

ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ

А.Г. ДЗЮИН

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук)

Решение проблемы воспроизводства плодородия почв – одна из главных задач в земледелии Удмуртской республики и Нечерноземья. Наиболее приемлемый способ решения – биологизация, предусматривающая снижение объемов химических и увеличение биологических средств. При дефиците навоза применение только сидератов или соломы не решает проблему. На кислых почвах необходимо комплексное воздействие на почву, прежде всего – известкование и применение оптимальных доз минеральных удобрений, способствующих повышению продуктивности земель и севооборота в короткие сроки.

На Удмуртском НИИСХ с 1971 г. в 8-польном севообороте (1 – пар; 2 – озимая рожь; 3 – картофель, кукуруза; 4 – яровая пшеница; 5 – клевер; 6 – клевер; 7 – озимая рожь; 8 – ячмень) изучаются различные системы удобрений. Фактор А – фоны: 0 – нулевой [10]; I^2 – известь по $1N_7$ (4,9 т/га $CaCO_3$) в первой + $2N_7$ (7,5 т/га) во второй ротации; H^5C – навоз 40 (1 ротация) + 60 т/га (2–5 ротации) + сидерат (6 ротация); I^2H^5C – известь + навоз + сидерат аналогично. Фактор В – варианты. Рассматриваются варианты без удобрений и НРК. Известь снизила кислотность почвы до нейтрального уровня, в четвертой ротации незначительно повысилась. Содержание P_2O_5 , K_2O , гумуса достигло наибольшего уровня в пятой ротации на унавоженных фонах. В результате за 6 ротаций получению 3,23 и 3,31 т з.е./га (на 18,3 и 22,0% больше, чем без удобрений). В системах с известью и навозом минеральные удобрения повысили продуктивность севооборота на 32,4–35,7% в среднем за весь период. Оптимальные дозы для 3,0–4,0 т з.е./га составили 40–50 кг д.в./га НРК. Снижение доз с 40–60 до 10–30 кг/га НРК за последние 2 ротации привело к снижению продуктивности севооборота (2,74–2,84) на 0,41–0,49 т з.е./га. Известково-органоминеральная система удобрения в третьей, четвертой, пятой ротациях с добавлением микроудобрений (цинк – озимая рожь, кобальт – картофель, медь – яровая пшеница, ячмень, бор, молибден – клевер) [9] обеспечивала наибольшую продуктивность севооборота: 4,67; 4,25; 3,32 т з.е./га, с наивысшими прибавками – 2,05; 1,12; 1,05 т з.е./га, или 78,2; 35,8; 46,2% соответственно ротациям. Навоз на сидерат – гороховосвяную смесь – можно заменять только периодически.

Ключевые слова: севооборот, известь, навоз, минеральные удобрения, сидеральные удобрения, продуктивность, плодородие почвы

Введение

Наиболее действенным средством повышения урожайности полевых культур на дерново-подзолистых почвах является комплексное применение известковых, органических и минеральных удобрений [13, 18]. Без удобрений никакие другие факторы (сорт, средства защиты растений и т.п.) не могут обеспечить повышение плодородия почв [21] и увеличение урожайности.

В научной литературе опубликованы работы по эффективности различных систем удобрений, и большинство исследователей отдают предпочтение известково-органоминеральной системе удобрений [3, 14]. Другие исследователи обращают больше внимания органоминеральной системе [15, 18, 23]. Имеются данные,

указывающие на эффективность минеральной системы [13, 24]. Опыты на дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почвах показали, что «...самым эффективным средством повышения урожайности культур являлось применение полного минерального удобрения. Наибольшая продуктивность севооборота (4,76 т з.е/га) была получена во второй ротации при внесении минеральных удобрений в дозах N147–461P200K160. При этом на величину урожая оказывали влияние все виды внесенных минеральных удобрений...» [14].

Система удобрений в каждой ротации должна уточняться. Такая постановка вопроса определяется длительностью действия удобрительных средств: извести, навоза, НРК. Совместное применение удобрений повышает урожайность культур севооборота. Например, внесение НРК (116 кг/га), навоза (8,8 т/га пашни) и извести в севообороте позволило получить: зерновых – до 3,74 т/га; сена клевера – 6,9 т/га; картофеля – 29,2 т/га; кукурузы (зеленая масса) – 49,6 т/га» [2].

