

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ДИНАМИКУ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И КАЛИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

М.Г. Мельникова, О.А. Минакова, д.с.-х.н., ГНУ Всероссийский НИИ сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова Россельхозакадемии

Приведены результаты длительного полевого опыта с сахарной свеклой на черноземе выщелоченном лесостепи ЦЧР. Показано влияние органических и минеральных удобрений на обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия, их динамику во времени и пространстве. Рассчитаны критерии связи в системе удобрения-питательный режим почвы-продуктивность культуры и их вероятностные параметры.

Ключевые слова: сахарная свекла, фосфатный режим, калийный режим, динамика, критерии достоверности, удобрения, продуктивность.

Для разработки научных основ системы применения удобрений в севооборотах различной специализации важное значение имеет информация о закономерностях минерального питания растений и эффективности удобрений в условиях длительных стационарных опытов. Краткосрочные полевые опыты, результаты которых сыграли положительную роль на первом этапе химизации земледелия, уже не могут дать исчерпывающий ответ на многие вопросы, возникающие при интенсивном поступлении в почву возрастающего количества питательных веществ. В первую очередь это касается оптимизации минерального питания растений с учетом взаимодействия высоких концентраций химических соединений в почве и последствия ранее внесенных удобрений.

На черноземах ЦЧР фосфор, как правило, стоит на втором месте после азота по доле участия в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур.

Поведение фосфора в почве отличается от поведения азота и может прогнозироваться с учетом свойств почвы и доз удобрений. В большинстве случаев без применения удобрений наблюдается убыль подвижного и валового фосфора во всех типах почв [1].

Для положительного баланса фосфора в севообороте, при котором происходит накопление его валовых запасов, необходимо вносить в зависимости от типа севооборота и его продуктивности 30–60 кг/га P_2O_5 [2]. Однако и при отрицательном балансе этого элемента нередко количество подвижного фосфора увеличивается по сравнению с исходным, что обусловлено, по-видимому, мобилизацией природных фосфатов. Так, на черноземе типичном по истечении 12 лет содержание подвижного фосфора составило 117 мг/кг, а перед закладкой опыта – 100 мг/кг [3]. Вместе с тем, имея сведения, показывающие стабильность содержания подвижного фосфора в почве во времени и без применения удобрений [4]. Возможно, такое неоднозначное поведение фосфора в почве связано с водно-физическим состоянием почвы на момент отбора образцов и с температурным режимом, так как с увеличением влажности почвы подвижность фосфора возрастает, и колебания даже за короткий промежуток времени составляют 5,2–6,5 мг/100 г [5].

Роль калия связана с большим выносом его с урожаями культур севооборота (в особенности корнеплодов), и поэтому при недостатке этого элемента в усвояемой форме продуктивность сахарной свеклы падает из-за сдерживания процессов метаболизма и накопления пластических веществ. Если учесть, что несбалансированность системы удобрения по калию приводит к снижению сахаристости, то при достаточно высоком содержании валового калия в черноземах значение этого элемента в свекловодстве трудно переоценить [6].

Каждая почва в соответствии со своими первичными параметрами характеризуется определенным устойчивым равновесием

(стационарным) калийного режима, который определяет стабильное содержание в почве форм калия [7, 8]. Почва стремится вернуться к устойчивому состоянию форм калия при тех или иных внешних воздействиях, вызывающих их положительные или отрицательные отклонения от стационарных значений.

Как показали многочисленные исследования, для бездефицитного баланса калия в зависимости от типа севооборота необходимо вносить в среднем на гектар севооборотной площади 90–130 кг K_2O . При внесении калийных удобрений количество водорастворимого калия увеличивается в 2–5 раз, обменного на 30–50%, необменного на 1–7%. [8]. Вместе с тем, трансформация различных форм калия в почве имеет сугубо региональный характер, когда снижение содержания обменной формы калия в почве наблюдалось и без внесения удобрений [9].

В связи с этим выявление влияния оптимальных доз минеральных удобрений на динамику подвижных форм фосфора и калия в длительном стационарном опыте актуально.

Цель исследований – установить динамику фосфатного и калийного режима под влиянием удобрений и корреляционные связи с продуктивностью сахарной свеклы.

