

УДК 631.8:631.811.3:631.445.4

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СОЛОМЫ В СЕВООБОРОТЕ НА КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

¹Воронкова Н.А., ²Храмцов И.Ф.

¹Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: voronkova.67@bk.ru;

²ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Омск

В длительном стационарном опыте (1991–2008 гг.) на черноземе, выщелоченном в южной лесостепи Западной Сибири установлено, что содержание обменного калия в почве отличается определенной стабильностью. Коэффициенты вариации содержания его в почве для слоя 0–20 см по полям севооборота, годам и вариантам опыта не превышают 10%. За три ротации севооборота вынос калия с урожаем значительно превышал убыль обменного калия из почвы, что связано с участием в питании растений необменных его форм. Интенсивность мобилизации необменного калия почвы в неудобренном варианте составляет 30,0 кг/га в год. Существенное положительное влияние на мобилизацию необменных форм калия почвы оказало систематическое внесение в севообороте азотно-фосфорных удобрений ($N_{12-17}P_{18-34}$), потребление возросло на 51–63 кг/га (10–13%). При внесении калийных удобрений (K_{18}) совместно с NP вынос калия вырос на 128 кг/га, что на 26–28% выше, чем в варианте без удобрений. Баланс калия дефицитный с интенсивностью 5–45%. Систематическое внесение соломы в севообороте компенсирует расход калия.

Ключевые слова: агрохимия, удобрения, почва, калийный режим, урожайность, сельскохозяйственные культуры, эффективность

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS AND STRAW ON THE POTASH REGIME OF THE LICHED CHERNOZEM SOIL AT LONG-TERM USING IN THE CROP ROTATION

¹Voronkova N.A., ²Khramtsov I.F.

¹Omsk State Polytechnic University, Omsk, e-mail: voronkova.67@bk.ru;

²State Scientific Establishment «Siberian Research Institute of Agriculture, Siberian Branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences», Omsk

In long stationary experience (1991–2008) on the leached chernozem soil in the southern forest-steppe of Western Siberia it is established that the content of exchange potassium in the soil differs in a certain stability. Variation coefficients of its contents in the soil for a layer of 0–20 cm on crop rotation fields, years and experience variants don't exceed 10%. For three crop rotation a potassium removal with a crop yield considerably exceeded a decrease of exchange potassium from the soil that is connected with participation of the fixed potassium forms in the plants feed. Intensity of fixed potassium mobilization in the soil of unfertilized variant makes 30,0 kg/hectare a year. Systematic application of nitrogen-phosphorus fertilizers ($N_{12-17}P_{18-34}$) in a crop rotation had essential positive impact on mobilization of the fixed soil potassium, its consumption increased on 51–63 kg/hectare (10–13%). Application of potash fertilizers (K_{18}) together with NP increased potassium removal by 128 kg/hectare that was 26–28% higher, than in no treatment variant. Potassium balance was scarce with intensity of 5–45%. Systematic straw application compensated a potassium consumption in a crop rotation.

Keywords: agrochemistry, fertilizers, soil, potash mode, yield, agricultural crops, efficiency

Калий – один из основных элементов минерального питания растений, он участвует в выполнении важных физиологических функций: накоплении углеводов, обмене азотистых веществ, регуляция коллоидного состояния плазмы растительных клеток, поступлении воды, фотосинтезе, ферментных реакциях и других процессах [11; 12]. В этой связи исследования, посвященные изучению поступления калия в растения, трансформации и аккумуляции его в почвах, представляют интерес для науки и, несомненно, актуальны.

Почвы Западной Сибири богаты калием, валовое содержание колеблется от 1,2 до 2,5%. Более 2/3 пашни имеет высокое и очень высокое содержание подвижного калия и лишь около 3% почв слабо обеспечено этим элементом [5, 12]. Однако исследования

Г.А. Жукова, 1985 [5], свидетельствуют, что баланс калия в земледелии западносибирского региона на протяжении уже длительного времени глубоко дефицитен, интенсивность баланса калия не превышает 47%. Урожай сельскохозяйственных культур формируется в основном за счет калия почвенных ресурсов. Причем в последнее время в связи с введением в севообороты высокопродуктивных, интенсивных сортов сельскохозяйственных культур, применением только азотно-фосфорных удобрений наблюдается положительная реакция культур на применение калийных удобрений.

