 - 0,135X$	0,897
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза в пару	$Y = 16,5 - 0,216X$	0,619
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза в пару	$Y = 11,7 + 0,056X$	0,728

Примечание. X – число лет, прошедшее от последнего периода наблюдений (2004 г.); Y – урожайность корнеплодов, т/га.

К 8-й ротации баланс калия в севообороте во всех вариантах оказался отрицательным.

Наиболее дефицитным он был в неудобренном варианте и при внесении $N_{10}P_{13,3}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, $N_{20}P_{26,6}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{33}P_{33}K_{33}$. Поступление элемента с минеральными удобрениями и навозом не компенсировало вынос с растущим урожаем.

На основании изложенных данных можно заключить, что длительно применяемые в севообороте с сахарной свеклой удобрения способствовали увеличению содержания подвижного K_2O и перераспределению форм калия в составе черно-

зема выщелоченного в направлении роста содержания водорастворимого и обменного, наиболее значительно в слое 20-40 см, увеличивая их доступность растениям.

Вариант опыта	Баланс, кг/га	Вариант опыта	Баланс, кг/га
Без удобрений	-520	$N_{10}P_{13,3}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	-368
$N_{10}P_{13,3}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	-477	$N_{27}P_{27}K_{27} + 5,6$ т/га навоза	-253
$N_{20}P_{26,6}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	-413	$N_{10}P_{13,3}K_{10} + 5,6$ т/га навоза в пар	-371
$N_{30}P_{40}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	-359	$N_{33}P_{33}K_{33}$	-453
		НСР ₀₅	30

Литература

1. Лухальская Н.В., Сычев В.Г., Собачкин А.А., Павлова Н.И. Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений в оптимальных и неблагоприятных условиях. - М.: ВНИИА, 2009. - 192 с.
2. Кураков В.И., Минакова О.А. Баланс основных элементов питания в зерносвекловичном севообороте при длительном применении удобрений // Сахарная свекла. - 2006. - № 2. - С. 32-35.
3. Бердников В.А., Колягин Ю.С. Влияние природных бентонитов и минеральных удобрений на накопление сахара в корнеплодах // Сахарная свекла. - 2007. - № 5. - С. 27-28.
4. Минеев В.Г. Тенденции изменения калийного состояния почв и экологические функции калия почвы и калийных удобрений / Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений. - М.: ЦИНАО, 2002. - 246 с.
5. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. - М.: ЦИНАО, 2003.
6. Кураков В.И. Урожайность сахарной свеклы при удобрении // Химизация сельского хозяйства. - № 5. - 1990. - С. 60-62.
7. Шафран С.А. Использование метода для прогнозирования последствий удобрений // Плодородие. - № 1. - 2004. - С. 13-14.
8. Соловченко В.Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. - Белгород: Отчий край, 2005. - С. 206-207.
9. Рымарь В.Т., Мухина С.В., Балонова Е.А., Супрун С.В., Шамрай Н.В. Биологические свойства почвы под сахарной свеклой в зависимости от различных систем удобрения // Сахарная свекла. № 5. - 2009. - С. 11-13.
10. Сорокин А.Е. Влияние технологии возделывания яровой пшеницы, ячменя и кормовых бобов на агрохимические свойства почвы // Плодородие. - № 3. - 2010. - С. 24-25.
11. Удобрения, их свойства и способы использования / Под ред. Д.А.Коренькова. - М.: Колос, 1982 - 415 с.

POTASSIUM STATUS OF LEACHED CHERNOZEM IN A SUGAR BEET CROP ROTATION AT THE LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS

O.A. Minakova, O.V. Gamuev, O.V. Kustova
Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet, Russian Agricultural Academy,
VNIIS 86, Ramon' raion, Voronezh oblast, 396030 Russia

It has been shown that the long-term application of fertilizers in a sugar beet crop rotation favored some increase in the content of mobile K_2O and its redistribution in the soil. According to our forecast, the content of exchangeable potassium in most of the experiment treatments would decrease in the future.

Keywords: potassium, soil, potassium forms, mineral fertilizers, sugar beet.