По данным С.И. Поповой и др. [20], на дерново-подзолистых почвах за 4 ротации севооборота известково-органоминеральная система удобрения обеспечила рост продуктивности севооборота с 1,74 до 3,15 т к.е/га, известково-минеральная – 3,30, органоминеральная – 2,94 т/га. Эффективность удобрений в значительной степени зависит от погодных условий, причем определяющим фактором является обеспеченность влагой [22].

Цель исследований: разработать системы удобрений на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве с внесением минеральных удобрений, извести, навоза, соломы и сидератов в длительном опыте, для повышения продуктивности севооборота [6]. Задачами исследований являлись: влияние минеральных удобрений на продуктивность севооборота [14] в зависимости от сочетаний с фоновыми удобрениями; влияние пониженных доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота [14]; возможность замены навоза как фонового удобрения на сидерат – горохоовсяную смесь.

Материал и методы исследований

Длительный стационарный опыт был заложен в 1971–1972 гг. в 2-кратной повторности с интервалом в один год. Севооборот – 8-польный с чередованием культур: 1 – пар черный; 2 – озимая рожь; 3 – картофель в первой-третьей ротациях; кукуруза в четвертой-пятой ротациях; 4 – яровая пшеница + клевер; 5 – клевер 1 г.п.; 6 – клевер 2 г.п.; 7 – озимая рожь; 8 – ячмень [5]. Высевались районированные в республике сорта культур. С момента закладки прошло 6 ротаций. Схема опыта состоит из следующих двух факторов.

Фактор А – фоны: 0 – нулевой; I^2 – известь (в форме известняковой муки) по $1N_{\Gamma}$ в начале первой ротации севооборота (4,9 т/га $CaCO_3$) + по $2N_{\Gamma}$ в начале второй ротации (7,5 т/га $CaCO_3$); H^5C – навоз крупного рогатого скота 40 т/га под первую ротацию севооборота + по 60 т/га под вторую-пятую ротации + сидерат в шестой ротации; I^2H^5C – известь по $1N_{\Gamma}$ под первую и по $2N_{\Gamma}$ под вторую ротации + навоз 40 т/га под первую и по 60 т/га под вторую-пятую ротации [8] + сидерат в шестой ротации (табл. 1). В качестве сидерата в почву заделали горохоовсяную смесь – 18 т/га.

Фактор В – варианты с внесением минеральных удобрений. Рассматриваются два варианта: первый – без удобрений; пятый – с внесением полного удобрения НРК. Среднегодовые дозы удобрений составили: в первой ротации – N64P46K46; во второй – N92P86K77; в третьей – N56P46K46; в четвертой – N30P28K17. Достигнутый уровень плодородия почвы после четвертой ротации позволил снизить дозы применения минеральных удобрений. В этой связи в пятой и шестой ротациях изучали пониженные уровни минеральных удобрений в севообороте: от N10P10K10 до N60P60K60 с шагом в 10 кг/га.

Схема внесения фоновых удобрений по ротациям

Система	Ротация						
	1	2	3	4	5	6	Символ
Минеральная	О	О	О	О	О	О	О
Известково-минеральная	И по 1Нг	И по 2Нг	–	–	–	–	И ²
Органо-минеральная [10]	Н ⁴⁰	Н ⁶⁰	Н ⁶⁰	Н ⁶⁰	Н ⁶⁰	С ¹⁸	Н ⁵ С
Известково-органоминеральная [10]	И по 1Нг + Н ⁴⁰	И по 2Нг + Н ⁶⁰	Н ⁶⁰	Н ⁶⁰	Н ⁶⁰	С ¹⁸	И ² Н ⁵ С
Условные обозначения	О – без удобрений; И – известь; Н _r – гидролитическая кислотность; Н – навоз (в числителе – количество, т/га); С – сидеральное удобрение (в числителе – количество, т/га)						

В третьей-шестой ротациях дважды за ротацию севооборота запахивали солому озимой ржи. Почва – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая с агрохимическими данными до закладки опыта: рН_{KCl} – 5,0; Нг по Каппену – 2,7 мг-экв/100 г; S (сумма поглощенных оснований) по Каппену-Гильковицу – 14,8 мг-экв/100 г, Р₂О₅ и К₂О по Кирсанову – 52,0 и 92 мг/кг почвы соответственно; гумус по Тюрину – 2,5% [8]. Повторность опыта – четырехкратная. Статистическую обработку урожайности произвели методом дисперсионного анализа данных многофакторного полевого опыта (метод рендомизированных повторений-блоков) по Б.А. Доспехову [12]. Наблюдение метеоусловий проводилось агрометеорологической станцией «Ижевск» на смежных полях стационара.

