

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР КОРМОВОГО СЕВООБОРОТА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ

Н.Т. Чеботарев, доктор сельскохозяйственных наук, **О.В. Броварова**, кандидат химических наук, **П.И. Конкин**, научный сотрудник

*Институт Агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми НЦ УрО РАН,
167023, Сыктывкар, ул. Ручейная, 27
E-mail: olbrov@mail.ru*

В полевом стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучено влияние органических и минеральных удобрений, а также их сочетаний на ее плодородие и продуктивность. В 6-польном кормовом севообороте установлена наивысшая эффективность совместного применения органических (торфоново-навозный компост 80 т/га) и минеральных (NPK) удобрений. Установлено положительное влияние органической и органо-минеральной системы удобрений на содержание органического вещества почвы, снижение обменной и гидролитической кислотности и повышение содержания подвижного фосфора. Отмечено снижение обменного калия в почве из-за его высокого выноса растениями. Определено, что вышеуказанные системы удобрений способствовали не только повышению урожайности культур севооборота, но и их качества. В клубнях картофеля повышалось содержание крахмала и витамина С, в однолетних и многолетних травах – сырого протеина.

INFLUENCE OF SYSTEMATIC APPLICATION OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS ON THE FERTILITY OF SOD-PODZOLIC SOIL AND PRODUCTIVITY OF FORAGE CROP ROTATION CROPS IN THE EUROPEAN NORTH

Chebotarev N.T., Brovarova O.V., Konkin P.I.

*Zhuravsky Institute of Agricultural Biotechnology, Komi Scientific Center, Ural branch, Russian Academy of Sciences,
167023, Syktyvkar, ul. Rucheynaya, 27
E-mail: olbrov@mail.ru*

The influence of organic and mineral fertilizers, as well as their combinations on its fertility and productivity was studied in a stationary field experiment on sod-podzolic light loamy soil. The highest efficiency of combined application of organic (TNK 80 t/ha) and mineral (NPK) fertilizers was established in the 6-year feed crop rotation. The positive effect of organic and organomineral fertilizer systems on the content of soil organic matter, reducing the exchange and hydrolytic acidity and increasing the content of mobile phosphorus was established. There was a decrease in the exchange of potassium in the soil due to its high removal by plants. It was determined that the above-mentioned fertilizer systems contributed not only to the increase in crop rotation productivity, but also to their quality. The content of starch and vitamin «C» in potato tubers increased, while the content of raw protein in annual and perennial grasses increased.

Ключевые слова: кормовой севооборот, органические и минеральные удобрения, урожайность, почва, агрохимические показатели

Key words: feed crop rotation, organic and mineral fertilizers, yield, soil, agrochemical indicators

Известно, что земледелие – один из наиболее сильных факторов воздействия на природную среду. При этом удобрение – важнейшее средство активно-целенаправленного регулирования питания растений, круговорота и баланса биогенных веществ, последовательного повышения плодородия почв и на этой основе – продуктивности агроценозов и поддержания экологического равновесия в природе [1-3]. Увеличение продуктивности агроценозов дерново-подзолистых почв Севера невозможно без совершенствования технологий сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почв, а также возделывания сельскохозяйственных культур, адаптированных к региональным почвенно-климатическим условиям [4, 5].

Ресурсы органических удобрений в связи с кризисом животноводства крайне истощены, минеральные удобрения – дорогостоящи, поэтому решение задачи по повышению плодородия почв возможно путем расширения посевов однолетних и многолетних трав, что служит наиболее доступным и низкочувствительным способом обеспечения роста продуктивности культур северных территорий.

Цель работы – изучить влияние различных систем удобрений на плодородие дерново-подзолистой по-

чвы, продуктивность и качество культур кормового севооборота в условиях северного земледелия.

Методика. Исследования по изучению различных систем удобрений в 6-польном кормовом севообороте проводили в 1978 – 2019 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднекультуренной почве по методике Б.А. Доспехова [6]. В работе использовали следующие виды анализов. В почве: гумус – ГОСТ 26213-91; рН в солевой вытяжке – ГОСТ 26483-85; подвижный фосфор и калий – ГОСТ 54650-2011; валовый анализ биофильных элементов в почве и удобрениях – адсорбционным и рентгено-флюоресцентным (VRA-33) методами. В растениях: азот общий – фотоколориметрическим методом; сырая клетчатка – по Геннебергу и Штоману (1969); кормовые единицы, БЭВ, сырой протеин – расчетным методом; нитратный азот – ионо-селективным методом; азот и углерод – методом газовой хроматографии; сухое вещество – ГОСТ 27548-97; крахмал – ГОСТ 7194-81; витамин С – ГОСТ 24556-89.

