

СТАТЬИ

УДК 631.8:631.452:631.55

**ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ В ДЛИТЕЛЬНОМ СТАЦИОНАРЕ  
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА  
И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ**

**Дзюин А.Г.**

*Удмуртский НИИСХ – структурное подразделение ФГБУН «Удмуртский федеральный  
исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»,  
Ижевск, e-mail: ugniish@yandex.ru*

Стационарный полевой опыт в Удмуртском НИИСХ закладки 1971–1972 гг. явился основной базой проведения фундаментальных агрохимических исследований. Информативность его, как показали результаты 40-летних исследований, зависит не только от целевой программы, но и от длительности стационара. За период прохождения пяти ротаций восьмипольного севооборота получена обширная информация по вопросам химической мелиорации, применения различных систем удобрений на дерново-подзолистой суглинистой почве. Выявлены дозы, способы, периодичность применения известковых, минеральных и органических удобрений, обеспечивающих повышение плодородия почвы и продуктивности севооборота. Установлена необходимость строгого соблюдения схем чередования культур, что позволяет достигать высокой продуктивности севооборота с меньшими затратами. На слабокультуренной почве стартовое высокое насыщение почвы удобрениями не обеспечивало адекватного устойчивого повышения продуктивности севооборота. Известково-органоминеральная система удобрения, в среднем за 5 ротаций с внесением N75 P70 K71 и микроэлементов Cu, Co, Zn, B, Mo в 3–5 ротациях, увеличила продуктивность 8-польного севооборота на 71,7% (4,67 т з. ед/га). Продуктивность органоминеральной и известково-органоминеральной систем удобрений (3,27–3,34) была выше минеральной и известково-минеральной (2,95–2,99 т з. ед/га). Содержание подвижного фосфора в почве возросло на 118, обменного калия – 18–25 мг/кг почвы, гумуса – на 0,33–0,53%. Известкование по 2Нг снизило кислотность почвы до нейтрального уровня. Доказана возможность применения фосфорных удобрений в запас на 2–7 лет.

**Ключевые слова:** севооборот, продуктивность, системы удобрений, агрохимические показатели

**INFLUENCE OF FERTILIZER SYSTEMS IN LONG-TERM HOSPITALITY  
OF CROP ROTATION AND AGROCHEMICAL INDICATORS OF SOIL**

**Dzyuin A.G.**

*Udmurt Research of Agriculture – Structural subdivision of the Federal State Budgetary Institution  
of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Izhevsk, e-mail: ugniish@yandex.ru*

Stationary field experience in the Udmurt Research Institute of Agriculture bookmarks 1971-1972. was the main base for conducting fundamental agrochemical research. The information content of it, as shown by the results of 40 years of research, depends not only on the target program, but also on the duration of the hospital. During the period of passage of 5 rotations of the 8-field crop rotation, extensive information was obtained on chemical reclamation, the application of various fertilizer systems on sod-podzolic loamy soil. Revealed doses, methods, frequency of lime, mineral and organic fertilizers, providing increased soil fertility and crop rotation. The necessity of strict observance of crop rotation patterns, which allows to achieve high productivity of crop rotation with lower costs, has been established. On poorly cultivated soil, the starting high soil saturation with fertilizers did not provide an adequate steady increase in the productivity of crop rotation. Lime-organomineral fertilizer system, an average of 5 rotations with the introduction of N75 P70 K71 and the trace elements Cu, Co, Zn, B, Mo in 3-5 rotations, increased the productivity of the 8-field crop rotation by 71.7% (4.67 tons grain unit / ha). The productivity of the organomineral and lime-organomineral fertilizer systems (3.27-3.34) was higher than the mineral and lime-mineral fertilizers (2.95-2.99 tons grain unit / ha). The content of mobile phosphorus in the soil increased by 118, exchangeable potassium –18–25 mg / kg of soil, and humus – by 0.33–0.53%. Liming on 2 hydrolytic acidity reduced the acidity of the soil to a neutral level. Proved the possibility of using phosphate fertilizers in the reserve for 2-7 years.