Агроклиматический район имеет неустойчивый характер увлажнения. Нередко испарение превышает количество выпавших осадков, бывают засухи [4]. Метеорологические условия в годы проведения исследований были типичными для зоны [4], характеризуюсь существенными различиями как по температурному режиму воздуха, так и по осадкам. Не совсем благоприятными были погодные условия в период прохождения первой ротации севооборота (1971–1979 гг.). По причине сильной засухи в 1973 г. пострадала яровая пшеница, в 1975 г. – клевер 1 г.п. В отдельные годы вследствие недостатка осадков в мае, июне, июле наблюдалось снижение урожаев от внесения минеральных удобрений. Майские и июньские засухи часто возникали и в годы второй ротации севооборота (1980–1987). Во время третьей ротации (1988–1995) отдельные годы (1988, 1989, 1991, 1995) характеризовались высокой температурой воздуха в первой половине вегетации растений и существенным недостатком влаги в мае-августе (40–72% от среднемноголетнего количества) [1, 9]. За период прохождения четвертой ротации севооборота (1996–2003 гг.) засуха создавалась во все годы: в июне 1999 г., в июле 1996–1998 гг., в 2000–2003 гг. В годы пятой ротации (2004–2011) засушливые условия были в июне 2006, 2008 и 2010 гг. Участвовавшие засухи в июне и июле 2009 г., и особенно в экстремальном 2010 г., задерживали рост и развитие растений. Значительное влияние весенне-летние засухи на продуктивность севооборота оказывали в шестой ротации (2012–2019 гг.), повторяясь ежегодно и через год.

Результаты и их обсуждение

В стационарном опыте многолетние исследования показали, что кислая дерново-подзолистая почва процессу окультуривания подвергается медленно, в течение довольно длительного времени. Так, в первой ротации на среднекислой почве от внесения извести по 1 Н_г и навоза 5,0 т/га севооборотной площади [3], несмотря на то, что отмечено повышение продуктивности как без применения минеральных удобрений, так и с применением их в дозах N64P46K46 (продуктивность севооборота от минеральных удобрений в среднем по фонам увеличилась с 2,19 до 2,64 т з.е/га), заметно сдерживающее влияние извести на рост продуктивности севооборота даже в сочетании с навозом (табл. 2). Наиболее наглядно это проявилось во второй ротации севооборота. Подтверждением этого являются данные Л.П. Огородникова [19] о том, что «...дерново-подзолистая суглинистая почва, известкованная по 1Н_г, подкислялась до исходных значений на 7-й год действия мелиорантов». Слабое действие извести следует объяснить также наличием в известняковой муке частиц крупнее 1 мм (18%) при содержании 80% CaCO₃.

Во второй ротации севооборота аналогично первой наилучшее свое действие проявила органоминеральная система удобрения (внесено N92P86K77 под культуру, навоза 7,5 т/га севооборотной площади), обеспечившая получение 3,32 т з.е/ га [6]. В опыте ЦОС ВИУА органоминеральная система удобрения (навоз 12,5 т/га севооборотной площади и N127P75K176) обеспечила получение 5,0 т з.е/га [16].

Существенное повышение продуктивности севооборота произошло при полном сочетании компонентов системы удобрений в третьей ротации. Так, известково-органоминеральная система удобрения с внесением извести под первую по 1Н_г и под вторую ротации по 2Н_г, навоза под каждую ротацию по 40, 60, 60 т/га и минеральных удобрений в дозах N64P46K46, N92P56K77, N56P46K46 соответственно обеспечила получение наибольшей продуктивности севооборота – 4,00 т з.е/ га в год. В варианте с добавлением микроудобрений (цинк под озимую рожь, кобальт под картофель, медь под яровую пшеницу и ячмень, бор и молибден под клевер) продуктивность севооборота увеличилась до 4,67 т з.е/ га [6].

В четвертой ротации продуктивность севооборота также была выше по известково-органоминеральной системе удобрений. При внесении пониженных доз (N30P28K17) она составила 3,81 т з.е/га. Повышение доз удобрений (N81P80K102) привело к росту продуктивности севооборота, составив 4,12 т/га, с использованием комплекса микроудобрений – 4,25 т/га. Этой системе незначительно уступала органоминеральная (4,01 т/га) система, и существенно – известково-минеральная (3,54) и минеральная (3,55 т з.е/га) системы [6]. С увеличением насыщенности севооборота удобрениями повышались агрономическая эффективность и экономические показатели (рентабельность составила более 100%). В севообороте с двумя полями клевера 2-кратное использование соломы озимой ржи за ротацию в качестве удобрения повлияло на урожайность культур: на нулевом фоне в четвертой ротации продуктивность севооборота достигла величины 2,52 т з.е/га.

