

УДК 631.81:631.582(470.31)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

© 2019 г. Л. И. Ермакова¹, М. Н. Новиков^{1,*}

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений – филиал Верхневолжского ФАНЦ 609390 Владимирская обл., Судогодский р-н, д. Вяткино, Россия*

**E-mail: novik.mih@yandex.ru*

Поступила в редакцию 23.01.2019 г.

После доработки 13.02.2019 г.

Принята к публикации 10.07.2019 г.

В длительном опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве опытного поля ВНИИОУ (2001–2015 гг.) установлена возможность широкого использования в севооборотах биологизированной системы удобрения. Особенностью этой системы является расширение посевов многолетних и однолетних трав, бобовых культур, сидератов, применение растительных остатков зерновых и зернобобовых культур как удобрений. Биологизированная система удобрения не уступала традиционной органо-минеральной системе удобрения по влиянию на плодородие почвы и продуктивность севооборота, но экономически была менее затратной. На 1 кг NPK при применении органо-минеральной системы удобрения получено 10.5 кг з.е. продукции, при биологизированной – 13.5 кг з.е., доход на 1 руб. затрат на удобрения составил соответственно 2.95 и 4.25 руб.

Ключевые слова: эффективность, системы удобрения, полевой севооборот, Нечерноземная зона.

DOI: 10.1134/S0002188119100053

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с нехваткой органических и минеральных удобрений большой интерес для производства представляет более дешевая, легко доступная биологизированная система удобрения, включающая оптимизацию физико-химические свойства почвы, насыщение севооборотов высокопродуктивными средоулучшающими культурами, широкое использование на удобрение соломы, сидератов, биологического азота и необходимое количество минеральных удобрений для получения плановых урожаев высококачественной продукции.

Применение биологических приемов в земледелии имеет большое агроэкологическое значение. Сокращение объемов применения минеральных удобрений, химических средств защиты растений снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду. Севообороты, зеленые удобрения и применение соломы защищают почву от эрозии, сокращают потери питательных веществ из почвы, повышают доступность их растениям [1, 2].

Цель исследования – сравнительная агрохимическая, биологическая, экологическая и экономическая оценка применения органо-мине-

ральной и биологизированной систем удобрения из расчета на запланированный урожай культур в 7-польном полевом севообороте.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В 7-польном полевом севообороте (люпин на зерно – ячмень с подсевом многолетних трав (клевер с тимофеевкой) – травы 1-го года пользования – травы 2-го года пользования – озимая пшеница – картофель – яровое тритикале) изучали 3 системы удобрения: без удобрений – контроль, 2 – органо-минеральную систему удобрения традиционную (ОМСУ), 3 – биологизированную систему удобрения (БСУ).

В органо-минеральной системе удобрения подстилочный навоз в дозе 60 т/га вносили под картофель. В биологизированной системе в качестве органических удобрений использовали солому зерновых и зернобобовых культур, поукосный сидерат многолетних трав 2-го года пользования. В органо-минеральной системе и контрольном варианте солому отчуждали с поля.

В обеих системах удобрения недостаток элементов питания для получения планового урожая возделываемых культур (люпин на зерно – 20, ячмень – 25, озимая пшеница и тритикале – 30, кар-

Таблица 1. Изменение агрохимических свойств почвы (слой Апах) в течение полевого опыта

Система удобрения	Год исследования	Гумус, %	рН _{KCl}	<i>H</i> _г	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мг-экв/100 г почвы		мг/кг	
Без удобрений	2001	1.09	5.44	1.94	4.04	113	122
	2015	1.10	5.55	2.05	3.97	87	100
ОМСУ	2001	1.01	5.02	2.34	3.03	108	89
	2015	1.23	5.48	2.47	4.18	162	142
БСУ	2001	1.01	5.20	2.05	2.92	137	96
	2015	1.21	5.25	2.28	4.16	160	129

Примечание. ОМСУ – органоминеральная система удобрения, БСУ – биологизированная система удобрения. То же в табл. 2–8.

тофель – 250, сено многолетних трав – 40 ц/га) компенсировали за счет минеральных удобрений [3].

