

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА И ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

**О.Ф. СМЕЯНОВИЧ**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Республика Беларусь, brissa\_lime@mail.ru*

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях дерново-подзолистых почв Республики Беларусь наиболее важными факторами формирования урожайности сельскохозяйственных культур являются применение органических и минеральных удобрений с учетом агрохимических показателей почвенного плодородия. В этом плане роль отдельных элементов питания – азота, фосфора и калия – неоднозначна, а отсутствие в системе удобрения любого из элементов приводит к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур. На эффективность удобрений существенное влияние оказывает также кислотность почвы.

Система применения удобрений под сельскохозяйственные культуры, рекомендуемая научно-исследовательскими учреждениями Республики Беларусь, предусматривает сбалансированное внесение всех элементов питания с учетом содержания их в почвах. Однако в производственных условиях в последние годы минеральные удобрения зачастую вносятся с нарушением соотношения питательных веществ или делается попытка недостаток одного из элементов питания, чаще всего фосфора, заменить внесением другого элемента (калия). Все это может приводить к недобору растениеводческой продукции за счет несбалансированности минерального питания, ухудшению ее качества, снижению содержания подвижных соединений элементов питания в почвах и усилению агрохимической пестроты полей [1–3].

Изучить действие удобрений на продуктивность культур и плодородие почвы наиболее полно можно в длительных полевых опытах, которые являются основой для разработки научно обоснованных систем удобрения [1, 4–5].

Цель исследования – изучить влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и динамику основных агрохимических показателей пахотного горизонта дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению эффективности применения удобрений проводили в длительном полевом опыте Института почвоведения и агрохимии в СПК «Щемыслица» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке в зернопропашном севообороте картофель – ячмень – овес – люпин узколистный – яровая пшеница. Схема опыта предусматривала изучение сочетаний элементов питания (PK, NK, NP, NPK) на четырех фонах: известкованном ( $pH_{KCl}$  6,3–6,4), неизвесткованном ( $pH_{KCl}$  4,3–4,5), с внесением органических удобрений (12 т/га севооборотной площади), без внесения органических удобрений.

Агрохимические показатели пахотного горизонта исследуемой почвы перед началом ротации севооборота характеризовались следующими показателями: известкованный фон –  $pH_{KCl}$  6,3–6,4,  $P_2O_5$  (0,2 М HCl) – 350–390 мг/кг,  $K_2O$  (0,2 М HCl) – 210–240 мг/кг почвы, гумус (0,4 М  $K_2Cr_2O_7$ ) – 1,4–1,7 %; неизвесткованный фон –  $pH_{KCl}$  4,3–4,5,  $P_2O_5$  – 360–380 мг/кг,  $K_2O$  – 210–230 мг/кг почвы, гумус – 1,5–1,7 %.

Дозы минеральных удобрений под картофель составили  $N_{90}P_{70}K_{150}$ , яровой ячмень –  $N_{60}P_{60}K_{120}$ , овес –  $N_{60}P_{60}K_{120}$ , люпин узколистный –  $P_{40}K_{70}$ , яровую пшеницу –  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ . Органические удобрения в севообороте вносили под картофель в виде солоमистого навоза КРС в дозе 60 т/га. Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур общепринятая для Республики Беларусь [6–7].

До и после окончания ротации севооборота поделяночно отбирали почвенные образцы, в которых определялась  $pH_{KCl}$ , подвижные соединения фосфора и калия (0,2 М HCl), гумус (0,4 М  $K_2Cr_2O_7$ ). Анализ почвенных и растительных образцов проводили по общепринятым методикам, экономическую эффективность применения удобрений – в ценах на продукцию и удобрения на 1.12.2007 [8–9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследований, применение удобрений и кислотность почвы оказали неоднозначное влияние на продуктивность культур в севообороте и динамику агрохимических показателей в пахотном горизонте (табл. 1–2).