**Keywords:** crop rotation, productivity, fertilizer systems, agrochemical indicators

Плодородие почвы – одно из условий повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, действенным средством которого является применение систем удобрений [1]. Рыночные отношения привели к сокращению опытной работы с удобрениями, хотя именно опыты являются источником исходной информации для разработки рекомендаций [2]. Системы удобрений в севооборотах могут быть рациональными только в сочетании с местными агроэкологическими условиями и биологическими

особенностями культур [3]. Стационарные полевые опыты – основная база фундаментальных агрохимических исследований [4]. Информативность их зависит, прежде всего, от целевых программ, качества проведения аналитических работ, своевременного выполнения агротехнических мероприятий. Длительные опыты со временем модифицируются, так как возникают новые направления и задачи перед исследователями.

Цель исследования: изучить и обобщить по некоторым основным показателям влия-

ние систем удобрений на плодородие почвы и продуктивность восьмипольного севооборота за период прохождения пяти ротаций.

### Материалы и методы исследования

В Удмуртском НИИСХ в 1971–1972 гг. заложен стационарный двух факторный опыт с восьмипольным севооборотом. Чередование культур в севообороте: 1 – пар чёрный; 2 – озимая рожь; 3 – картофель в 1–3 и кукуруза в 4–5 ротациях; 4 – яровая пшеница + клевер; 5 – клевер 1 г.п.; 6 – клевер 2 г.п.; 7 – озимая рожь; 8 – ячмень. Фактор А – фоны: 1. Навоз – внесли только под первую ротацию в дозе 40 т/га, после первой ротации – минеральная система удобрения ( $H^1 - 0$ ). 2. Известь – внесли под первую ротацию по 1 г.к. (4 т/га) и под вторую ротацию по 2 г.к. ( $7,5 CaCO_3$ ) – известково-минеральная система удобрения ( $H^2$ ). 3. Навоз – вносили под каждую из пяти ротаций севооборота в дозах  $40 + 60 + 60 + 60 + 60$  т/га естественной влажности – органоминеральная система удобрения ( $H^3$ ). 4. Известь + навоз – вносили так же, как в пунктах 2 и 3 – известково-органоминеральная система. Фактор В – минеральные удобрения с 11-ю вариантами. 1-й вариант – без удобрений, 2–4-й варианты – NР. NК. РК, 5-11-й – NРК. В 1–2 ротациях севооборота изучали способы и формы внесения удобрений, средняя их доза – N64P46K46 и N92P86K77 соответственно. В 3-й ротации изучали способы и уровни внесения: N56P46K46, N77P86K77. В 4-й ротации – уровни внесения: N30P28K17, N47P46K46, N64P63K74, N81P80K102. В 5-й ротации – дозы NРК по 10, 20, 40, 50, 60 кг д. в./га. Усредненные дозы за 5 ротаций составили N64P60K60. В 3–5 ротациях 11-й вариант дополнили микроэлементами – Zn, Co, Cu, B, Mo. В течение трех ротаций их вносили: под озимую рожь (кг д. в./га) – цинк сернокислый (3,0), кукурузу – кобальт хлористый (0,5), яровую пшеницу – медь сернокислый (3,0), клевер 1 и 2 г.п. – борно-датолитовую муку (1,0) и молибденово-кислый аммоний (1,0), озимую рожь – цинк сернокислый (3,0), и ячмень медь сернокислый (3,0). С третьей ротации севооборота в почву общим фоном заделывали солому озимой ржи. Повторность опыта – четырехкратная. Статистическую обработку результатов проводили методом дисперсионного анализа. Почва – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая с агрохимическими показателями:  $pH_{KCl} - 5,0$ ,  $Hg - 2,7$ ,  $S - 14,8$  ммоль/100 г почвы,  $P_2O_5 - 52$ ,  $K_2O - 98$  мг/кг почвы, гумус – 2,5%.