В среднем за 2 ротации севооборота с органическими и минеральными удобрениями на 1 га пашни было внесено элементов питания (NPK) за год: в органо-минеральной системе удобрения – 155, в биологизированной – 111, из них соответственно 42 и 70 кг/га – с минеральными удобрениями. Повышенное внесение минеральных удобрений в БСУ связано с картофелем, под который вместо навоза 60 т/га была внесена доза минеральных удобрений (NPK)300 на запланированный урожай 250 ц/га. Агротехника в опыте – общепринятая для условий Нечерноземной зоны [4].

Оценочными критериями в опыте были плодородие почвы, экологическое состояние посевов, продуктивность севооборота, качество растениеводческой продукции, экономическая эффективность систем удобрения.

Научные исследования проводили в соответствии с “Методическими указаниями по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями” и ГОСТам [5–12]. Биологические свойства почвы оценивали по численности физиологических групп микроорганизмов и целлюлозолитической активности почвы [13, 14], поражение растений болезнями и вредителями – по [15, 16], накопление биологического азота – по [17], расчет экономической эффективности систем удобрения – по [18], математическую обработку результатов провели по [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Усредненные показатели агрохимических свойств пахотного слоя почвы за 2 ротации севооборота показали, что в полевом севообороте без удобрений при 43%-ном насыщении бобовыми культурам отмечен бездефицитный баланс гумуса, незначительное изменение кислотности, сни-

жение на 22% содержания подвижного фосфора и на 18% – обменного калия (табл. 1).

Изменения обменной и гидролитической кислотности в вариантах опыта были связаны с насыщением севооборота бобовыми культурами, обеспечившими повышенное накопление в почве органической массы.

Обе системы удобрения оказали положительное влияние на плодородие почвы. Почти в равной мере увеличилось содержание гумуса. Оптимизация кислотности почвы и фосфорно-калийного питания растений лучше проявилась под влиянием органо-минерального удобрения. Внесение в достаточном количестве свежего органического вещества с удобрениями в биологизированной системе способствовало увеличению биологической активности почвы под всеми культурами севооборота, при этом максимальная целлюлозолитическая активность почвы отмечена в посевах тритикале и картофеля (рис. 1).

Картофель способствовал биологической активности почвы как пропашная культура, улучшающее действие которой на физические свойства почвы сохранилось и в посевах тритикале.

В конце ротации севооборотов содержание в почве микроорганизмов, использующих органические формы азота, под влиянием органо-минеральной системы удобрения увеличилось на 43, биологизированной – на 75%, содержание микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, возросло соответственно на 29 и 31% по сравнению с контролем без удобрений (табл. 2).

Удобрения способствовали более интенсивному развитию всех видов изученных микроорганизмов. Приоритет биологизированной системы в большей степени проявился на развитии бактериальной микрофлоры, органо-минеральной системы – грибной микрофлоры и нитрификаторов.