Длительное применение удобрений в стационарном опыте показало, что изменение параметров плодородия почвы зависело от фоновых удобрений. Со времени закладки опыта (1971–1972 гг.) на нулевом и унавоженном фонах произошло подкисление почвы. Величина рН_{КС1} в среднем понизилась с 5,00 до 4,60 и 4,80 к началу, до 4,44 и 4,96 – соответственно к концу четвертой ротации севооборота. Сумма поглощенных оснований уменьшилась с 14,8 до 12,1–13,0 и 12,5–14,6 мг-экв/ 100 г почвы, степень насыщенности основаниями – с 85,2 до 76,0–77,0 и 73,0–78,0% соответственно [4].

Таблица 2

Влияние фонов на продуктивность севооборота в зависимости от внесения минеральных удобрений по ротациям, т з.е/ га (1971–2019 гг.)

Фон	Ротация												Среднее	
	1		2		3		4		5		6			
	Ср. годовая	Прибавка												
Без минеральных удобрений														
О	1,98	–	2,55	–	2,01	–	2,52	–	1,83	–	1,80	–	2,13	–
И ²	2,19	0,21	2,49	–0,06	1,93	–0,08	2,57	0,05	1,91	0,08	2,32	0,42	2,24	0,11
Н ⁵ С	2,33	0,35	2,94	0,39	2,53	0,52	3,05	0,52	2,25	0,42	2,33	0,49	2,57	0,44
И ² Н ⁵ С	2,28	0,30	2,75	0,20	2,62	0,61	3,13	0,61	2,27	0,44	2,24	0,34	2,55	0,42
Среднее	2,19	–	2,68	–	2,27	–	2,82	–	2,06	–	2,20	–	2,37	–
С внесением минеральных удобрений														
О	2,40	–	3,21	–	3,12	–	3,17	–	2,55	–	2,59	–	2,84	–
И ²	2,68	0,28	3,04	–0,17	3,24	0,12	3,35	0,18	2,50	–0,05	2,77	0,18	2,93	0,09
Н ⁵ С	2,75	0,35	3,32	0,11	3,79	0,67	3,71	0,54	2,79	0,24	3,02	0,43	3,23	0,39
И ² Н ⁵ С	2,72	0,32	3,22	0,01	4,00	0,88	3,81	0,64	2,91	0,36	3,18	0,59	3,31	0,47
Среднее	2,64	–	3,20	–	3,54	–	3,51	–	2,69	–	2,89	–	3,08	–
НСР ₀₅	–	0,19	–	0,35	–	0,18	–	0,08	–	0,13	–	0,07	–	0,17
Прибавки от минеральных удобрений														
О	0,42		0,66		1,11		0,65		0,72		0,69		0,71	
И ²	0,49		0,55		1,31		0,78		0,59		0,45		0,69	
Н ⁵ С	0,42		0,28		1,26		0,66		0,54		0,45		0,69	
И ² Н ⁵ С	0,44		0,47		1,38		0,58		0,64		0,94		0,76	
Среднее	0,45		0,52		1,27		0,69		0,63		0,69		0,71	
НСР ₀₅	0,32		0,27		0,20		0,03		0,11		0,05		0,14	

Известкование (фоны И² и И²Н⁴), проведенное повторно в начале второй ротации севооборота по двойной гидrolитической кислотности, увеличило величину рН_{КС1} к началу четвертой ротации севооборота до 6,60 ед. в среднем (максимально возросла до 6,80 ед.). Но к концу ротации севооборота она снизилась

до 6,44 на известкованном (I^2) и на 6,32 – унавоженном (I^2N^4) фонах. Гидролитическая кислотность снизилась с 2,70 до 0,83 и 0,97 на фоне I^2 и 0,98 и 1,31 мг-экв/100 г почвы на фоне I^2N^4 соответственно. Сумма поглощенных оснований и степень насыщенности основаниями стали значительно выше. На фоне I^2 к началу ротации она достигла 21,6. К концу ротации она составляла 23,7, на фоне I^2N^4 – соответственно 24,6 и 23,2 мг-экв/100 г почвы [5].