Агрохимические показатели почвы и схема опыта приведены в табл. 1.

Кормовой севооборот включал следующие культуры: картофель, викоовсяную смесь с подсевом многолетних трав, многолетние травы 1 года пользования (г.п.), многолетние травы 2 г.п., викоовсяную смесь, картофель.

Табл. 1. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в слое 0-20 см при систематическом применении удобрений

Вариант	Общий гумус по Тюрину, %		рН _{KCl}		Гидролитическая кислотность		Сумма поглощенных оснований		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	1978	2019	1978	2019	ммоль/100 г				мг/кг			
					1978	2019	1978	2019	1978	2019	1978	2019
Без удобрений	2,1	2,6	5,5	5,8	3,1	2,0	10,3	12,2	223	266	146	119
1/3 NPK	2,3	2,8	5,6	5,3	3,7	2,7	13,6	10,2	193	285	148	130
1/2 NPK	2,5	2,9	5,6	5,4	3,4	2,6	16,8	11,1	187	260	152	132
NPK	2,5	2,7	5,4	5,7	3,4	1,9	14,8	13,2	201	234	156	153
ТНК 40 т/га (фон 1)	2,5	2,8	5,2	5,5	3,7	2,2	15,3	12,1	211	309	148	108
Фон 1 + 1/3 NPK	2,4	2,6	5,3	5,8	3,7	1,7	13,9	12,1	212	332	162	111
Фон 1 + 1/2 NPK	2,4	2,8	5,2	5,9	3,4	2,1	14,6	13,0	246	443	178	125
Фон 1 + NPK	2,1	3,0	4,8	5,7	4,2	2,1	13,3	12,1	184	314	181	106
ТНК 80 т/га (фон 2)	2,4	3,5	5,3	5,7	3,8	2,0	15,5	12,4	201	342	170	129
Фон 2 + 1/3 NPK	2,0	3,6	5,1	5,8	3,9	1,9	11,7	12,9	180	371	173	105
Фон 2 + 1/2 NPK	2,6	3,1	5,2	6,7	4,4	0,7	13,0	13,3	240	313	185	116
Фон 2 + NPK	2,3	3,2	5,3	6,8	3,6	0,6	13,2	14,6	227	318	190	136
HCP ₀₅	0,2	0,3	0,5	0,6	0,3	0,2	1,4	1,3	16	32	16	13

Органические удобрения в виде торфонавозного компоста (ТНК) вносили 2 раза за ротацию севооборота, под картофель. Средние агрохимические показатели ТНК следующие: рН_{KCl} 7,2-7,5, сухое вещество – 26-30 %, зольность – 20-24 %, содержание общего азота – 0,52-0,60 %, фосфора – 0,50-0,56, калия – 0,42-0,48 %. Для восполнения выноса элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур ежегодные дозы минеральных удобрений составляли: под картофель – N₆₀P₃₀K₁₈₀, викоовсяную смесь – N₄₀P₃₂K₁₁₆, многолетние травосмеси (клевер + тимopheевка) – N₄₀P₃₂K₁₀₈. Использовали также их пониженные (1/3 и 1/2 от полной) дозы. Планируемая урожайность зеленой массы викоовсяной смеси – 15,0, клубней картофеля – 15,0 т/га, сена многолетних трав – 15 т/га.

Результаты и обсуждение. Удобрения оказывали существенное влияние на основные агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (табл. 1). Содержание гумуса в ней увеличилось, особенно значительно при использовании компоста в чистом виде (на 0,3-1,1 %) и совместно с минеральными удобрениями (на 0,2-0,9 %), по сравнению с исходным его количеством. При внесении одних минеральных удобрений (во всех дозах) величина этого показателя повышалась на 0,2-0,5 %. Это указывает на то, что минерализация гумуса не опережала его гумификацию из-за достаточного объема поступления в почву органического вещества в виде торфонавозного компоста и пожнивно-корневых остатков возделываемых культур.