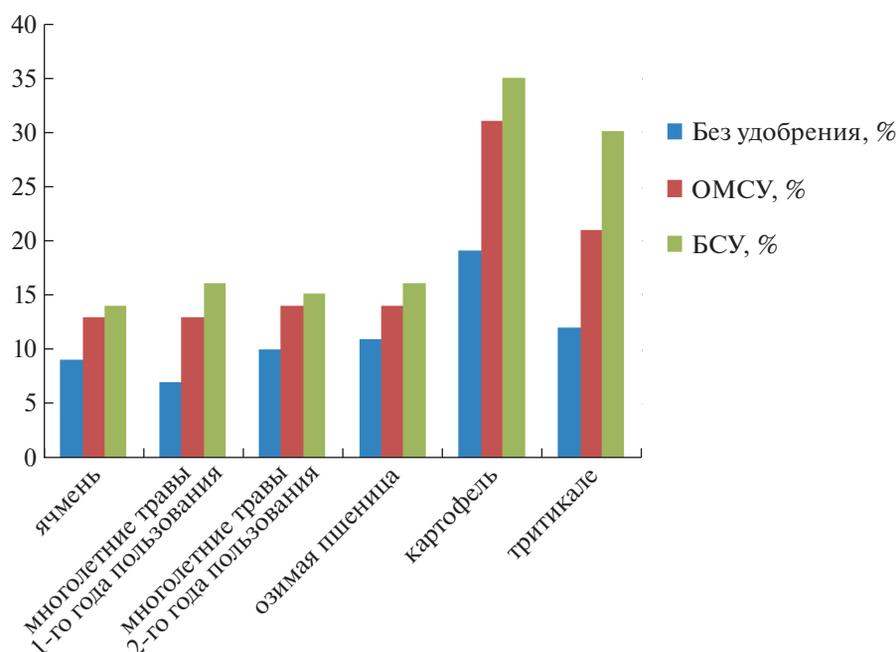


Рис. 1. Биологическая активность почвы под культурами севооборота, % разложения хлопчатобумажной ткани.

Оказывая положительное влияние на агрохимические и биологические свойства почвы, изученные системы удобрения обусловили получение

урожаев большинства культур севооборота до уровня и даже больше запланированных показателей (табл. 3).

Таблица 2. Численность микроорганизмов в почве в конце 2-й ротации севооборота (под посевами тритикале), КОЕ $\times 10^3$ /г абсолютно сухой почвы

Система удобрения	Использующие органические формы азота на МПА	Использующие минеральные формы азота на КАА			Грибы на среде Чапека	Нитрофикаторы
		общие	в том числе			
			бактерии	актиномицеты		
Без удобрения	3667	5200	3130	2070	23.3	4.6
ОМСУ	5230	6730	3730	3000	75.1	9.3
БСУ	6430	6820	4270	2550	70.4	7.0

Таблица 3. Влияние систем удобрения на урожайность культур севооборота (среднее за 2 ротации), ц/га

Культура севооборота	Без удобрения	ОМСУ		БСУ	
	1	1	2	1	2
Люпин (зерно)	14.2	14.4	0.2	14.1	-0.1
Ячмень + многолетние травы	11.5	32.7	21.2	30.1	18.6
Травы 1-го года пользования (сено)	34.0	75.0	41.0	74.0	40.0
Травы 2-го года пользования (сено)	85.0	103	18.0	105	20.0
Озимая пшеница	17.8	31.3	13.5	31.0	13.2
Картофель	137	260	123	224	87
Тритикале	17.5	31.8	14.3	34.2	16.7
Продуктивность севооборота, ц з. е./га	169	283	114	273	105
Среднегодовая продуктивность, ц з. е./га	24.1	40.4	16.3	39.1	15.0

Примечание. В графе 1 – урожайность, 2 – прибавка урожайности.

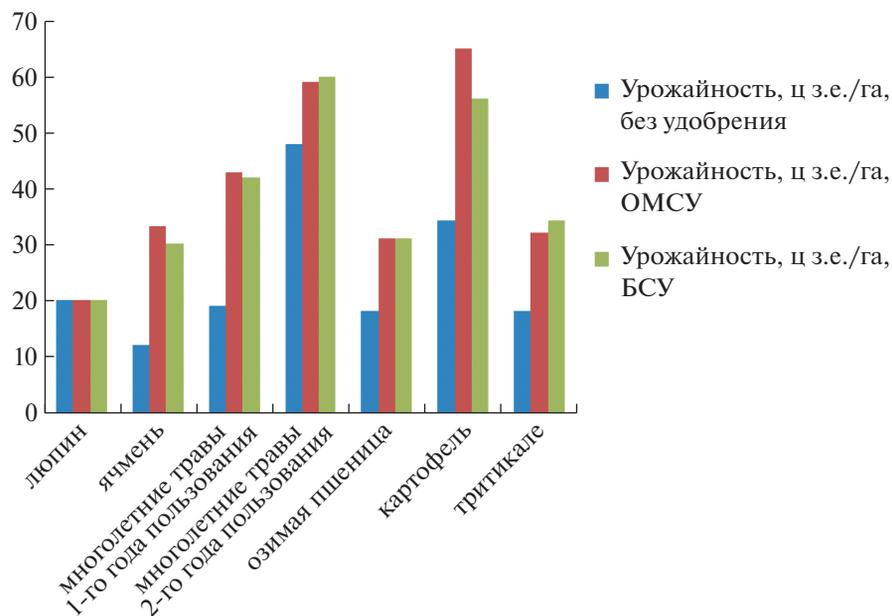


Рис. 2. Влияние систем удобрения на урожайность основной продукции культур севооборота в зерновом эквиваленте (среднее за 2 ротации), ц з.е./га.