Биологические особенности изучаемых сельскохозяйственных культур в значительной степени нивелировали влияние почвенной кислотности в интервале  $pH_{KCl}$  4,3–6,4 на продуктивность зернопропашного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Для картофеля оптимальной оказалась кислая реакция почвенной среды, для ячменя и яровой пшеницы – близкая к нейтральной. Овес и люпин узколистный обеспечили практически одинаковую продуктивность независимо от почвенной кислотности. В результате существенная прибавка продуктивности севооборота от оптимизации реакции почвенной среды получена лишь в вариантах с полным NPK-удобрением (1,5–3,8 ц/га к.ед.), а также при внесении фосфорных и азотных удобрений на безнавозном фоне (1,8 ц/га к.ед.).

Внесение в севообороте под картофель 60 т/га солоमистого навоза КРС (12 т/га севооборотной площади) обеспечило существенную прибавку продуктивности севооборота 7,7–11,4 ц/га к.ед. при окупаемости 1 т навоза 64,2–95,0 к.ед. В вариантах с полным минеральным удобрением прибавка продуктивности от внесения органических удобрений составила 8,8–11,1 ц/га к.ед. при оплате 1 т навоза 73,3–92,5 к.ед.

Таблица 1. Влияние удобрений и кислотности почвы на продуктивность зернопропашного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Севооборот, ц/га к.ед.	Прибавка, ц/га к.ед.			Сбор сырого белка, ц/га
		$pH$	навоз	N-P-K	
$pH_{KCl}$ 4,3–4,5					
Без удобрений	31,5	–	–	–	4,8
$P_{58}K_{116}$	41,3	–	–	9,8	5,8
$N_{60}K_{116}$	47,4	–	–	15,9	6,0
$N_{50}P_{58}$	46,2	–	–	14,7	6,0
$N_{60}P_{58}K_{116}$	49,9	–	–	18,4	6,4
Навоз, 12 т/га	42,9	–	11,4	–	5,5
Навоз + $P_{58}K_{116}$	49,6	–	8,3	6,7	6,5
Навоз + $N_{60}K_{116}$	55,1	–	7,7	12,2	6,9
Навоз + $N_{60}P_{58}$	55,7	–	9,5	12,8	6,7
Навоз + $N_{60}P_{58}K_{116}$	61,0	–	11,1	18,1	7,4
$pH_{KCl}$ 6,3–6,4					
Без удобрений	31,7	0,2	–	–	4,0
$P_{58}K_{116}$	39,3	–2,0	–	7,6	5,1
$N_{60}K_{116}$	47,3	–0,1	–	15,6	5,6
$N_{50}P_{58}$	48,0	1,8	–	16,3	5,6
$N_{60}P_{58}K_{116}$	53,7	3,8	–	22,0	6,4
Навоз, 12 т/га	42,5	–0,4	10,8	–	5,0
Навоз + $P_{58}K_{116}$	48,5	–1,1	9,2	6,0	6,6
Навоз + $N_{60}K_{116}$	56,5	1,4	9,2	14,0	6,5
Навоз + $N_{60}P_{58}$	56,8	1,1	8,8	14,3	6,7
Навоз + $N_{60}P_{58}K_{116}$	62,5	1,5	8,8	20,0	7,4
НСР <sub>05</sub>	1,4				

Минеральные удобрения увеличивали продуктивность севооборота на 6,0–22,0 ц/га к.ед. Внесение полного минерального удобрения обеспечило наибольшую прибавку продуктивности 18,1–22,0 ц/га к.ед. при сборе сырого белка 6,4–7,4 ц/га. Применение под культуры зернопропашного севооборота PK-удобрений способствовало дополнительному сбору 6,0–9,8, NK-удобрений – 12,2–15,9 и NP-удобрений – 12,8–16,3 ц/га к.ед.

Максимальная продуктивность зернопропашного севооборота на обоих фонах кислотности получена в вариантах со сбалансированным органоминеральным питанием (соломистый навоз КРС + NPK-удобрение) – 61,0–62,5 ц/га к.ед. Окупаемость 1 кг NPK в этих вариантах составила 7,7–8,5 к.ед. при сборе сырого белка 7,4 ц/га.