### Результаты исследования и их обсуждение

Минеральные удобрения повышали продуктивность севооборота по сравнению с данными до закладки опыта (табл. 1). В среднем за 5 ротаций минеральные удобрения с добавлением микроэлементов Cu, Co, Zn, B, Mo в 11 варианте увеличили продуктивность севооборота на 71,7% (от 1,98 перед закладкой опыта до 3,40 т з. ед/га), а в сравнении с нулевым контролем – на 34,9%.

По ротациям эффективность комбинированного применения NРК и микроэлементов выразилась увеличением продуктивности: в третьей ротации до 3,82 (на 76,6%) против 2,18 т. з. ед/га, в четвертой ротации до 3,86 (на 38,4%) против 2,79 т з. ед/га, в 5-й ротации

до 2,95 (на 44,6%) против 2,04 т з. ед/га. Эти данные свидетельствуют также, что продуктивность севооборота с повышением доз минеральных удобрений увеличивалась.

Из систем удобрений минеральная и известково-минеральная не отличались между собой по продуктивности – 2,95–2,99 т з. ед/га, что на 0,97–1,01 т/га выше, чем за четыре года в среднем до опытов (табл. 2). Аналогичная закономерность наблюдалось в каждой ротации севооборота, за исключением первой ротации, в которой отмечено достоверное снижение продуктивности по известково-минеральной системе удобрения. Такая тенденция сохранялась и в последующих ротациях. Органоминеральная и известково-органоминеральная системы увеличили продуктивность до 3,27–3,34 т з. ед/га. Наиболее высокая продуктивность получена в третьей и четвертой ротациях. Со снижением доз минеральных удобрений в пятой ротации его продуктивность снизилась. По ротациям меньше изменялась продуктивность на минеральной и известково-минеральной системах удобрений. Использование навоза под каждую ротацию севооборота обеспечивало увеличение продуктивности севооборота.

В первых двух ротациях применение двойного суперфосфата, фосфоритной муки и хлористого калия в запас на 2–7 лет обеспечило получение примерно одинаковой продуктивности по сравнению с ежегодным внесением. Умеренные их дозы увеличили продуктивность на 0,55–1,25 (до 2,73–3,43) т з. ед/га. Повышенные дозы способствовали росту продуктивности (3,59–3,70 т з. ед/га), при этом проявилось высокое положительное действие микроудобрений (4,67 т з. ед/га).

Систематическое применение минеральных удобрений увеличивало содержание фосфатов в почве. В первой ротации севооборота применение N64P60K60 увеличило содержание  $P_2O_5$  на 29 мг/кг почвы в среднем по отношению к исходному содержанию (табл. 3). Во второй ротации при внесении N92P86K77 – на 97 мг/кг, в третьей ротации при той же дозе фосфора – на 155 мг/кг почвы. Как видно, шло накопление фосфатов в почве. В четвертой ротации севооборота его содержание по отношению к третьей несколько снизилось (на 33 мг/кг почвы в среднем), что объясняется выносом более высоким урожаем культур в данной ротации, и снижением легкодоступного фосфора при этом [5]. Однако накопление фосфатов в почве продолжалось, в пятой ротации их содержание увеличилось в 5,3 раза по сравнению с исходным содержанием. С аналогичной закономерностью изменялось содержание подвижных фосфатов при использовании отдельных систем удобрений.