Минеральные удобрения повышали продуктивность севооборота. Внесение $N10P10K10$ в пятой ротации увеличило ее на 0,54–0,72 т з.е/га в зависимости от фона при HCP_{05} –0,11 т/га (табл. 2). Последовательное увеличение доз на $N10P10K10$ приводило к возрастанию продуктивности практически на равную величину: на 0,03; 0,08; 0,03; 0,08; 0,07 т з.е/га). Внесение микроэлементов в сочетании с $N60P60K60$ также увеличило урожайность на 0,03 т з.е/га по отношению к $N50P50K50$. Прибавка к контролю без удобрений в варианте $N60P60K60$ + микроэлементы составила 0,92 т з.е/га, или 45,1%. Наибольшее влияние на продуктивность севооборота оказал азот. Так, доля азота на уровне 40 кг д.в/га составила 23,5%, фосфора – 17,2%, калия – 16,2%. Лучшие условия для питания растений создавались на унавоженных фонах N^5 и I^2N^5 , обеспечившие получение 2,79 и 2,91 т з.е/га в год (с прибавками – по 0,24 и 0,36 т/га, HCP_{05} –0,13).

Использование сидерата (горохоовсяной смеси) вместо навоза оказалось вполне приемлемым средством для поддержания плодородия почвы и повышения продуктивности севооборота. Продуктивность его в шестой ротации не снизилась. Она увеличилась по сравнению с пятой ротацией и составила без минеральных удобрений 2,20, с удобрениями – 2,89 против 2,06 и 2,69 т з.е/га в среднем. Эффективность сидерата усиливалась во взаимодействии с соломой озимой ржи, которая использовалась на двух полях севооборота за последние 4 ротации.

Улучшились условия питания для растений. Органоминеральная и известково-органоминеральная системы удобрений обеспечили достижение наибольшей продуктивности севооборота – 2,33 и 2,24 т з.е/га без внесения минеральных удобрений и 3,02–3,18 т з.е/га – соответственно в сочетании с ними. Минеральная и известково-минеральная системы по продуктивности уступили названным системам (табл. 2), однако высокое действие на продуктивность севооборота минеральных удобрений сохранилось. Меньшие дозы их внесения ($N10P10K10$) увеличили продуктивность на 0,45–0,84 т з.е/га. С увеличением доз удобрений продуктивность севооборота возрастала на 30–44%. Длительное использование органоминеральной и известково-органоминеральной систем удобрений [14] с внесением 40–50 кг д.в/га N, P и K обеспечивало повышение плодородия почвы и получение порядка 3,0 т з.е/га севооборотной площади. Существенное влияние на эти процессы оказывали сидераты и солома озимой ржи.

Таким образом, комплексное использование органоминеральных удобрений устойчиво повышало плодородие почвы и продуктивность севооборота несмотря на постоянно меняющиеся погодные условия.

Выводы

1. Известкование в первой ротации севооборота по $1N_7$ и во второй ротации по $2N_7$ снизило кислотность почвы до нейтрального уровня, подкисление которой наметилось в конце четвертой ротации севооборота [8]. Наибольшего уровня содержания P_2O_5 и K_2O достигло на унавоженных фонах в пятой ротации (453 и 190 мг/кг). В шестой ротации их содержание уменьшилось: 290 и 135 мг/кг соответственно. По гумусу также отмечено повышение до уровня исходного его содержания (2,50%) и с небольшим превышением (2,64%) в пятой ротации, а к концу шестой ротации – снижение (2,28–2,33%).

2. Органоминеральная и известково-органоминеральная системы удобрений в среднем за 6 ротаций повысили продуктивность севооборота на 18,3 и 22,0% в сравнении с системой без удобрений, обеспечив получение 3,23 и 3,31 т з.е/га с колебаниями по ротациям 2,75–3,79 и 2,79–4,00 т з.е/га.

3. Минеральные удобрения в указанных системах способствовали повышению продуктивности севооборота на 0,69–0,76 т з.е/га, или на 32,4–35,7% в среднем за весь период. Для продуктивности порядка 3,0–4,0 т з.е/га оптимальные дозы составили по 40–50 кг д.в/га N, P и K.

4. Продуктивность севооборота от пониженных доз минеральных удобрений (по 10–30 кг д.в/га N, P и K) за последние 2 ротации изменялась в пределах 2,74–2,84 с прибавками 0,63–0,73 т з.е/га, или 29,8–34,6%, что ниже, чем на повышенных дозах NPK по 40–60 кг д.в/га.