Методика. Исследования проводили в 2006–2008 гг. в длительном стационарном опыте на черноземе выщелоченном малогумусном среднесуглинистом на тяжелом карбонатном суглинке со следующей агрохимической характеристикой: $pH_{(KCl)}$ – 5,3; Нг – 5,3 мг-экв/100 г почвы; S – 28,0 – мг-экв/100 г почвы; V – 90%; P_2O_5 (вал.) – 0,152%; $N-NO_3$ – 6,8 мг/кг почвы, P_2O_5 – 93, K_2O – 119 мг/кг почвы.

Опыт заложен в севообороте со следующим чередованием культур:

черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – клевер – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы – овес. Схема опыта включала восемь вариантов с различным насыщением минеральными и органическими удобрениями: 1) контроль (без удобрений); 2) $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза; 3) $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза; 4) $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза; 5) $N_{45}P_{120}K_{45} + 25$ т/га навоза; 6) $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза; 7) $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза; 8) $N_{190}P_{190}K_{190}$.

Посевная площадь деланки 133,7 м², учетная – 10,8 м², повторность – трехкратная. В качестве минеральных удобрений использовали сложный и простой суперфосфат, органические удобрения (подстилочный навоз КРС). Агротехника в опыте – рекомендуемая для ЦЧР, гибриды – районированные. В почвенных образцах определяли подвижные формы фосфора и калия по методу В.Ф.Чирикова. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программы Statistika v.6.0.

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования показали, что наиболее высокое содержание подвижного фосфора по всем вариантам было в верхнем слое почвы, однако падение его концентрации с глубиной более заметно на удобренных вариантах. Так, если на контроле содержание фосфора в слое 0–60 см составляло 98% от содержания в слое 0–20 см, то при внесении в почву минеральных удобрений на фоне 25 т навоза – 77% (табл. 1).

Следовательно, подвижность фосфора удобрений в черноземах в противоположность нитратной форме азота невелика, и он закрепляется преимущественно в пахотном слое.

В то же время, просматривается положительная роль навоза в усилении подвижности фосфора в почве: содержание его в горизонте 0–60 см к количеству в слое 0–20 см при внесении

50 т/га навоза составляло 83% по сравнению с 77% при 25 т/га. Можно предположить, что в этом случае образующиеся органические соединения фосфора менее подвержены закреплению в почвенном поглощающем комплексе и опускаются вниз по профилю с почвенными водами.

1. Содержание подвижного фосфора в почвенном профиле в среднем за вегетацию, мг/кг (2006-2008 гг.)

Вариант опыта	0-20 см	0-40 см	0-60 см
1. Без удобрений (контроль)	97	93	95
2. $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	116	110	97
3. $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	133	124	110
4. $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	147	129	113
5. $N_{45}P_{120}K_{45} + 25$ т/га навоза	134	124	105
6. $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	143	135	119
7. $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза	157	141	128
8. $N_{190}P_{190}K_{190}$	137	124	111
НСР ₀₅	21	17	17

Вне всякого сомнения проявляется положительная роль органических удобрений в накоплении подвижных форм фосфора в почве по всей исследуемой глубине. Так, в варианте с внесением 120 кг д.в./га P_2O_5 на фоне 25 т/га навоза содержание фосфорной кислоты в слое 0-20 см составило 134 мг/кг, а 190 кг д.в./га P_2O_5 в виде минеральных удобрений практически было равноценным – 137 мг/кг.

Что касается динамики этой формы фосфора в течение вегетации, то следует отметить более существенную разницу между удобренными вариантами по сравнению с усредненной величиной за вегетацию. Это в определенной мере объясняется корректировкой убыли фосфора вследствие потребления его культурой, которое возрастало с увеличением дозы (табл. 2).

Снижение содержания подвижных форм фосфора за вегетацию связано, по-видимому, с физическими свойствами чернозема вследствие уменьшения его влажности к осени и закрепления подвижной формы почвенным поглощающим комплексом [10].