**Таблица 1**

Влияние минеральных удобрений на продуктивность севооборота по ротациям севооборота (среднее по фонам и двум закладкам опыта), т. з. ед/га

Ротация, годы	1 0	2 NP	3 NK	4 PK	5 NPK	6 NPK	7 NPK	8 NPK	9 NPK	10 NPK	11 NPK	НСР <sub>05</sub>
	Исходная продуктивность в среднем за 1968–1971 гг. – 1,98 т. з. ед./га											
Первая, 1971–1979	2,99	2,96	2,78	2,84	3,12	3,14	3,16	2,96	3,06	3,06	3,18	0,03
Вторая, 1979–1987	2,62	2,98	2,95	3,00	3,19	3,19	3,24	3,06	3,11	3,20	3,19	0,04
Третья, 1987–1995	2,18	2,95	2,73	2,76	3,40	3,43	3,61	3,35	3,59	3,70	3,82	0,02
Четвёртая, 1995–2003	2,79	3,37	3,34	3,26	3,48	3,65	3,72	3,68	3,78	3,75	3,86	0,03
Пятая, 2003–2011	2,04	2,54	2,37	2,39	2,63	2,66	2,74	2,77	2,85	2,92	2,95	0,08
Средняя	2,52	2,96	2,83	2,85	3,16	3,21	3,29	3,16	3,28	3,33	3,40	0,04

**Таблица 2**

Влияние систем удобрений на продуктивность севооборота (среднее по вариантам и двум закладкам опыта), т. з. ед/га

Система удобрения	Ротация севооборота					Среднее
	1	2	3	4	5	
Минеральная (NPK)	3,05	3,07	3,02	3,26	2,53	2,99
Известково-минеральная (Известь + NPK)	$\frac{2,92}{-0,13}$	$\frac{3,00}{-0,07}$	$\frac{2,99}{-0,03}$	$\frac{3,33}{0,07}$	$\frac{2,49}{-0,04}$	$\frac{2,95}{-0,04}$
Органо-минеральная (Навоз + NPK)	$\frac{3,05}{0}$	$\frac{3,22}{0,15}$	$\frac{3,59}{0,57}$	$\frac{3,73}{0,47}$	$\frac{2,78}{0,25}$	$\frac{3,27}{0,28}$
Известково-органоминеральная (Известь + навоз + NPK)	$\frac{3,00}{-0,05}$	$\frac{3,12}{0,05}$	$\frac{3,83}{0,81}$	$\frac{3,85}{0,59}$	$\frac{2,87}{0,34}$	$\frac{3,34}{0,35}$
Среднее	3,00	3,10	3,36	3,54	2,67	3,14
НСР <sub>05</sub>	0,08	0,10	0,15	0,07	0,08	0,10

Примечание. В числителе – продуктивность, в знаменателе – прибавка, т. з. ед./га.

Таблица 3

Влияние систем удобрений на содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ), мг/кг почвы (исходное содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) – 52 мг/кг почвы)

Система удобрения	Ротация севооборота					Среднее	Прибавка, НСР <sub>05</sub> – 32 мг/кг
	1	2	3	4	5		
Минеральная (NPK)	84	116	156	116	152	125	–
Известково-минеральная (Известь + NPK)	70	150	195	160	214	158	33
Органоминеральная (Навоз + NPK)	84	157	226	194	359	204	79
Известково-органоминеральная (Известь + навоз + NPK)	87	172	250	224	378	222	97
Среднее	81	149	207	174	276	177	–
Прибавка к исходному содержанию	29	97	155	122	224	125	–
НСР <sub>05</sub>	7,9	18,5	17,0	15,7	48,5	17,2	–

Положительное действие на подвижность фосфатов оказало внесение минеральных удобрений в сочетании с известью и навозом. В среднем за 5 ротаций севооборота содержание  $P_2O_5$  при несении извести увеличилось на 33, при внесении навоза – на 79 мг/кг почвы. А совместное применение навоза и извести увеличило почти в 3 раза (на 97 мг/кг почвы) по отношению к минеральной системе.

Содержание обменного калия в почве, несмотря на использование удобрений, слабо возрастало (табл. 4). Даже на фоне навоза его содержание в среднем за 5 ротаций севооборота увеличилось всего на 14–38 кг/га. Значительное его количество, по нашим расчетам, закреплялось почвой. Исследованиями установлено, что обменный калий обладает различной прочностью связи с почвенно-поглощающим комплексом дерново-подзолистой почвы и разной степенью подвижности [6]. Следовательно, они располагают значительным резервом для обеспечения растений калием. При недостаточном его поступлении в почву с удобрениями культуры севооборота мобилизуют калий из обменного, а затем и необменного форм, в результате чего растения не испытывают недостатка в калии [7].