Наиболее лабильным показателем в пахотном горизонте исследуемой почвы оказалось содержание подвижного калия. В контрольных вариантах вследствие небольшой продуктивности и относительно невысокого выноса калия культурами севооборота снижение содержания подвижного калия составило лишь 5–6 мг/кг почвы. В вариантах с внесением азотных и фосфорных удобрений, где продуктивность севооборота и, соответственно, вынос калия были выше, содержание подвижного калия снизилось в вариантах без органических удобрений на 29–58 мг/кг, в вариантах с внесением органических удобрений – на 19–28 мг/кг почвы.

Таблица 2. Влияние удобрений и кислотности почвы на динамику агрохимических показателей пахотного горизонта дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Вариант	pH <sub>KCl</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		K <sub>2</sub> O, мг/кг		Гумус, %	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец	начало	конец
	ротации севооборота		ротации севооборота		ротации севооборота		ротации севооборота	
pH <sub>KCl</sub> 4,3–4,5								
Без удобрений	4,3	4,4	317	271	167	162	1,49	1,56
P <sub>38</sub> K <sub>116</sub>	4,3	4,4	360	342	230	236	1,52	1,73
N <sub>60</sub> K <sub>116</sub>	4,3	4,3	363	291	212	218	1,54	1,78
N <sub>60</sub> P <sub>58</sub>	4,3	4,3	373	356	185	156	1,52	1,75
N <sub>60</sub> P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	4,2	4,3	370	331	190	182	1,52	1,75
Навоз, 12 т/га	4,6	4,6	368	345	208	223	1,62	1,87
Навоз + P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	4,7	4,6	375	357	273	293	1,71	1,91
Навоз + N <sub>60</sub> K <sub>116</sub>	4,5	4,7	380	317	225	274	1,64	1,97
Навоз + N <sub>60</sub> P <sub>58</sub>	4,4	4,5	382	361	220	201	1,66	2,04
Навоз + N <sub>60</sub> P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	4,4	4,5	381	353	219	232	1,72	2,03
pH <sub>KCl</sub> 6,3–6,4								
Без удобрений	6,4	6,4	307	292	170	164	1,37	1,41
P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	6,4	6,4	367	358	215	231	1,36	1,62
N <sub>60</sub> K <sub>116</sub>	6,4	6,4	356	318	220	232	1,50	1,69
N <sub>60</sub> P <sub>58</sub>	6,4	6,4	358	347	212	154	1,44	1,67
N <sub>60</sub> P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	6,3	6,3	361	348	209	197	1,39	1,65
Навоз, 12 т/га	6,4	6,4	392	389	218	227	1,56	1,82
Навоз + P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	6,4	6,4	417	409	276	302	1,63	1,83
Навоз + N <sub>60</sub> K <sub>116</sub>	6,3	6,4	411	383	241	257	1,56	1,84
Навоз + N <sub>60</sub> P <sub>58</sub>	6,4	6,4	415	405	263	235	1,58	1,98
Навоз + N <sub>60</sub> P <sub>58</sub> K <sub>116</sub>	6,4	6,3	413	401	240	246	1,70	1,94
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,2	23	21	19	15	0,07	0,08

Применение в севообороте соломистого навоза КРС способствовало накоплению подвижного калия во всех вариантах с минеральным калийным питанием. Кислотность почвы практически не оказала существенного влияния на динамику содержания подвижного калия в пахотном горизонте.

Наибольшее снижение содержания подвижных фосфатов в пахотном горизонте отмечено в вариантах без внесения минеральных фосфорных удобрений (28–72 мг/кг почвы). Однако некоторое снижение содержания подвижных фосфатов наблюдалось также и в других опытных вариантах.

Изучение фракционного состава почвенных фосфатов в наших исследованиях показало, что в вариантах с внесением фосфорных удобрений, где отмечено некоторое снижение подвижных фосфатов, произошло увеличение содержания их труднорастворимых соединений (0,5 н HCl – по Чирикову), что отмечается и в ряде других исследований [1, 10–12]. На известкованном фоне в вариантах с внесением навоза содержание труднорастворимых фосфатов повысилось на 24–42 мг/кг, в вариантах без применения органических удобрений – на 7–12 мг/кг. На кислом фоне при внесении фосфорных удобрений также отмечено увеличение содержания труднорастворимых фосфатов на 11–32 мг/кг почвы. Исключение из системы минерального фосфора привело

к снижению содержания труднорастворимых фосфатов на обоих фонах кислотности. При этом наибольшее уменьшение содержания труднорастворимых фосфатов отмечено в неорганических вариантах (на 25–56 мг/кг) [3].