Под влиянием органо-минеральной и биологизированной систем удобрения по сравнению с контрольным вариантом урожайность зерна ячменя возросла на 182 и 162%, сена многолетних трав 1-го года пользования – на 120 и 118%, многолетних трав 2-го года пользования – на 21 и 24%, клубней картофеля – на 90 и 64% зерна тритикале – на 82 и 95%. В целом продуктивность основной продукции при применении органо-минеральной системы удобрения возросла на 67, биологизированной – на 62%, максимальная урожайность в севообороте была у многолетних трав и картофеля (рис. 2).

Продуктивность пшеницы и тритикале при применении удобрений достигла планируемого уровня, ячменя – превзошла на 5–8 ц з.е./га. Прирост урожая зерновых культур при использовании органо-минеральной и биологизированной систем удобрения произошел за счет увеличения таких показателей, как длина колоса, число зерен и масса зерен в колосе. У ячменя и озимой пшеницы наблюдали увеличение продуктивной кустистости в 1.4–1.7 раза и массы зерна с колоса в 1.3–1.5 раза.

Наиболее значительные изменения показателей структуры урожая отмечены у ярового трити-

Таблица 4. Структура урожая зерновых культур

Система удобрения	Высота растений, см	Продуктивная кустистость, шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Вес зерен одного колоса, г
Ячмень					
Без удобрения	48.2	1.32	4.25	12.1	0.47
ОМСУ	51.1	2.07	5.30	12.3	0.62
БСУ	52.3	1.84	4.93	13.3	0.71
Озимая пшеница					
Без удобрения	72.2	0.78	6.7	26.9	0.45
ОМСУ	98.4	0.91	8.5	28.0	0.71
БСУ	91.0	0.92	8.4	28.6	0.66
Тритикале					
Без удобрения	73.8	1.38	6.4	20.8	0.80
ОМСУ	95.6	0.93	10.1	34.4	1.19
БСУ	93.1	0.94	8.6	33.7	1.13

Таблица 5. Влияние систем удобрения на структуру и качество урожая клубней картофеля

Система удобрения	Количество клубней, шт./куст	Распределение по массе клубней с одного куста, %			Содержание крахмала, %	Содержание в клубнях нитратов, мг/кг	Количество больных клубней, %
		крупные ≥ 120 г	средние 120–60 г	мелкие ≤ 60 г			
Без удобрения	10	50	31	19	12.5	18.3	13.4
ОМСУ	16	59	24	17	13.7	31.9	8.9
БСУ	14	59	23	18	13.4	40.9	9.1

Таблица 6. Содержание элементов питания в сухом веществе основной продукции, %

Система удобрения	Культуры севооборота						
	люпин на зерно	ячмень + многолетние травы	многолетние травы 1-го года пользования	многолетние травы 2-го года пользования	озимая пшеница	картофель	тритикале
	$N_{\text{общ}}$						
Без удобрения	5.28	1.77	1.56	1.47	1.91	1.25	1.76
ОМСУ	5.15	1.59	2.22	2.09	2.09	1.57	1.86
БСУ	5.07	1.73	2.17	2.13	2.09	1.76	1.77
	$P_2O_5_{\text{общ}}$						
Без удобрения	0.99	0.67	0.54	0.57	1.19	0.88	1.37
ОМСУ	1.08	0.84	0.72	0.75	1.21	0.60	1.04
БСУ	0.94	0.81	0.72	0.78	1.22	0.62	1.03
	$K_2O_{\text{общ}}$						
Без удобрения	0.84	0.58	1.42	1.75	0.49	1.61	0.55
ОМСУ	0.91	0.59	2.08	1.97	0.43	1.57	0.46
БСУ	0.84	0.60	2.08	1.97	0.45	1.50	0.46

кале: длина колоса увеличилась в 1.3–1.6 раза, озерненность колоса – в 1.6–1.7 раза, масса зерна одного колоса – в 1.4–1.5 раза (табл. 4).