С 2000 г. в республике наблюдается устойчивое подкисление почв. Верхним оптимальным значением  $pH_{KCL}$  для полевых культур установлено 5,6. По данным агрохимслужбы в годы проведения интенсивной химизации (1970–1980) эта величина была достигнута. Нижняя граница оптимального значения  $pH_{KCL}$  в севооборотах составляет 5,2 [8]. Процесс подкисления почвы идет непрерывно. В севообороте с минеральной и органоминеральной системами удобрений величина  $pH_{KCL}$  в среднем за 4 ротации по-

низилась до 4,64 и 4,86 при исходной величине 5,0 (табл. 5). Под воздействием навоза по 60 т/га за каждую ротацию подкисление почвы замедлилось. Повторное внесение извести увеличило  $pH_{KCL}$  до 6,8 ед., но к концу пятой ротации заметно снизилось. Снизилась гидролитическая кислотность с 3,8 до 0,83–0,98, увеличились сумма поглощенных оснований и степень насыщенности основаниями с 17,6 до 21,6–24,6 ммоль/100 г почвы и с 82,3 до 96–97% соответственно.

В повышении плодородия почвы большое значение придается содержанию гумуса в почве. В Удмуртской Республике за 20 лет наблюдений содержание гумуса в пахотных почвах уменьшилось на 0,4–0,9% [9]. В стационаре Пермского НИИСХ за 40 лет его относительное содержание снизилось на 9,1% [10]. В нашем опыте за 32 года на нулевом и известкованном фонах абсолютное содержание гумуса снизилось на 0,55% от исходного. Не обеспечило поддержание гумуса на исходном уровне и применение навоза и навоза + извести – 2,38 и 2,33%. Исследования показывают усиление минерализации органического вещества [11, 12]. И лишь внесение под каждую ротацию севооборота навоза и соломы озимой ржи обеспечило повышение содержания гумуса на 0,21–0,26 абс. %.

### Выводы

1. Системы удобрений с внесением N64P60K60 (в среднем за 40 лет) и микроэлементов (за 24 года) увеличили продуктивность севооборота на 71,7%, обеспечив получение наибольшей продуктивности – 4,67 против 1,98 т з ед/га. Высокая продуктивность в севообороте (3,27–3,34 т з ед/га) достигнута длительным использованием органоминеральной и известково-органоминеральной систем удобрений.



**Таблица 4**

Влияние систем удобрений на содержание обменного калия ( $K_2O$ ), мг/кг почвы  
(исходное содержание обменного калия ( $K_2O$ ) – 98 мг/кг почвы)

Система удобрения						Среднее	Прибавка, НСР <sub>05</sub> – 22,6 мг/кг
	1	2	3	4	5		
Минеральная (NPK)	98	102	106	111	109	105	–
Известково-минеральная (Известь + NPK)	93	100	105	123	113	107	2
Органоминеральная (Навоз + NPK)	98	120	120	150	129	123	18
Известково-органоминеральная (Известь + навоз + NPK)	103	124	117	161	144	130	25
Среднее	98	112	112	136	124	116	–
Прибавка к исходному содержанию	0	14	14	38	26	18	–
НСР <sub>05</sub>	8,7	10,5	12,4	17,5	25,7	15,4	–

**Таблица 5**

Влияние систем удобрений на изменение обменной кислотности ( $pH_{KCL}$ )  
в почве (исходная величина  $pH_{KCL}$  – 5)

Система удобрения	Ротация				Среднее	Отклонение НСР <sub>05</sub> – 0,16
	2	3	4	5		
Минеральная (NPK)	4,7	4,6	4,4	4,7	4,64	–
Известково-минеральная (Известь + NPK)	6,8	6,6	6,6	6,4	6,28	1,64
Органоминеральная (Навоз + NPK)	4,9	4,8	4,8	5,0	4,86	0,22
Известково-органоминеральная (Известь + навоз + NPK)	6,6	6,6	6,3	6,1	6,10	1,46
Среднее	5,75	5,65	5,52	5,55	5,47	–

2. Систематическое применение фосфорных удобрений повышало содержание подвижного фосфора в почве в 5,3 раза, до 276 мг/кг почвы в пятой ротации севооборота по сравнению с исходным содержанием.