В вариантах с регулярным известкованием кислотность почвы практически не изменилась как на фоне внесения органических удобрений, так и без их применения. На кислом фоне применение в севообороте 60 т/га солоमистого навоза КРС несколько нейтрализовало повышенную кислотность почвы. В вариантах без внесения органических удобрений на кислом фоне, несмотря на вынос основных катионов и другие процессы, способствующие подкислению почвы (внесение физиологически кислых минеральных удобрений, дыхание корней, микробиологическая активность и т.д.), дальнейшего снижения кислотности почвы не установлено.

Некоторое увеличение содержания гумуса отмечено во всех опытных вариантах. При этом максимальное накопление гумуса произошло на фоне с внесением органических удобрений. В контрольных вариантах без внесения удобрений существенного накопления гумуса не отмечено как в вариантах известкованного, так и не известкованного фона.

В формировании продуктивности зернопропашного севооборота в наших исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве роль почвенного плодородия была преобладающей – 50 % (рис. 1).

Эффективным агрохимическим приемом при возделывании культур севооборота оказалось внесение минеральных и органических удобрений: внесение азотных удобрений в среднем по опытным вариантам обеспечило 20 %, фосфорных и калийных удобрений – 14 %, действия и последствия органических удобрений – 15 % продуктивности севооборота. В то же время роль оптимизации почвенной кислотности из-за биологических особенностей возделываемых в севообороте сельскохозяйственных культур оказалась минимальной – всего 1 %.

Для более полной оценки применения удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур наряду с такими важными показателями, как урожайность и качество продукции, немаловажное значение имеет экономическая эффективность их внесения. Использование показателей экономической эффективности позволяет выделить наиболее выгодные варианты системы удобрения, которые могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве.

В наших исследованиях применение минеральных и органических удобрений в большинстве вариантов характеризовалось довольно благоприятными экономическими показателями (рис. 2). Лишь отдельное внесение фосфорных и калийных удобрений в среднем по опытным вариантам оказалось экономически невыгодным – убыток составил 7,2 \$/га. Внесение органических удобрений обеспечило в севообороте чистый доход 17,5 \$/га, азотных и фосфорных удобрений – 34,6 \$/га, азотных и калийных удобрений – 58,6 \$/га, полного минерального удобрения – 50,9 \$/га.

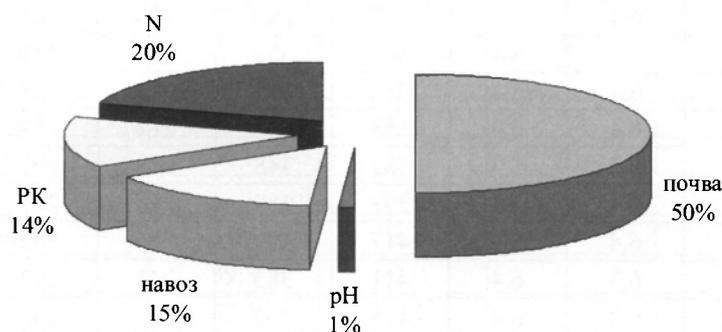


Рис. 1. Роль отдельных факторов в формировании продуктивности зернопропашного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

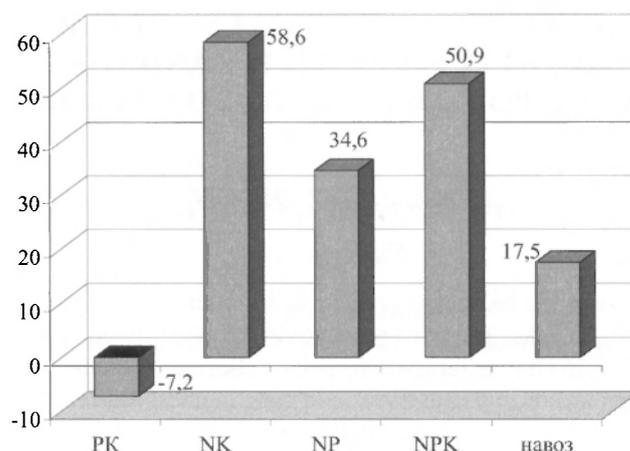


Рис. 2. Экономическая эффективность применения удобрений в зернопропашном севообороте (чистый доход, \$/га)