Изучение взаимодействия калийсодержащих удобрений с почвой проводилось многими исследователями, но лишь немногие работы посвящены изучению калийного режима при длительном применении

удобрений в условиях стационарных опытов. Кроме того, данные по эффективности вносимого с удобрениями калия носят нередко разноречивый характер, так как работы проводились на почвах с различными свойствами и применялись разные методы исследований. Целью наших исследований было изучить влияние длительного систематического применения минеральных удобрений и соломы на калийный режим и баланс этого элемента в черноземе выщелоченном.

Материалы и методы исследования

Исследования по изучению влияния минеральных удобрений и соломы на калийный режим почвы проводились на опытном поле Сибирского НИИ сельского хозяйства в длительном стационарном опыте заложенном в 1988 году на основе пятипольного зернопарового севооборота с чередованием культур: пар – пшеница – горох (с 1996 г. – соя) – пшеница – ячмень. Севооборот развернут во времени и в пространстве всеми полями. Опыт двухфакторный (4×2).

Схема опыта следующая:

Фактор А – внесение минеральных удобрений: 1) без удобрений; 2) $N_{12}P_{18}^*$; 3) $N_{17}P_{34}^*$; 4) $N_{30}P_{54}K_{18}$ на 1 га пашни. *Доза минеральных удобрений из расчета на кг д.в./га севооборотной площади.

Фактор С – внесение соломы: 1) без соломы; 2) солома, вносится в количестве, соответствующему урожаю.

Повторность в опыте четырехкратная. Площадь деланки 160 м² (8×20).

Минеральные удобрения вносились локально до посева. Солома перед внесением предварительно измельчалась и затем заделывалась под основную обработку почвы.

Почва опытного участка – чернозем среднесуглинистый, среднегумусовый, тяжелосуглинистый, с содержанием гумуса 6,4–6,6% (по Тюрину), подвижного фосфора и обменного калия соответственно 105–128 и 298–314 мг/кг почвы (по Чирикову). Сумма обменных катионов составляла 32,1 мг-экв/100 г почвы, в составе катионов доля Ca^{2+} – 89%, Mg^{2+} – 11%, Na^+ менее 1%, pH_{kcl} 6,4–6,7.

В опыте высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур. Посев и учет урожайности культур проводили в оптимальные сроки. Агротехника возделывания культур – общепринятая для зоны.

Определение обменного калия в почве проводили по методу Чирикова с использованием пламенного фотометра [1]. Результаты исследований обработаны статистическим методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1979) [4].

Результаты исследований и их обсуждение

Наблюдения за калийным режимом в течение трех ротаций зернопарового севооборота при систематическом применении минеральных удобрений и соломы показали, что содержание обменного калия в почве не существенно изменилось в зависимости от культуры, изучаемых факторов и ротации севооборота (табл. 1).

Содержание обменного калия в изучаемой почве отличалось определенной стабильностью. Дисперсионный анализ данных показал, что коэффициенты вариации содержания обменного калия в почве для слоя 0–20 см по полям севооборота, годам и вариантам опыта не более 6%, по Б.А. Доспехову (1979) [4], если коэффициент вариации не превышает 10%, изменчивость принято считать незначительной.

Таблица 1

Содержание обменного калия в слое почвы 0–20 см после трёх ротаций севооборота в зависимости от минеральных удобрений и соломы (1991–2005 гг.)

Удобрения	Солома	Содержание K_2O , мг/кг			
		исходное	± к исходному после		
			I ротации	II ротации	III ротации
Без удобрений	C_0	314	– 9	– 14	– 21
	C_1	301	8	– 1	– 15
$N_{12}P_{18}$	C_0	293	5	0	– 13
	C_1	306	– 6	11	– 23
$N_{17}P_{34}$	C_0	302	2	11	– 4
	C_1	289	17	9	6
$N_{30}P_{54}K_{18}$	C_0	301	2	3	24
	C_1	298	6	1	5
НСР ₀₅ ротации			$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$
НСР ₀₅ удобрений			$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	20
НСР ₀₅ соломы			$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

Примечание. C_0 – без внесения соломы; C_1 – с внесением соломы.

Несущественные изменения содержания обменного калия в черноземах при систематическом внесении удобрений, даже при положительном балансе, связано, по мнению В.Н. Якименко (2003) [12], с высокой насыщенностью поглощающего комплекса черноземов двухвалентными основаниями, препятствующими поглощению калия. Большое количество органического вещества, сравнительно с другими почвами, условия недостаточного увлажнения и высокие температуры в летний период в степной и лесостепной зонах Западной Сибири способствует необменному поглощению калия в пахотном горизонте черноземов. На интенсивность фиксации калия в черноземах также влияют процессы нитрификации, уменьшающие количество конкурирующего иона NH_4^+ в почвенном растворе и минералогический состав коллоидной фракции (преобладание монтмориллонита) [2]. В черноземных почвах, согласно исследованиям В.У. Пчелкина (1966) [10], в необменную форму фиксируется от 10–20 до 50–80% калия, внесенного с удобрениями.