Важный положительный результат наших исследований – повышение исходного содержания гумуса (на 0,5 %) в варианте без удобрений и получение достаточно высокой средней урожайности (3,7 т/га сухого вещества) кормовых культур вследствие поступления в почву значительного объема растительных остатков, в первую очередь многолетних трав, их минерализации и гумификации под воздействием микроорганизмов.

Во всех вариантах опыта снизилась обменная и гидролитическая кислотность почвы, что можно объ-

яснить достаточным поступлением в нее кальция и магния. Обменная кислотность в большей степени возросла в вариантах с применением минеральных удобрений (на 0,2-0,3 ед. рН), незначительно снизилась в вариантах с внесением органических (0,3-0,4 ед. рН) и органоминеральных (на 0,5-1,5 ед. рН) удобрений, особенно в высоких дозах – ТНК 80 т/га + NPK. Подобная закономерность отмечена и по гидролитической кислотности. В варианте без удобрений обменная кислотность снизилась на 0,3 ед. рН, гидролитическая – на 1,1 ммоль/100 г почвы.

В вариантах с ТНК и NPK, а также при совместном их применении содержание подвижных форм фосфора повысилось на 30-180 мг/кг вследствие минерализации компоста, пожнивно-корневых остатков культур, а также неполного использования растениями фосфора из минеральных удобрений на холодных почвах Севера [7]. Минерализация органического вещества растительных остатков и торфонавозного компоста под действием микроорганизмов проходила более интенсивно, так как внесенный минеральный азот служил питательной средой для их различных групп, что позволило ускорить переход элементов питания в доступную для растений форму.

Количество обменного калия снизилось во всех вариантах, о чем свидетельствует его высокий вынос урожаем культур севооборота, но в большей степени без применения удобрений (147 мг/кг почвы), а также вымывание его вниз по профилю дерново-подзолистых почв [8].

Применение торфонавозного компоста, минеральных удобрений, и особенно совместное их внесение, способствовало повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Так, в среднем за две ротации севооборота урожайность сухого вещества (с.в.) картофеля была выше, чем в контроле, на 10-65 %. При повышении доз минеральных удобрений с 1/3 NPK до NPK прибавка к контролю возросла с 10,0 до 26,0 %, при увеличении дозы ТНК с 40 до 80 т/га – с 29 до 42

Табл.2. Урожайность (т/га сухого вещества) культур в кормовом севообороте, средняя за 2008 – 2019 гг.

Вариант	Картофель		Многолетние травы		Однолетние травы	
	урожайность, т/га	прибавка к контролю,%	урожайность, т/га	прибавка к контролю,%	урожайность, т/га	прибавка к контролю,%
Без удобрений	3,1	-	3,0	-	3,1	-
1/3 NPK	3,4	9,6	4,4	46,7	3,4	9,6
1/2 NPK	3,8	22,6	4,9	63,3	3,7	19,3
NPK	3,9	25,8	5,7	90,0	4,0	29,0
ТНК 40 т/га (фон 1)	4,0	29,0	3,7	23,3	3,5	12,9
Фон 1 + 1/3 NPK	4,2	35,5	4,8	60,0	3,7	19,3
Фон 1 + 1/2 NPK	4,6	48,4	5,6	86,7	3,9	25,8
Фон 1 + NPK	5,0	61,3	6,2	106,6	4,3	38,7
ТНК 80 т/га (фон 2)	4,4	41,9	4,1	36,6	3,8	22,5
Фон 2 + 1/3 NPK	4,7	51,6	5,2	73,3	4,1	32,2
Фон 2 + 1/2 NPK	5,0	61,3	5,8	91,4	4,3	38,7
Фон 2 + NPK	5,1	64,5	6,6	120,0	4,4	41,9
НСР ₀₅	0,4		0,5		0,4	

Табл. 3. Биохимический состав продукции культур кормового севооборота (среднее за 2008 – 2019 гг.)