5. На фоне ИРН² (известково-органоминеральная система) в 3 трех ротациях (третья, четвертая и пятая) внесение минеральных удобрений в дозах N56P46K46, N81P80K102, N60P60K60 с добавлением микроудобрений (цинк под озимую рожь, кобальт – под картофель, медь – под яровую пшеницу, ячмень, бор и молибден – под клевер) обеспечило получение наибольшей продуктивности севооборота» [6]: 4,67; 4,25; 3,32 т з.е/га с прибавками 2,05; 1,12; 1,05 т з.е/га, или 78,2; 35,8; 46,2% соответственно ротациям.

6. Замена навоза на сидеральные удобрения (горохоовсяную смесь) возможна после длительного систематического его применения в севообороте. В последующей ротации севооборота для поддержания плодородия почвы на достигнутом уровне необходимо повторное внесение навоза.

Библиографический список

1. Агроклиматический обзор за 1991–1992 сельскохозяйственный год: Отчет и НИР (промежуточный) / Отдел наблюдений Удмуртского ЦГМ; Рук. Г.И. Вахрушева. – Завьяловский район УР, п. Первомайский. – 1992. – 40 с.

2. Баталина М.А., В.Н. Богдан. Влияние длительного применения органических, минеральных удобрений и известкования на урожай культур, продуктивность севооборота и плодородие почвы // Бюллетень ВИУА. – 1977. – № 33. – С. 37–42.

3. Башков А.С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья: Монография. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 328 с.

4. Дзюин А.Г. Влияние систем удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборота при длительном их применении: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Пермь, 2007. – 255 с.

5. Дзюин А.Г., Дзюин Г.П. Исследование плодородия почвы и продуктивности восьмипольного севооборота в многолетнем опыте // Агрехимия. – 2018. – № 2. – С. 22–33.

6. Дзюин А.Г., Дзюин Г.П. Влияние систем удобрений на изменение свойств почвы и продуктивность севооборота во времени // Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрений в разных почвенно-климатических условиях: Материалы Международной научной конференции / Под ред. В.Г. Сычева. – 2018. – С. 38–46.

7. Дзюин А.Г. Изменение запасов минерального азота в дерново-подзолистой суглинистой почве // Агрехимический вестник. – 2019. – № 6. – С. 30–33.

8. Дзюин А.Г. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв Северо-Восточной зоны Нечерноземья: М. – Ижевск: Алкид, 2020. – 208 с.

9. Дзюин А.Г. Содержание элементов питания в растениях культур севооборота в длительном стационаре // Достижения науки и техники ПК. – 2020. – Т. 34, № 3. – С. 11–15.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1973. – 336 с.

11. *Иванова Р.С.* Сравнительная эффективность различных систем удобрений в севооборотах на дерново-подзолистой суглинистой почве // *Агрохимия*. – 1988. – № 11. – С. 33–36.

14. *Конова А.М., Гаврилова А.Ю.* Влияние длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2016. – № 11 (53). – Ч. 5. – С. 27–30.

15. *Кузнецова З.А., Фетисова Н.Ф.* Влияние различных систем удобрений на урожай культур полевого севооборота и плодородие дерново-подзолистой слабокультуренной почвы // *Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов: Научные труды ВАСХНИЛ*. – М.: Колос, 1980. – С. 106–126.

16. *Милащенко Н.З.* Плодородие почв, удобрения и производство зерна // *Вестник Российской академии с.-х. наук*. – 2001. – № 2. – С. 14–18.

17. *Минеев В.Г., Хабарова А.И., Щербакова Н.И. и др.* Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов [Текст]: Результаты многолет. опытов н. – и. учреждений / ВАСХНИЛ, ВНИИ удобрений и агропочвоведения; Редкол.: П.Г. Найдин (гл. ред.) и др. – Москва: М-во сел. хоз-ва СССР, 1960-. – 20–25 см.

18. *Никитишен В.И., Неретин Г.И., Никитишена А.И. и др.* Эффективность удобрений и баланс питательных веществ в полевых севооборотах на серой лесной почве // *Агрохимия*. – 1981. – № 3. – С. 23–33.

19. *Огородников Л.П.* Известкование кислых почв и урожайность полевых культур в зернотравяном севообороте // *Труды УралНИИСХоза*. – Свердловск, 1989. – Т. 53. – С. 79–86.

20. *Попова С.И., Зиганьшина Ф.М., Тараканова Н.Я.* Действие удобрений при длительном их применении на урожай полевых культур и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // *Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов: Научные труды ВАСХНИЛ*. – М.: Колос, 1980. – С. 140–159.