Существенное влияние изученные системы удобрения оказали на структуру и качество картофеля: количество клубней с куста увеличилось в 1.5 раза, масса крупной фракции – в 1.2 раза, содержание крахмала повысилось на 0.9–1.2% относительно варианта без удобрений. После одного месяца хранения картофеля количество больных клубней в вариантах с использованием органо-минеральной и биологизированной систем удобрения было в 1.5 раза меньше, чем в контрольном варианте. При использовании обеих систем удобрения отмечено повышенное накопление в клубнях нитратного азота, чем в варианте без удобрений, но его содержание не превышало ПДК [20] (табл. 5).

Системы удобрения оказали влияние на содержание элементов питания в основной продукции культур севооборота (табл. 6). В большей ме-

ре положительное действие удобрений на накопление всех элементов питания проявилось в растениях клевера, азота – пшеницы и картофеля, фосфора – ячменя. Под влиянием удобрений в растениях люпина снижалось содержание азота, в растениях картофеля и тритикале – фосфора и калия. Одним из важнейших показателей полевых севооборотов Нечерноземной зоны является выход белка и качество продукции культур. Показано, что величина этих показателей существенно зависела не только от культур севооборота, но и от применения удобрений (табл. 7).

Наибольший выход белка в севообороте отмечен в посевах многолетних трав, люпина, картофеля и озимой пшеницы, наименьший – в посевах ячменя. При применении обеих систем удобрения выход белка возрастал, в среднем за ротацию севооборота на 64%. Эффект систем удобрения был равноценен. Качество продукции большинства культур севооборота по содержанию белка существенно не зависело от удобре-

Таблица 7. Выход белка (сырого протеина) при применении различных систем удобрения в полевом севообороте

Культура севооборота	Системы удобрения					
	Без удобрения		ОМСУ		БСУ	
	Выход белка					
	ц/га	г/кг з.е.	ц/га	г/кг з.е.	ц/га	г/кг з.е.
Люпин (зерно)	4.0	201	4.0	198	3.8	192
Ячмень	1.0	83	2.5	76	2.6	86
Травы 1-го года пользования (сено)	2.8	150	6.1	149	5.9	144
Травы 2-го года пользования (сено)	6.6	140	8.0	140	8.5	145
Озимая пшеница	1.7	96	3.2	102	3.2	103
Картофель	2.1	61	5.6	86	5.5	98
Тритикале	1.5	83	2.9	91	3.0	88
Продуктивность севооборота	19.7	–	32.3	–	32.5	–
Среднее за год	2.8	–	4.6	–	4.6	–

Таблица 8. Экономическая эффективность различных систем удобрения в полевом севообороте (среднее на 1 га за 2 ротации севооборота)

Система удобрения	Среднегодовая продуктивность, ц з.е./га	Затраты, тыс. руб. на			Выручка от реализации продукции, тыс. руб.	Условно чистый доход, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %	Окупаемость 1 кг NPK, кг з.е.
		удобрения	возделывание культур	итого				
Без удобрения	24.1		90.0	90.0	144.6	54.6	60.7	
ОМСУ	40.4	33.0	112	145	242.4	97.4	67.2	10.5
БСУ	39.1	24.0	108	132	234.6	102.6	77.7	13.5

ний. Лишь в клубнях картофеля на 7% увеличилось количество белка, а в зерне люпина и многолетних травах отмечено его незначительное снижение.

Расчет экономической эффективности использования различных систем удобрения в полевом севообороте (табл. 8) проводили по методике Баранова [18]. При этом затраты на удобрения, семена и возделывание культур взяты из соответствующих технологических карт, которые ежегодно разрабатывали в течение проведения опыта. Стоимость 1 кг зерновой продукции с вычетом затрат на ее уборку, подработку и хранение составила 6 руб.

По продуктивности обе системы удобрения были почти равноценными, но в связи с меньшими затратами на удобрения (NPK) и возделывание культур условно чистый доход от биологизированной системы удобрения возрос на 5.2 тыс. руб. (на 5%), рентабельность увеличилась до 10.5% (на 16.5%). Доход 1 руб. затрат на удобрения

в органо-минеральной системе составил 2.95, в биологизированной – 4.25 руб.