Вариант	Картофель (клубни)				Многолетние травы (зеленая масса)				Однолетние травы (зеленая масса)			
	сухое вещество, %	крахмал, %	витамин С, мг%	нитраты, мг/кг сырой массы	сухое вещество, %	сырой протеин, %	сырой жир, %	сырая клетчатка, %	сухое вещество, %	сырой протеин, %	сырой жир, %	сырая клетчатка, %
Без удобрений	21,4	12,6	16,9	3,6	22,1	10,2	2,6	27,8	22,2	11,6	3,1	27,6
1/3 NPK	21,2	13,1	19,4	64	21,3	12,5	3,4	26,4	21,4	14,3	3,5	26,4
1/2 NPK	19,9	13,6	21,0	73	20,6	13,6	3,7	26,5	20,8	14,6	3,6	25,6
NPK	18,9	13,4	20,4	82	19,6	13,4	4,1	27,0	19,6	15,2	3,5	26,2
ТНК 40 т/га (фон 1)	20,2	12,2	17,6	62	22,8	12,1	4,3	26,8	21,9	14,9	3,8	27,0
Фон 1 + 1/3 NPK	19,6	12,9	21,7	91	21,6	13,5	3,9	26,4	20,6	14,1	3,6	26,8
Фон 1 + 1/2 NPK	18,9	13,4	19,8	98	19,3	13,7	4,0	26,8	19,8	15,2	3,9	27,3
Фон 1 + NPK	18,2	13,5	22,4	115	19,2	12,9	4,3	26,5	18,9	14,9	3,7	26,9
ТНК 80 т/га (фон 2)	19,7	13,3	21,2	93	21,8	13,6	4,2	25,6	20,7	15,7	4,1	26,4
Фон 2 + 1/3 NPK	19,4	12,8	23,7	104	19,2	14,1	4,1	25,4	20,7	15,6	4,1	26,5
Фон 2 + 1/2 NPK	18,5	13,0	24,6	118	18,9	14,4	4,2	24,8	20,3	15,3	4,2	26,2
Фон 2 + NPK	18,3	13,3	25,1	124	18,6	14,3	4,3	24,6	19,6	15,1	4,3	26,1
НСР ₀₅	1,8	1,3	2,0	10	2,0	1,4	0,5	2,6	2,0	1,3	0,4	2,7

%. Наибольшая в опыте продуктивность картофеля отмечена при совместном внесении ТНК и минеральных удобрений – 4,7-5,1 т/га с.в., что на 52-65 % выше, чем в контроле (табл. 2).

Урожайность однолетних трав при внесении одних минеральных удобрений или двойной дозы ТНК была выше, чем в контроле, на 10-29 и 13-22 % и существенно возрастала при совместном их применении, особен-

но с полной дозой NPK – на 39-42 %, по отношению к контролю.

Минеральные удобрения увеличивали урожайность многолетних трав на 47-90 %, по сравнению с контролем. Также как и на предыдущих двух культурах её величина была наибольшей при совместном внесении обоих видов удобрения под картофель (4 раза за 2 ротации севооборота).

Табл. 4. Экономическая эффективность удобрений при возделывании культур в кормовом севообороте (2019 г.)

Показатели	Варианты										
	1/3 NPK	1/2 NPK	1 NPK	ТНК 40 т/га – фон 1	Фон 1 - 1/3 NPK	Фон 1 - 1/2 NPK	Фон 1 - 1 NPK	ТНК 80 т/га – фон 2	Фон 2 - 1/3 NPK	Фон 2 - 1/2 NPK	Фон 2 - 1 NPK
Средняя прибавка урожая 3-х культур от удобрений, т/га	2,0	3,2	4,4	2,0	3,5	4,9	6,3	3,1	4,8	5,9	6,9
Затраты на внесение удобрений, тыс. руб./га	57,0	85,5	121,3	34,6	91,6	120,1	155,9	69,2	126,2	154,7	180,5
Выручка от реализации дополнительной продукции, тыс.руб./га	100,0	160,0	220,0	100,0	175,0	245,0	315,0	155,0	240,0	295,0	345,0
Условный чистый доход от использования удобрений, тыс.руб/га	43,0	74,5	98,7	65,4	83,4	124,9	159,1	85,8	113,8	140,3	164,5
Уровень рентабельности, %	75	87	81	102	91	104	102	124	90	90	91

Применяемые удобрения значительно воздействовали на биохимический состав кормовых культур. Содержание сухого вещества в клубнях картофеля с повышением доз органических и минеральных удобрений снизилось на 2-4%, значительно – при использовании органических и минеральных удобрений в высоких дозах. То же, но в меньшей степени наблюдали по однолетним и многолетним травам.