Тем не менее, повышенный уровень фосфорного питания за счет внесения больших доз минеральных удобрений на фоне навоза позволяет сохранить первоначальную обеспеченность этим элементом, а в ряде случаев даже наблюдается увеличение концентрации фосфорной кислоты во времени.

2. Содержание подвижного P_2O_5 в почве по срокам, мг/кг (2006-2008 гг.)

Вариант опыта	Срок*	0-20 см	0-40 см	0-60 см
1. Без удобрений	1	101	97	92
	2	99	93	85
	3	90	89	81
2. $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	1	121	110	98
	2	114	109	95
	3	114	110	96
3. $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	1	135	127	111
	2	133	125	110
	3	130	121	110
4. $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	1	149	131	113
	2	144	120	106
	3	148	135	119
5. $N_{45}P_{120}K_{45} + 25$ т/га навоза	1	133	128	108
	2	140	128	108
	3	128	118	99
6. $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	1	152	142	120
	2	143	137	126
	3	133	127	112
7. $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза	1	158	149	142
	2	171	148	122
	3	142	129	120
8. $N_{190}P_{190}K_{190}$	1	155	136	117
	2	127	116	103
	3	129	121	113
НСР ₀₅		15	10	10

* 1 – начало вегетации, 2 – середина вегетации, 3 – уборка.

Вышесказанное подтверждается критериями степени связи между содержанием фосфора по слоям, дозой фосфора удобрений и продуктивностью сахарной свеклы (табл. 3).

3. Показатели взаимосвязи в системе фосфор почвы – фосфор удобрений – продуктивность свеклы (R)

Показатель	P_2O_5 в почве в начале вегетации				
	0-20 см	20-40 см	40-60 см	0-40 см	0-60 см
P_2O_5 удобрений	0,78**	0,51**	0,20	0,68**	0,59**
Урожайность	0,92**	0,67**	0,27	0,85**	0,74**
Сбор сахара	0,93**	0,72**	0,27	0,87**	0,76**

** Достоверно на 99%-ном уровне вероятности.

Наибольший коэффициент корреляции между дозой внешних фосфорных удобрений и содержанием подвижных фосфатов весной отмечен в слое 0-20 см, а минимальный – в слое 40-60 см. Так, коэффициент частной корреляции между дозой фосфорных удобрений и локализацией фосфора в почве в слое 0-20 см составил 0,78, а в слое 40-60 см – 0,20. В первом случае он достоверен с высоким уровнем вероятности, во втором – несущественен. При анализе усредненных образцов (0-40 см, 0-60 см) это различие размыто, но тем не менее тенденция сохраняется. Благодаря этому урожайности корнеплодов и сбор сахара с единицы площади обусловлены обеспеченностью почвы подвижным фосфором до глубины 40 см, в более глубоких слоях эта связь не наблюдается.

Для иллюстрации распределения подвижного фосфора по глубине приводятся данные двух контрастных вариантов: на контроле и с внесением максимальной дозы фосфора ($N_{135}P_{180}K_{135}$) на фоне 25 т/га навоза (рис. 1).

Во все сроки определения на контроле фосфор почвы распределен более-менее равномерно по глубине, в то время как на удобренном варианте большая часть его локализована в верхнем слое. Эти различия особенно заметны в весенний период, к осени они сглаживаются.

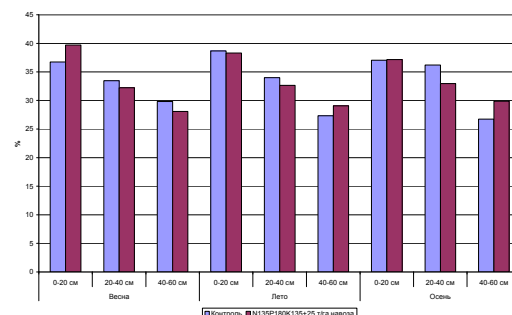


Рис. 1. Динамика содержания подвижного фосфора в почве, % от слоя 0-60 см (2006-2008 гг.)

Установлено, что распределение калия в почве по срокам наблюдения и глубине весьма схоже с распределением фосфора. Однако здесь имеются и свои особенности – калий распределен по глубине более равномерно, что свидетельствует о его обменном механизме фиксации [11]. Например, в большинстве вариантов содержание подвижного калия в почве практически одинаково для слоев 0-20 и 0-60 см, различия составляют 7-14% и в большинстве не подтверждаются с необходимой достоверностью (табл. 4).