На основании полученных данных по содержанию обменного калия, следует отметить тенденцию изменения этого элемента в вариантах опыта. Незначительное уменьшение обменного калия в почве в слое 0–20 см наблюдалось после третьей ротации севооборота во всех вариантах без применения калийных удобрений на 0,4–8,0%. Снижение продуктивности сельскохозяйственных культур в этих вариантах не отмечалось.

Химические анализы растений показали, что вынос калия с урожаями за три ротации севооборота значительно превышал убыль обменного калия из почвы, что связано с участием в питании растений необменных его форм (табл. 2). Необменный калий, находясь в почве в динамичном равнове-

сии с подвижными его формами, вероятно, постепенно переходил в обменную, затем в водорастворимую форму, и впоследствии использовался растениями.

Высокое потребление необменного калия (90–100%) было во всех вариантах опыта. Интенсивность мобилизации необменного калия почвы очень высокая и составляла в контрольном варианте 30,0 кг/га в год. Аналогичные результаты получены Л.И. Кораблёвой и А.Д. Слуцкой (1978) [8] на дерново-луговых и луговых почвах, доля необменного калия в выносе была на уровне 62–100%. В Молдавии на карбонатном черноземе К.Л. Загорча (1990) [6] установил, что наиболее высокое потребление необменного калия было в варианте без удобрений (81–88%).

Однако наиболее существенное положительное влияние на мобилизацию обменных форм калия почвы для питания растений оказало систематическое внесение в севообороте азотно-фосфорных удобрений, без калия, за 15 лет потребление в варианте $\text{N}_{12-17} \text{P}_{18-34}$ возросло на 51–63 кг/га (10–13%). Систематическое внесение калийных удобрений (K_{18}) совместно с NP оказывало стимулирующее действие на потребление растениями необменного калия. Вынос калия вырос на 128 кг/га, что на 26–28% выше, чем в вариантах без удобрений, и на 53–77 кг/га (10–14%) в сравнении с вариантами, где вносили только азотно-фосфорные удобрения. Исходя из вышесказанного, на черноземных почвах растения в большей степени потребность в калийном питании реализуют за счет обменной и необменной формы калия в почве. При использовании измельченной соломы зерновых культур интенсивность мобилизационных процессов была на уровне контроля.

Таблица 2
Потребление растениями и изменение форм калия в слое почвы 0–20 см при различных системах удобрений (1991–2005 гг.)

Внесено на 1 га севооборотной площади	Внесено K_2O с удобрениями, кг/га	Исходное содержание обменного K_2O в почве + калий удобрения, кг/га	$\pm \text{K}_2\text{O}$ в почве, кг/га	Вынос K_2O , кг/га	Усвоено из необменных форм K_2O почвы	
					кг/га	% от выноса
Без удобрений	–	691	– 46	496	450	90,7
Солома	347	1009	– 33	509	476	93,9
$\text{N}_{12} \text{P}_{18}$	–	645	– 29	547	518	94,7
$\text{N}_{12} \text{P}_{18} + \text{солома}$	361	1034	– 51	527	476	90,3
$\text{N}_{17} \text{P}_{34}$	–	664	– 9	559	550	98,4
$\text{N}_{17} \text{P}_{34} + \text{солома}$	403	1039	– 9	579	570	98,4
$\text{N}_{30-54} \text{P}_{18} \text{K}_{18}$	270	932	53	624	624	100
$\text{N}_{30-54} \text{P}_{18} \text{K}_{18} + \text{солома}$	696	1352	11	613	613	100

Исследованиям изменений содержания калия по профилю почвы при их сельскохозяйственном использовании посвящены работы В.В. Прокошева, И.П. Дерюгина (2000) [9], Н.А. Воронковой (2014) [3] и других. В целом можно сказать, что имеющиеся литературные данные по изменению содержания обменного калия в подпахотном горизонте агроценозов достаточно противоречивы. Вероятно, это связано с различиями в минералогическом и гранулометрическом составе изучаемых почв, а также варьированием доз вносимых калийных удобрений, возделываемых культур в севообороте и их урожайности.