Содержание сырого протеина в вариантах с минеральными и органо-минеральными удобрениями, особенно в высоких дозах, повысилось в клубнях картофеля, однолетних и многолетних травах (табл. 3). Содержание нитратов в клубнях картофеля не превысило ПДК (250 мг/кг сырой массы). Количество сырого жира в кормовых культурах увеличилось при внесении удобрений, преимущественно в высоких дозах. Содержание сырой клетчатки с повышением доз органических и минеральных удобрений незначительно (на 1-2 %) снизилось в кормах.

В результате экономических расчетов установлено, что наиболее значительный эффект получен при использовании полной дозы минеральных удобрений на фоне двойной дозы торфо-навозного компоста, условный чистый доход составил 113,8-164,5 тыс. руб./га (табл. 4). Суммарная прибавка урожайности сухого вещества трех культур за одну ротацию севооборота составила 3,5-6,9 т/га. Затраты на удобрения достигали 91,6-180,5 тыс. руб./га. Выручка от реализации дополнительной продукции в указанных вариантах равнялась 83,4-164,5 тыс. руб. Наилучшие в опыте результаты получены при использовании полной дозы NPK (N₆₀P₃₀K₁₈₀) на фоне 80 т/га ТНК: прибавка урожайности составила 6,9 т/га; условный чистый доход – 164,5 тыс. руб./га.

Таким образом, в кормовом севообороте на дерново-подзолистой среднекультуренной почве эффективно совместное применение торфо-навозного компоста (80 т/га два раза за 6 лет) и ежегодное внесение минеральных удобрений, в дозах, рассчитанных по выносу питательных веществ планируемым урожаем культур. При таком способе внесения удобрений значительно повышается плодородие почвы, продуктивность и качество возделываемых культур, а также экономическая эффективность сельскохозяйственного производства.

Литература

1. Косолапов В.М. Роль кормопроизводства в обеспечении продовольственной безопасности России // *Адаптивное кормопроизводство*. 2010. № 1. С. 16–19.
2. Чеботарев Н.Т. Об эффективности использования удобрений при возделывании кормовых культур в условиях Республики Коми // *Кормопроизводство*. 2012. № 8. С. 32–33.
3. Минеев В.Г. *Агрохимия*. М.: МГУ, Наука, 2006. 720 с.1. Косолапов В.М.
4. Заболоцкая Т.Г., Юдинцева И.И., Кононенко А.В. *Северный подзол и удобрения*. Л.: Наука, 1985. 179 с.
5. Войтович Н.В., Лобода Б.П. *Оптимизация минерального питания в агроценозах Центрального Нечерноземья*. М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2005. 193 с.
6. Доспехов Д.А. *Методика полевого опыта*. М.: Колос, 1985. 351 с.
7. Журбицкий З.И. Влияние внешних условий на минеральное питание растений // *Агрохимия*. 1965. № 3. С. 65–75.
8. Сычев В.Г. *Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования*. М.: РАН, 2019. 328 с.
9. Лапа В.В., Ивахненко Н.Н. *Продуктивность севооборотов и изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений* // *Агрохимия*. 2012. № 9. С. 41–48.
10. Босак В.Н. *Плодородие и продуктивность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при длительном применении удобрений* // *Агрохимия*. 2012. № 9. С. 14–20.
11. *Действие и последствие органических удобрений в севообороте* / С.И. Новоселов, С.А. Горохов, М.Н. Иванов и др. // *Агрохимия*. 2013. № 8. С. 30–37.
12. Чухина О.В., Жуков Ю.П. *Плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений* // *Агрохимия*. 2013. № 11. С. 10–18.
13. *Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве* / Г.Е. Мерзлая, Г.А. Зябкина, Т.П. Фомкина и др. // *Агрохимия*. 2012. № 2. С. 37–46.
14. Шпаков А.С. *Многолетние травы в кормовых севооборотах* // *Кормопроизводство*. 1997. № 12. С. 9–11.

Поступила в редакцию 25.08.20
После доработки 19.10.20
Принята к публикации 25.12.20