4. Содержание подвижного калия в почвенном профиле в среднем за вегетацию, мг/кг (2006-2008 гг.)

Вариант опыта	0-20 см	0-40 см	0-60 см
1. Без удобрений	111	109	103
2. $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	118	114	108
3. $N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	132	124	117
4. $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	145	134	126
5. $N_{45}P_{120}K_{45} + 25$ т/га навоза	118	112	108
6. $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	134	125	118
7. $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза	155	145	134
8. $N_{190}P_{190}K_{190}$	145	136	126
НСР ₀₅	19	17	17

Отмечено снижение содержания калия в почве по срокам определения и по глубине, так же как и фосфора, хотя и менее существенное (табл. 5). При внесении высоких доз минеральных удобрений как совместно с навозом, так и без него в слоях 0-20 и 0-40 см различий практически не обнаружено. Например, при внесении $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза, $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$ в слое 0-20 см было локализовано 152-163 мг/кг K_2O , а в слое 0-40 см – 149-157 мг/кг.

Статистическая обработка аналитических данных свидетельствует о накоплении калия удобрений в пахотном слое, хотя и не столь существенном как фосфора (табл. 6). Особенно это заметно в индивидуальных пробах: коэффициент корреляции для 0-20 см равен 0,87, а для 40-60 см – 0,53.

Такая же закономерность отмечена и при сравнении зависимости продуктивности сахарной свеклы от наличия подвижного калия в почве по глубине. Если степень связи между концентрацией калия в слое 0-20 см и продуктивностью свеклы была равна 0,77-0,80, то для слоя 40-60 см она составила 0,42-0,45. Как и в случае с фосфором, корреляция с урожайностью и сбором сахара положительная.

5. Содержание подвижного K_2O в почве по срокам, мг/кг (2006-2008 гг.)

Схема опыта	Сроки	0-20 см	0-40 см	0-60 см
Без удобрений	1*	121	116	109
	2	110	109	103
	3	103	103	96
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	1	126	118	110
	2	123	118	113
	3	105	107	101
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	1	134	127	118
	2	139	128	121
	3	122	118	113
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	1	154	140	129
	2	149	138	130
	3	133	126	119
$N_{45}P_{120}K_{45} + 25$ т/га навоза	1	127	120	116
	2	121	116	109
	3	108	103	99
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	1	142	134	126
	2	137	126	119
	3	122	117	108
$N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза	1	163	158	147
	2	157	138	127
	3	143	138	128
$N_{190}P_{190}K_{190}$	1	152	148	138
	2	152	134	123
	3	131	126	117
HCP_{05}		10	4	6

* 1 – начало вегетации, 2- середина вегетации, 3 – уборка.

6. Показатели взаимосвязи в системе калий почвы – калий удобрений – продуктивность свеклы (R)

Показатель	K_2O в почве в начале вегетации				
	0-20 см	20-40 см	40-60 см	0-40 см	0-60 см
K_2O удобрений	0,87**	0,84**	0,53**	0,87**	0,85**
Урожайность	0,80**	0,75**	0,45	0,80*	0,80**
Сбор сахара	0,77**	0,72**	0,42	0,77**	0,77**

* Достоверно на 95%-ном уровне вероятности.

** Достоверно на 99%-ном уровне вероятности.

В ранневесенние сроки наблюдения калий удобрений накапливался в верхних слоях почвы, и только к осени его пик перемещался в горизонт 20-40 см (рис. 2).

Effects of long-term fertilization on the dynamics of mobile phosphorus and potassium in leached chernozem

M.G. Melnikova, O.A. Minakova, Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet, Russian Academy of Agricultural Sciences, VNIIS 86, Ramon' region, Voronezh oblast, 396030 Russia, E-mail: melnikova-masha@mail.ru

The results of a long-term field experiment with sugar beet on leached chernozem in the forest-steppe of the Central Chernozemic Zone are presented. The effect of organic and mineral fertilizers on soil supply with mobile phosphorus and potassium and their dynamics in time and space has been shown. Criteria of correlation in the 'fertilizer-nutrient status-crop productivity' system and their probability parameters have been calculated.