Содержание обменного калия в слое почвы 20–40 см существенно не изменилось в сравнении с исходным его количе-

ством и по вариантам применения удобрений (табл. 3).

В настоящее время опубликовано достаточное количество работ по круговороту и балансу калия в зависимости от агрохимической характеристики почвы, систем применения удобрений, возделываемых культур и агротехнологий в севооборотах и т.д. [7; 3]. Баланс калия, сложившийся в нашем длительном полевом опыте на черноземной почве, представлен в табл. 4. Дефицитный баланс от –22,2 до –36,9 кг/га с интенсивностью 5–45 % сложился в севообороте в вариантах без удобрений и на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений, так как вынос калия растениями не компенсировался.

Таблица 3

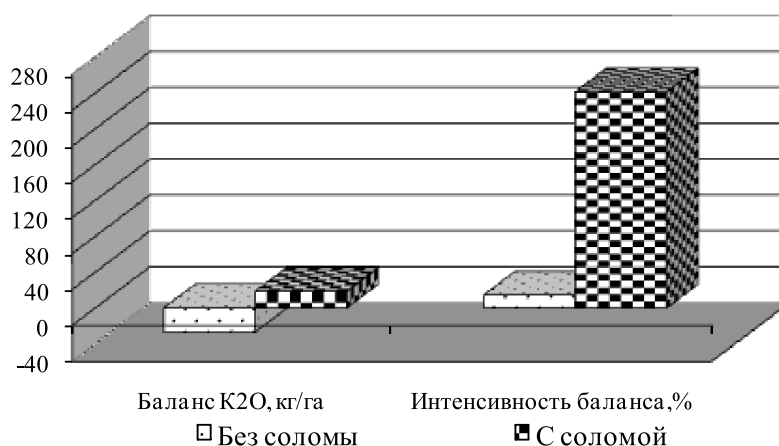
Содержание обменного калия в слое почвы 20–40 см после третьей ротации севооборота в зависимости от удобрений (1991–2005 гг.)

Вариант	Внесено K_2O с удобрениями за 3 ротации, кг/га	Содержание K_2O , мг/кг		
		исходное	после III ротации	± к исходному
Без удобрений	0	221	218	3
Солома	347	219	210	-9
$N_{12}P_{18}$	-	194	208	14
$N_{12}P_{18}$ + солома	361	195	211	16
$N_{17}P_{34}$	-	194	188	6
$N_{17}P_{34}$ + солома	403	224	205	19
$N_{30}P_{54}K_{18}$	270	213	218	5
$N_{30}P_{54}K_{18}$ + солома	696	214	225	11
HCP_{05} удобрений			$F_{\phi} < F_{\tau}$	
HCP_{05} соломы			$F_{\phi} < F_{\tau}$	
HCP_{05} ротации				$F_{\phi} < F_{\tau}$

Таблица 4

Баланс (кг/га) и интенсивность (%) баланса калия при длительном применении минеральных удобрений и соломы в зернопаровом севообороте в слое почвы 0–20 см, (1991–2005 гг.)

Удобрения	Солома	Баланс K_2O , кг/га севооборотной площади, ±	Интенсивность баланса, %
Без удобрений	C_0	– 22,2	5
	C_1	+ 12,3	203
$N_{12}P_{18}$	C_0	– 24,9	4
	C_1	+ 12,9	206
$N_{17}P_{34}$	C_0	– 36,9	3
	C_1	+ 15,0	216
$N_{30}P_{54}K_{18}$	C_0	– 23,5	45
	C_1	33,4	337



Влияние соломы на баланс и интенсивность баланса калия в зернопаровом севообороте в слое почвы 0–20 см, (1991–2005 гг.)

При использовании соломы в севообороте наблюдался положительный баланс калия (12,3 кг/га) с интенсивностью 203 %. Следует отметить, что комплексное применение соломы с азотно-фосфорными удобрениями обеспечивает бездефицитный баланс калия в сравнении с вариантами НР. На рисунке отчетливо видно значение соломы в регулировании калийного режима почвы. Систематическое возвращение соломы в почву является весомым вкладом в восполнение почвенных запасов этим зольным элементом.

Заключение

Таким образом, длительное систематическое применение минеральных удобрений и соломы в севообороте существенно повлияло на накопление в выщелоченном черноземе обменных форм калия, что обусловлено высокой динамичностью равновесия между формами почвенного калия. Относительная стабильность в содержании обменного калия в почве на протяжении 15–18 лет при ежегодном выносе (25–37 кг/га) и постоянном дефицитном балансе в вариантах без внесения калийсодержащих удобрений указывает на высокую мобилизационную активность чернозема выщелоченного и хорошую выраженность в ней возобновления его запасов за счет необменных форм.