## ВЫВОДЫ

В исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зернопропашном севообороте картофель – ячмень – овес – люпин – яровая пшеница среднегодовое применение 12 т/га подстилочного навоза КРС обеспечило прибавку продуктивности 7,7–11,4,  $P_{58}K_{116}$  – 6,0–9,8,  $N_{60}K_{116}$  – 12,2–15,9,  $N_{60}P_{58}$  – 12,8–16,7,  $N_{60}P_{58}K_{116}$  – 18,1–22,0 ц/га к.ед.

Максимальная продуктивность севооборота 61,0–62,5 ц/га к.ед. при сборе сырого белка 7,4 ц/га получена при среднегодовом внесении 12 т/га органических удобрений +  $N_{60}P_{58}K_{116}$ . Чистый доход применения органических удобрений составил 17,5 \$/га, полного минерального удобрения – 50,9 \$/га.

Исключение из системы удобрения органических удобрений или одного из элементов питания приводило к снижению продуктивности севооборота, фосфорных и калийных удобрений – к снижению содержания подвижных соединений фосфора и калия в пахотном горизонте исследуемой почвы (соответственно на 28–72 и 19–58 мг/кг почвы).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Босак, В.Н. Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах / В.Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2003. – 176 с.
2. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.
3. Смянович, О.Ф. Влияние минеральных и органических удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и агрохимические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О.Ф. Смянович; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2003. – 20 с.
4. Nutritional and Environmental Research in the 21st Century – the Value of Long-Term Field Experiments / F. Ellmer [u.a.]. – Halle-Wittenberg, 2002. – 114 p.
5. Smith, P. Soil Organic Matter Network (Somnet): 2001 Model and Experimental Metadata / P. Smith, P. Falloon, J.U. Smith. – Wallingford, 2001. – 223 p.
6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: Сборник отраслевых регламентов. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 304 с.
7. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.
8. Практикум по агрохимии / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 1998. – 270 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]; БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 1988. – 30 с.
10. Кобзаренко, В.И. Изучение ресурсов фосфора и калия дерново-подзолистой почвы и возможностей их мобилизации в условиях стационарного полевого опыта / В.И. Кобзаренко // Развитие почвенно-экологических исследований. – М.: МГУ, 1999. – С. 134–153.
11. Schweitzer, P. Einfluß langjährig unterschiedlicher Düngung auf die P-Fraktionen und die P-Sorption im Boden / P. Schweitzer, H. Pagel // UFZ-Bericht. – 1999. – Nr. 24. – S. 229–232.
12. Spiegel, H. Auswirkungen unterschiedlicher P-Düngerformen und -mengen auf P-Bilanzen,  $P_{CAL/DL}$ -Gehalte im Boden und auf den Ertrag (Ergebnisse von drei 40jährigen Dauerversuchen in Österreich) / H. Spiegel, Th. Lindenthal // UFZ-Bericht. – 1999. – Nr. 24. – S. 107–110.

**THE INFLUENCE OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS  
ON CROP ROTATION PRODUCTIVITY AND THE FERTILITY  
OF SOD PODZOLIC SANDY LOAMY SOIL**

***O.F. SMEYANOVICH***

***Summary***

In the conditions of Podzoluvisol the balanced application of organic and mineral fertilizers (12 t ha<sup>-1</sup> rotation square of straw manure and N<sub>60</sub>P<sub>58</sub>K<sub>116</sub>) has provided productivity of cereal-tilled crop rotation (potatoes – barley – oat – lupine – spring wheat) 6,10–6,25 t ha<sup>-1</sup> of forage units at the collecting of crude protein 0,74 t ha<sup>-1</sup> with favorable economic indices of fertilizers application and conservation of agrochemical indices of soil fertility.

*Поступила в редакцию 10 апреля 2008 г.*