Keywords: sugar beet, phosphorus status, potassium status, dynamics, validation criteria, fertilizers, productivity.

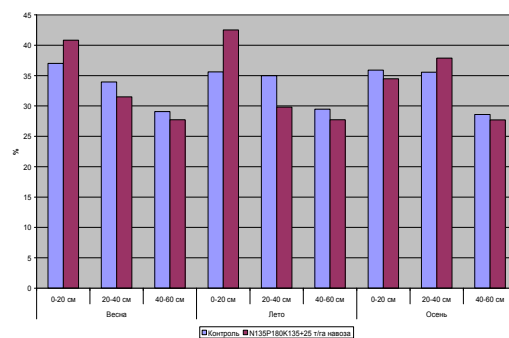


Рис. 2. Динамика содержания подвижного калия в почве, % от слоя 0-60 см (2006-2008 гг.)

По всей вероятности, это связано как с усиленным выносом этого элемента из пахотного горизонта в течение вегетации, так и с изменением водно-физических свойств почвы, прежде всего с ее сухостью, к осени.

Таким образом, применение органических и минеральных удобрений – необходимое условие существенного улучшения питательного режима чернозема выщелоченного в лесостепи Центрально-Черноземного региона. Обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия в процессе вегетации снижается с глубиной, но в отношении калия эта закономерность проявляется слабее. Минеральные удобрения в большинстве случаев обеспечивают повышение содержания элементов питания в период вегетации, а органические – фосфора и калия в более глубоких слоях почвы. Это способствует повышению продуктивности сахарной свеклы.

Литература

1. Яговенко Г.А. Фосфатный режим серой лесной почвы в севооборотах с люпином // Агрохимический вестник. – 2010. – № 3. – С. 9-11.
2. Алексеева Е.Н. Влияние длительного применения удобрений на почвенное плодородие и урожай культур на средневыхщелочном черноземе в зоне неустойчивого увлажнения // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – М.: Колос, 1978. – С. 99-117.
3. Гетманец А.Я., Пашова В.Т., Турчин В.В. Баланс питательных элементов в интенсивных севооборотах в Степной зоне УССР // Повышение плодородия почв и продуктивности сельского хозяйства при интенсивной химизации. – М.: Наука, 1983. – С. 192-195.
4. Малова А.В., Ивойлов А.В., Костров К.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на урожай культур и агрохимические показатели выщелоченного тяжелосуглинистого чернозема // Агрохимия. – 1989. – № 12. – С. 12-17.
5. Бровкин В.И. Динамика подвижного фосфора в пахотном слое выщелоченного чернозема // Бюлл. ВНИИ удобрений и агропочв. вып. 102, 1990. – С. 27-31.
6. Никитин В.В. Определение калия по методу Чирикова в черноземах Воронежской области // Сб. науч. работ НИИ ИХ ЦЧП. – Каменная степь, 1975. Т. VIII, вып. 1. – С. 40-44.
7. Чуян Г.А., Ермаков В.В., Чуян С.И. Влияние эродированности и применения удобрений на содержание форм калия в типичном черноземе // Агрохимия. – 1986. – № 10. – С. 27-33.
8. Карпинец Т.В., Липкина Г.С. Устойчивые стационарные состояния коллоидного режима в почвах // Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 61-68.
9. Дука В.И., Дука Л.В., Гутьера С.Т. Действие длительного систематического применения удобрений при интенсивном использовании земли на урожай культур, его качество и плодородие почвы в условиях Западной Лесостепи УССР // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – М.: Колос, 1978. – С. 174-192.
10. Зайцева Г.А. Влияние влажности почвы и содержания подвижных фосфатов в черноземе выщелоченном на урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие. – 2011. – № 5. – С. 33-34.
11. Погорелов Ю.Г., Гавенский В.Д. К вопросу миграции калия удобрений в карбонатном черноземе Кубани // Свойства почв и удобрений. – Краснодар, 1976. – С. 48-51.