В мобилизации необменных форм калия почвы большое значение имело систематическое внесение минеральных удобрений. Потребление калия урожаем сельскохозяйственных культур в этих вариантах увеличилось на 10–16 % в срав-

нии с вариантом без удобрений. Внесение калийных удобрений в составе НРК оказывало стимулирующее действие на трансформационные процессы в почве. Вынос калия увеличился на 26–28 %.

Хорошими компенсационными свойствами в отношении калия обладает солома. Как при раздельном внесении соломы, так и в сочетании с азотно-фосфорными удобрениями, баланс калия бездефицитный.

Список литературы

1. Агрохимические методы исследования почв/ АН СССР [и др.]. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1975. – 494 с.
2. Бурлакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза/ Л.М. Бурлакова. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. – 196 с.
3. Воронкова Н.А. биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография / Н.А. Воронкова; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014 – 188 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник/ Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
5. Жуков Г.А. Проблемы химизации земледелия Сибири / Г.А. Жуков. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 155 с.
6. Загорча К.Л. Оптимизация системы удобрения в полевых севооборотах / К.Л. Загорча. – Кишинев: Штиинца, 1990. – 287 с.
7. Кириллова Г.Б. Влияние различных систем удобрения культур в севообороте на калийный режим дерново-подзолистой почвы / Г.Б. Кириллова, Ю.П. Жуков // Агрохимия. – 2005. – № 9. – С. 13–19.
8. Кораблева Л.И. Мобилизация необменного калия в почвах с высокой фиксирующей способностью /Л.И. Кораблева, А.Д. Слуцкая //Почвоведение. – 1978. – № 8. – С. 83–89.
9. Прокошев В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.

10. Пчёлкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчёлкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.
11. Ониани О.Г. Агрохимия калия / О.Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 199 с.
12. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.

References

1. Agrohimičeskie metody issledovanija pochv/ AN SSSR [i dr.]. 5-e izd., dop. i pererab. M.: Nauka, 1975. 494 p.
2. Burlakova L.M. Plodorodie altajskikh chernozemov v sisteme agrocenoza / L.M. Burlakova. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1984. 196 p.
3. Voronkova N.A. biologičeskie resursy i ih znachenie v sohranении почвенного плодородия i povyšении produktivnosti agrocenozov Zapadnoj Sibiri: monografija / N.A. Voronkova; Minobrnauki Rossii, OmGTU. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2014 188 p.
4. Dospëhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statističeskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij): uchebnik/ B.A. Dospëhov. M.: Kolos, 1979. 416 p.
5. Zhukov G.A. Problemy himizacii zemledelija Sibiri / G.A. Zhukov. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1985. 155 p.
6. Zagorcha K.L. Optimizacija sistemy udobrenija v polevyh sevooborotah / K.L. Zagorcha. Kishinev: Shtiinca, 1990. 287 p.

7. Kirillova G.B. Vlijanie razlichnyh sistem udobrenija kul'tur v sevooborote na kalijnyj rezhim dërnovo-podzolistoj pochvy / G.B. Kirillova, Ju.P. Zhukov // Agrohimiija. 2005. no. 9. pp. 13–19.

8. Korableva L.I. Mobilizacija neobmennogo kalija v pochvah s vysokoj fiksirujushhej sposobnost'ju / L.I. Korableva, A.D. Sluckaja // Pochvovede-nie. 1978. no. 8. pp. 83–89.

9. Prokoshev V.V. Kalij i kalijnye udobrenija / V.V. Prokoshev, I.P. Derjugin. M: Ledum, 2000. 185 p.

10. Pchjolkina V.U. Pochvennyj kalij i kalijnye udobrenija / V.U. Pchjolkina. M.: Kolos, 1966. 336 p.

11. Oniani O.G. Agrohimiija kalija / O.G. Oniani. M.: Nauka, 1981. 199 p.

12. Jakimenko V.N. Kalij v agrocenozah Zapadnoj Sibiri / V.N. Jakimenko. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2003. 231 p.

Рецензенты:

Бойко В.С., д.с.-х.н., заведующий отделом земледелия ФГБНУ «СибНИИСХ», г. Омск;

Юшкевич Л.В., д.с.-х.н., заведующий лабораторией черноземной лесостепи ФГБНУ «СибНИИСХ», г. Омск.

Работа поступила в редакцию 02.02.2015.