3. Содержание обменного калия в дерново-подзолистой почве не повышалось адекватно внесённому количеству калия с минеральными удобрениями, что связано с преимущественным закреплением его почвой.

4. Наибольшее подкисление почвы вызвала минеральная система удобрения. Навоз сдерживал подкисление. Повторное известкование во второй ротации севооборота снизило кислотность почвы до нейтрального уровня, и лишь в пятой ротации заметно подкисление.

5. В результате активной минерализации органического вещества содержание гумуса за 32 года на минеральной системе удобрений снизилось с 2,5 до 1,95% и до 2,33% на органоминеральной системе. Запахивание в почву растительных остатков,

солумы повысило содержание гумуса: на фоне навоза до исходного (5,0%), на фоне извести + навоза – с превышением этого уровня на 0,14%.

#### Список литературы

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

2. Сычев В.Г. Агрохимическая служба – 50 лет на благо урожая // Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии: материалы 48 Международ. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов. М.: ВНИИА, 2014. С. 3–11.

3. Постников П.А., Огородников Л.П., Павленкова Т.В., Бызов И.С., Намятов М.А., Савин Ю.А., Колотов А.П., Сунцов А.В., Шорохова А.И., Комельских Н.П., Воробьев В.А., Колобков Е.В., Колотов Ф.А., Мингалев С.К., Байкин Ю.Л., Лаптев В.Р., Шестаков П.А., Фруммин И.Л., Тошев В.В. Адаптивное земледелие на Среднем Урале: состояние, проблемы и пути их решения. Екатеринбург: Уральский НИИСХ, 2010. 338 с.

4. Сычев В.Г., Романенков В.А. Современное состояние и возможности повышения результативности исследований в системе Геосети: мат. регион. совещ. научных учрежде-

ний – участников Геосети Северо-Восточного и Уральского регионов. М.: ВНИИА, 2013. С. 3–12.

5. Джонстон Дж., Фиксен П., Поултон П. Эффективное использование фосфорных удобрений в земледелии // Питание растений. 2015. № 2. С. 8–11.

6. Никитина Л.В., Романенков В.А., Листова М.П. Обменный калий и его подвижность в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава // Плодородие. 2014. № 5 (80). С. 18–21.

7. Дзюин А.Г., Дзюин Г.П. Калийное состояние дерново-подзолистой суглинистой почвы в севообороте: материалы регионального совещания научных учреждений – участников Геосети Северо-Восточного и Уральского регионов. М.: ВНИИА, 2013. С. 24–29.

8. Дзюин Г.П. Подвижный алюминий и продуктивность севооборота // Агрохимия и плодородие почв: тезисы

докладов VIII Всесоюзного съезда почвоведов. Кн. третья, VI комиссия. Новосибирск, 1989. С. 219.

9. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА. Книга по требованию, 2004. 490 с.

10. Завьялова Н.Е. Регулирование содержания и состава органического вещества в полевом севообороте: материалы регионального совещания научных учреждений – участников Геосети Северо-Восточного и Уральского регионов. М.: ВНИИА, 2013. С. 29–35.

11. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Биологическая активность почвы в севообороте с биоресурсами // Научное обеспечение агропромышленного комплекса России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. посвященной памяти Р.Г. Гараева. Казань, 2012. С. 194–198.

12. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах удобрения // Агрохимия. 2017. № 10. С. 24–36.