21. *Сычёв В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б.* Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. – 2020. – № 6. – С. 3–13.

22. *Федосеев А.П.* Погода и эффективность удобрений / [Редкол.: В.Г. Минеев (гл. ред.) и др.]. – Москва: ВИУА, 1985. – 88 с.; 21 см. – (Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова: // ВАСХНИЛ. N75;).

23. *Чеботарев Н.Т., Юдин А.А., Конкин П.И., Обдизов А.В.* Эффективность применения органических и минеральных удобрений в кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве Севера // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2017. – № 1. – С. 29–33.

24. *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.

CROP ROTATION PRODUCTIVITY DEPENDING ON FERTILISER SYSTEMS IN A LONG-TERM EXPERIMENT

A.G. DZYUIN

(Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)

The problem of increasing soil fertility is one of the main tasks of agriculture in the Udmurt Republic and the Non-Chernozem region. The most acceptable way of solving this problem is biol-ogisation, which provides for a decrease in the amount of chemicals and an increase in the amount

of biological agents. If there is a lack of fertiliser, the use of green manure or straw alone will not solve the problem. On acidic soils, a complex action on the soil is needed, starting with liming and the use of optimal doses of mineral fertiliser, which help to increase land productivity and crop rotation in a short period of time.

Since 1971, the Udmurt Research Institute of Agriculture has been studying different fertilizer systems in 8-field crop rotations (1 – fallow; 2 – winter rye; 3 – potato, corn; 4 – spring wheat; 5 – clover; 6 – clover; 7 – winter rye; 8 – barley). Factor A are backgrounds: 0 – “zero” [10]; P – lime per one hydrolytic acidity (4.9 t/ha CaCO₃) in the first rotation + two hydrolytic acidities (7.5 t/ha) in the second rotation; H³C – manure 40 (first rotation) + 60 t/ha (2d-5th rotations) + green manure (6th rotation); L²M³GM – lime + manure + green manure similarly. Factor B are options. Options without fertiliser and NPK are considered. Lime reduced soil acidity to a neutral level, slightly increased in the 4th rotation. The content of P₂O₅, K₂O, and humus reached the highest level in the 5th rotation on manured backgrounds, resulting in 3.23 and 3.31 tce/ha in six rotations (18.3 and 22.0% more than without fertiliser). In lime and manure systems, mineral fertiliser increased crop rotation productivity by 32.4–35.7% on average over the entire period. Optimal doses for 3.0–4.0 t grain units/ha were 40–50 kg NPK/ha. Reducing the doses from 40–60 to 10–30 kg/ha of NPK in the last two rotations led to a decrease in crop rotation productivity (2.74–2.84) by 0.41–0.49 t grain units /ha. The lime-organomineral fertiliser system in the 3d, 4th and 5th rotations with “the addition of micronutrient fertiliser (zinc for winter rye, cobalt for potatoes, copper for spring wheat and barley, boron and molybdenum for clover)” [9] provided the highest crop rotation productivity – 4.67; 4.25; 3.32 t grain units/ha, with the highest increases – 2.05; 1.12; 1.05 t grain units/ha or 78.2; 35.8; 46.2%, respectively, in rotations. Manure can only be replaced periodically with a pea-oat mixture.

Key words: crop rotation, lime, manure, mineral fertiliser, green manure fertiliser, productivity, “soil fertility” [17].

References

1. Agroclimatic review for 1991–1992 agricultural year: Report and research (interim). Observation Department of Udmurt State Hydrometeorological Service; Head – G.I. Vakhrusheva. v. Pervomayskiy Zavyalovskogo rayona UR, 1992: 40. (In Rus.)
2. Batalina M.A., Bogdan B.H. Effect of long-term application of organic, mineral fertilizers and liming on crop yields, crop rotation productivity and soil fertility. Byulleten' VIUA. Moscow. 1977; 33: 37–42. (In Rus.)
3. Bashkov A.C. Improving the efficiency of fertilizers on soddy-podzolic soils of the Middle Urals: a monograph. Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaya GSKhA, 2013: 328. (In Rus.)
4. Dzyuin A.G. Effect of fertilizer systems on soil fertility and crop rotation productivity under their long-term application: CSc (Ag) thesis. Perm, 2007: 255. (In Rus.)
5. Dzyuin A.G., Dzyuin G.P. Study of soil fertility and productivity of an eight-row crop rotation in a multi-year experiment. Agrokhimiya. 2018; 2: 22–33. (In Rus.)
6. Dzyuin A.G., Dzyuin G.P. Effect of fertiliser systems on changes in soil properties and crop rotation productivity over time. Dinamika pokazateley plodorodiya pochv i complex mer po ih regulirovaniyu pri dlitelnom primenenii system udobreniy v raznyh pochvenno-klimaticheskikh usloviyah. 2018: 38–46. (In Rus.)
7. Dzyuin A.G. Changes in mineral nitrogen stocks in a sod-podzolic loamy soil. Agrokhimicheskii vestnik. 2019; 6: 30–33. (In Rus.)
8. Dzyuin A.G. Phosphate regime of sod-podzol soils in the north-eastern zone of the Non-Chernozem zone. Izhevsk: Alkid, 2020: 208. (In Rus.)
9. Dzyuin A.G. Nutrient content of rotation crops in a long-term stationary crop rotation. Dostizheniya nauki i tekhniki PK. 2020; 34; 3: 11–15. (In Rus.)