Если учесть, что в среднем за 2 ротации севооборота с органическими и минеральными удобрениями на 1 га пашни было внесено элементов питания (NPK) за год в органо-минеральной системе – 155 кг, в биологизированной – 111 кг, то с учетом показателей продуктивности севооборота окупаемость 1 кг NPK систем удобрения соответственно достигла 10.5 и 13.5 кг з.е. основной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, биологизированную систему удобрения, как и традиционную органо-минеральную, можно использовать для получения плановых урожаев культур в полевом севообороте. Оказывая положительное влияние на плодородие почвы, обе системы удобрения в равной мере способствовали росту продуктивности сево-

оборота и выхода белка. Ввиду меньшего расхода элементов питания на формирование урожая (на 29%) биологизированная система удобрения была более рентабельной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: ВНИИА, 2012. 512 с.
2. Новиков М.Н., Тужилин В.М. Система биологизации земледелия в Нечерноземной зоне (Научно-практические рекомендации на примере Владимирской области). М.: Росинформагротех, 2007. 296 с.
3. Каюмов М.К. Справочник по программированию урожая. М.: Россельхозиздат, 1977. 340 с.
4. Справочник агронома Нечерноземной зоны / Под ред. Гуляева Г.В. М.: Колос, 1970. 576 с.
5. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. Анализ почв / Под ред. Панникова В.Д. М., 1975. 164 с.
6. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 2. Анализ растений / Под ред. Панникова В.Д. М., 1975. 164 с.
7. Степень кислотности почв – величина $pH_{\text{сол}}$ по методу ЦИНАО. ГОСТ 26483-85.
8. Гидролитическая кислотность – по методу Каппена. ГОСТ 26212-91.
9. Сумма поглощенных оснований по методу Каппена. ГОСТ 27821-88.
10. Содержание органического вещества (гумуса) по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. ГОСТ 26213-91.
11. Содержание подвижного фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. ГОСТ 26207-91.
12. Программа и методика исследований в Географической сети полевых опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии / Под ред. Милащенко Н.З. М., 1990. 187 с.
13. Мишустин Е.Н., Емцев В.Е. Микробиология. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с.
14. Никитенко Г.Ф. Опытное дело в полеводстве. М., 1982. 175 с.
15. Хохряков М.К. Определение болезней растений. Л.: Колос, 1966. 532 с.
16. Брянецев В.А. Сельскохозяйственная энтомология. Л.: Колос, 1966. 342 с.
17. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. 299 с.
18. Экономика использования удобрений / Под ред. Баранова Н.Н. М.: Колос, 1974. 319 с.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1968. 336 с.
20. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

Comparative Efficiency of Different Fertilizer Systems in Field Pumps

L. I. Ermakova^a and M. N. Novikov^{a, #}

^aAll-Russian Research Institute of Organic Fertilizers – Branch of “Verhnevolzhsky Federal Agricultural Research Center” Vladimir region, Sudogodsky district, d. Vyatkino 609390, Russia

[#]E-mail: novik.mih@yandex.ru

In the long-term experience on the sod-podzolic sandy soil of the experimental field of All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers (2001–2015), it was installed the possibility of widespread use in crop rotations of the biologized fertilizer system. The peculiarity of this system is the expansion of crops of perennial and annual herbs, legumes, green manure, the use of plant residues of grain and leguminous crops as fertilizers. The biologized fertilizer system was not inferior to the traditional organo-mineral fertilizer system in terms of its impact on soil fertility and crop rotation productivity, but was economically less expensive. On 1 kg NRK at application of organo-mineral system of fertilizer 10.5 kg grain unit (g.u.) are received products with bio – 13.5 kg g.u. income per 1 ruble of the costs of fertilizers were respectively 2.95 and 4.25 ruble. New knowledge was obtained on the comprehensive assessment of different fertilization systems in relation to soil–fertilizer–plant–quality products–economy of non-Chernozem zone of the Russian Federation.

Key words: efficiency, fertilizer systems, field crop rotation, Non-Chernozem zone.