10. *Dospekhov B.A.* Methodology for the field experiment. M.: Kolos, 1973: 336. (In Rus.)
11. *Ivanova R.S.* Comparative efficiency of various fertilizer systems in crop rotations on soddy-podzolic loamy soil. *Agrokhimiya*. 1988; 11: 33–36. (In Rus.)
14. *Konova A.M., Gavrilova A.Yu.* Effect of long-term use of increasing doses of mineral fertilizers on crop rotation productivity. *Mezhdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2016; 11 (53); 5: 27–30. (In Rus.)
15. *Kuznetsova Z.A., Fetisova N.F.* Effect of various fertilizer systems on the crop yield of the field crop rotation and the fertility of soddy-podzolic poorly cultivated soil. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobreniy na plodorodie pochvy i produktivnost' sevooborotov: nauch. tr. VASHNIL*. M.: izd-vo Kolos, 1980: 106–126. (In Rus.)
16. *Milaschenko N.Z.* Soil fertility, fertilisers and grain production. *Vestnik Rossiyskoy akademii s. – h. nauk*. 2001; 2: 14–18. (In Rus.)
17. *Mineev V.G., Khabarova A.I., Scherbakova N.I. et al.* Effect of long-term fertilizer application on soil fertility and crop rotation productivity. M.: izd-vo “Kolos”, 1980: 3–39. (In Rus.)
18. *Nikitishen V.I., Neretin G.I., Nikitishena A.I. et al.* Fertilizer efficiency and nutrient balance in field rotations on grey forest soils. *Agrokhimiya*. 1981; 3: 23–33. (In Rus.)
19. *Ogorodnikov L.P.* Lime treatment of acidic soils and yields of field crops in a cereal-grass rotation. *Tr. UralNIISKhoza. Sverdlovsk*, 1989; 53; 79–86. (In Rus.)
20. *Popova S.I., Ziganschina F.M., Tarakanova N.Ya.* Effect of long-term fertilizer application on crop yields and agrochemical properties of sod-podzol soils. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobreniy na plodorodie pochvy i produktivnost' sevooborotov: nauch. tr. VASHNIL*. M.: izd-vo Kolos, 1980: 140–159. (In Rus.)
21. *Sichev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B.* Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrokhimiya*. 2020; 6: 3–13. (In Rus.)
22. *Fedoseeva A.P.* Weather and fertiliser efficiency. L.: izd-vo Gidrometeoizdat, 1985: 144. (In Rus.)
23. *Chebotarev N.T., Yudin A.A., Konkin P.I., Obdizov A.V.* Effectiveness of organic and mineral fertilizers in forage crop rotation on sod-podzol soils of the North. *Rossiiskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2017; 1: 29–33. (In Rus.)
24. *Chukhina O.V., Zhukov Yu.P.* Fertility of soddy-podzolic soil and crop productivity in a crop rotation with applying of different doses of fertiliser. *Agrokhimiya*. 2013; 11: 10–18. (In Rus.)

Дзюин Александр Герценович, ведущий научный сотрудник, канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Удмуртского Федерального научного центра Уральского отделения Российской академии наук («Удмуртский НИИСХ» – филиал УдмФИЦ УрО РАН); 426067, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34; Подразделение: Удмуртский Научно-исследовательский институт сельского хозяйства; тел/факс: (3412) 62–96–98; e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

Aleksandr G. Dzyuin, CSc (Ag), Leading Research Associate, Udmurt Research Institute of Agriculture, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (34, Baramzina Str., Izhevsk, Udmurt Republic, 426067, Russian Federation; phone: (3412) 62–96–98; E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru)