

УДК 631.559:631.445.25(470.316)

## ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАНИРУЕМОЙ УРОЖАЙНОСТИ НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. А. ДЕМИН, М. БЕТА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

При определении норм удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур используются научно обоснованные методики, позволяющие учитывать многие факторы, влияющие на этот показатель [14, 15]. Однако не всегда внесение удобрений в рассчитанных нормах позволяет получить ожидаемый урожай.

Очень часто причина неуспеха кроется в нарушении агротехнических правил, но даже и при их полном соблюдении не каждый год удается получить запланированную урожайность. Следовательно, в расчет следует принимать значительно больший круг факторов. Важно, например, знать реальные возможности каждого сорта в данном регионе. Следует также учитывать, что уровень фактической урожайности (даже при достаточном количестве удобрений в хозяйстве) будет зависеть от степени окультуренности почвы [12].

В наиболее благоприятные годы фактическая урожайность бывает обычно выше планируемой, в неблагоприятные — особенно в экстремальные по погодным условиям, урожайность, как правило, ниже плана [1, 2, 6, 16], но средняя многолетняя урожайность при этом практически совпадает с реально планируемой. Так, даже в неблагоприятные для сельского хозяйства Нечерноземья 1975—1982 гг. в полевых опытах, проведенных на хорошо окультуренных почвах, были получены в среднем за этот период достаточно высокие урожаи сельскохозяйственных культур [1, 2, 6]. Исходя из этого, агрономическая служба, ориентируясь на среднемноголетние научные данные, может и должна аргументированно планировать урожайность культур.

Существует несколько методов определения норм удобрений на планируемую урожайность [4, 5, 11, 12]. Установленная тем или иным методом норма удобрений должна обеспечить получение планируемого урожая и надлежащее качество продукции, достаточно высокую эффективность удобрений, сохранение или повышение почвенного плодородия, отвечать требованиям охраны окружающей среды. Наиболее рациональное сочетание первых трех положений возможно только в районах интенсивной химизации земледелия.

Не всегда норма удобрений, рассчитанная на планируемую урожайность, обеспечивает бездефицитный баланс питательных веществ в почве. Следует иметь в виду, что для поддержания запасов гумуса в почве и тем более для постепенного их увеличения недостаточно одних минеральных удобрений (даже в севооборотах с 30 % многолетних бобово-злаковых трав), необходимо вносить ежегодно в среднем на 1 га пашни в Нечерноземной зоне 10—15 т высококачественных органических удобрений. В районах с небольшими ресурсами удобрений применяемая норма их прежде всего должна отвечать ведущему требованию — обеспечивать наибольшую их эффективность. Однако баланс питательных веществ в почве в этом случае, как правило, складывается отрицательный, чаще всего по азоту и калию.

На определенном начальном этапе повышение норм удобрений практически прямо пропорционально увеличению прибавки урожая. За-

тем в расчете на единицу питательных веществ удобрений она постепенно снижается, и может наступить момент, когда дополнительное применение удобрений уже не обеспечивает прироста продукции, а их избыток приводит к снижению урожая и его качества. Графически зависимость урожайности от уровня применения удобрений можно представить в виде параболической кривой.

В задачу наших исследований входило определение основных параметров (выносов питательных веществ, коэффициентов их использования из почвы и удобрений, нормативов баланса) для расчета норм органических и минеральных удобрений на различные уровни планируемой урожайности на серой лесной почве. Выяснялось также их влияние на качество продукции и основные агрохимические показатели почвы для получения комплексной оценки рациональной нормы удобрений, рассчитанной на определенный уровень урожайности.

### Методика и условия проведения исследований

Исследования проводили в учхозе «Дружба» Ярославской области на серых лесных почвах в двух полевых опытах и в целом по хозяйству.

Опыт 1 с кукурузой гибрида Буковинский 3 заложен в 1979 г. Содержание в почве подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову соответственно 9 и 11 мг на 100 г,  $pH_{\text{сол}}$  5,8. Площадь делянки 20 м<sup>2</sup>. Уровни планируемой урожайности 230, 300, 400 и 500 ц/га. Нормы удобрений приведены в табл. 3.

Опыт 2 заложен в 1981 г. с тремя звеньями севооборота на почве со следующими агрохимическими показателями: гумус по Тюрину — 2,45 %,  $pH_{\text{сол}}$  — 6,8, содержание подвижных форм  $P_2O_5$  и  $K_2O$  — соответственно 7,0 и 14,9 мг на 100 г. Чередование культур в звеньях:

Таблица 1

Нормы удобрений на планируемую урожайность в опыте 2

Вариант	Звено севооборота					
	1-е		2-е		3-е	
	урожай, ц/га	норма удобрений	урожай, ц/га	норма удобрений	урожай, ц/га	норма удобрений
Без удобрений (контр-роль)	100	—	140	—	120	—
	140	—	100	—	15	—
Навоз (Н)	160	40	260	40	160	20
	260	—	160	—	20	—
Н+IINPK	200	40Н+40Н	300	40Н+20Н	200	20Н+20Н
	300	20Н20Р	200	40Н40Р30К	30	60Н45Р
Н + IINPK	250	40Н+90Н	400	40Н+60Н	250	20Н+35Н35Р
	400	60Н60Р50К	250	90Н90Р90К	40	80Н70Р
Н+IIINPK	300	40Н+130Н45Р60К	500	40Н+100Н50Р50К	300	20Н+60Н65Р
	500	100Н80Р100К	300	130Н90Р130К	50	115Н100Р
IINPK	200	90Н80Р90К	300	70Н80Р80К	200	40Н60Р20К
	300	70Н20Р30К	200	90Н30Р50К	30	50Н40Р
IIINPK	250	140Н120Р160К	400	120Н120Р150К	250	65Н90Р60К
	400	110Н35Р70К	250	140Н40Р90К	40	75Н70Р
IIINPK	300	180Н160Р220К	500	160Н170Р250К	300	90Н120Р100К
	500	160Н50Р120К	300	180Н40Р100К	50	110Н100Р

Примечания: 1. В 1-м звене севооборота в числителе — картофель (1981 г.), в знаменателе — кукуруза (1982 г.), во 2-м — соответственно кукуруза и картофель, в 3-м — горохо-овсяная смесь и оз. пшеница.

2. Навоз — в т/га, минеральные удобрения — в кг д. в. на 1 га.

3. Посевы горохо-овсяной смеси погибли.

Коэффициенты использования питательных веществ (%) из удобрений и азота пожнивно-корневых остатков бобовых культур в опыте 2

Год действия	Органические удобрения			Минеральные удобрения			Азот пожнивно-корневых остатков бобовых
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1-й	20	30	50	50—60	20	50	25
2-й	20	10	20	—	10	20	15
3-й	10	5	—	—	5	—	10
За ротацию	50	45	70	60	35	70	50

1-е звено — картофель — кукуруза — кукуруза, 2-е — кукуруза — картофель — ячмень, 3-е звено — горохо-овсяная смесь — оз. пшеница — картофель. Опыт развернут во времени на трех полях, повторность 4-кратная. Общая площадь делянки в 1-м и 2-м звеньях севооборота 60 м<sup>2</sup>, в 3-м — 150 м<sup>2</sup>. Схема опыта и нормы удобрений приведены в табл. 1. В 1981 и 1982 гг. выращивали картофель сорта Лорх, кукурузу гибрид Днепровский 247 и озимую пшеницу сорта Мироновская 808. Нормы удобрений рассчитывали на три уровня планируемой урожайности каждой культуры для минеральной и навозно-минеральной систем методом элементарного баланса. Коэффициенты использования легкогидролизуемого азота из почвы (по Тюрину и Кононовой) в зависимости от вида культуры принимались равными 20—30 %, фосфора — 5—7, калия — 20—25 %; коэффициенты использования питательных веществ из минеральных и органических удобрений представлены в табл. 2. Вынос азота на 10 ц основной продукции (с учетом побочной) для картофеля в среднем принимали 5,5 кг, фосфора — 1,6, калия — 8 кг, для кукурузы — соответственно 2,6; 0,9 и 4,2, для озимой пшеницы — 35; 12 и 26 кг. Навоз вносили только один раз — под урожай картофеля и кукурузы 1981 г. — 40 т/га, под горохо-овсяную смесь — 20 т/га. В нем содержалось N — 0,4 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,2, K<sub>2</sub>O — 5 % на сырую массу. Из минеральных удобрений в опытах применяли аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий. Агрохимические анализы почвы и растений проводили общепринятыми методами.

Метеорологические условия в вегетационные периоды 1979, 1981 и 1982 гг. существенно различались. В 1979 г. со 2-й декады мая по 3-ю декаду июня отмечался дефицит влаги, 1981 г. оказался теплым и сухим. В 1982 г. температура воздуха в мае и июне была ниже средне-многолетней, количество осадков в июле несколько ниже, а в 1-й декаде августа — в 2,5 раза выше средней многолетней.

### Результаты полевых опытов

В опыте 1 при внесении возрастающих норм удобрений урожайность кукурузы в 1979 г. увеличилась по сравнению с фоном в 1,4—2,2 раза, вынос азота на единицу продукции — на 5—30 %, фосфора — на 10—20, калия — на 4—12 %. Фактическая урожайность по всем четырем уровням практически совпадала с планируемой (табл. 3). Вынос питательных веществ на 10 ц зеленой массы и коэффициенты использования азота и фосфора из минеральных удобрений оказались близкими к расчетным. Коэффициент использования калия был выше расчетного и составил 73—92 %.

В опыте 2 при увеличении норм удобрений урожайность картофеля и озимой пшеницы повышалась в 1,2—2,3, а кукурузы — в 1,2—1,8 раза по сравнению с контролем (табл. 4). В 1981 и 1982 гг. максимальная урожайность картофеля составила соответственно 288 и 368 ц/га, зеленой массы кукурузы — 485 и 407, озимой пшеницы — 47 ц/га. При этом урожайность кукурузы в течение двух лет и карто-

Урожайность зеленой массы кукурузы, вынос питательных веществ и коэффициенты их использования из минеральных удобрений в опыте 1979 г.

Вариант	Урожайность, ц/га		Вынос элементов питания на 10 ц зеленой массы, кг			Коэффициенты использования элементов питания из минеральных удобрений, %		
	планируемая	фактическая	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Без удобрений	230	222	1,9	0,9	4,9	—	—	—
30N55P50K	300	310	2,0	0,9	5,0	66,3	14,4	92,0
70N110P120K	400	394	2,4	1,0	5,1	74,8	17,6	76,7
130N200P220K	500	490	2,5	1,1	5,5	61,8	16,9	73,2

Примечание. Под предшествующую культуру вносили 60 т навоза на 1 га.

феля в 1-й год по навозно-минеральному фону удобрения была выше, чем по минеральному (разница 5—13 %).

В варианте без удобрений фактическая урожайность картофеля превышала планируемую в 1,2—2,0 раза, кукурузы — в 2 и озимой пшеницы — в 1,4 раза. При внесении одного навоза фактическая урожайность картофеля была на 10 % ниже расчетной в 1981 г. и на 40 % выше в 1982 г., кукурузы и озимой пшеницы в оба года — соответственно на 30 и 27 % выше.

Фактическая урожайность картофеля по навозно-минеральным и минеральным фонам в 1981 г. практически совпадала с планируемой при всех трех уровнях удобрений, а в 1982 г. была соответственно на 23—29 и 16—30 % выше.

Урожайность кукурузы в 1981 г. по I навозно-минеральному фону на 20 % превышала планируемую, по II — совпадала с ней, а по III — оказалась на 19 % ниже. В этом же году по I и II минеральным фонам также получена более высокая урожайность, чем планировалось (на 12 и 9 %), а по III — ниже планируемой (на 28 %). В 1982 г. фактическая урожайность кукурузы по I и II — навозно-минеральным фонам была соответственно на 26 и 7 % выше планируемой, а по III — практически одинаковой; по I и II минеральным фонам — на 28 и 4 % выше, а по III — на 11 % ниже.

Фактические и планируемые урожаи озимой пшеницы мало различались по фонам при навозно-минеральной системе удобрения (отклонение составляло всего 5—7 %), а также по I минеральному фону.

Таблица 4

Урожайность культур в звеньях севооборота (ц/га) при различных системах удобрения в опыте 2

Вариант	1-е звено		2-е звено		3-е звено
	картофель 1981 г.	кукуруза на зеленую массу, 1982 г.	кукуруза на зеленую массу, 1982 г.	картофель, 1982 г.	оз. пшеница, 1982 г.
Без удобрений (контроль)	123	274	283	196	20,7
Навоз (Н)	142	348	345	228	25,4
Н + INPK	203	377	362	257	28,5
Н + IINPK	246	430	380	317	37,0
Н + IIINPK	288	485	407	368	47,0
INPK	194	386	337	261	27,4
IINPK	251	418	363	296	34,0
IIINPK	273	445	360	348	44,8
НСР <sub>05</sub>	13	15	22	27	3,6

Средняя урожайность сельскохозяйственных культур за 1981—1982 гг. в опыте 2

Вариант	Картофель		Кукуруза на зеленую массу	
	ц/га	% к планируемой урожайности	ц/га	% к планируемой урожайности
Без удобрений	159	159	278	198
Навоз (Н)	185	116	346	133
Н + INPK	230	115	369	123
Н + IINPK	281	112	405	101
Н + IIINPK	328	109	446	89
INPK	227	113	361	120
IINPK	273	109	390	97
IIINPK	310	103	402	81

При II и III минеральных фонах фактическая урожайность зерна была соответственно на 15 и 10 % ниже планируемой.

В среднем за 2 года (табл. 5) все три уровня урожаев картофеля были получены при обеих системах удобрения, превышение составило 3—15 %. Первые два уровня урожаев зеленой массы кукурузы также были получены в среднем за 3 года (1979, 1981, 1982). Достигнуть 3-го планируемого уровня (500 ц/га) не удалось из-за не совсем благоприятных погодных условий и недостаточно высоких уровней агротехники и окультуренности почвы. Лучшей для кукурузы оказалась навозно-минеральная система удобрения.

Наибольший среднегодовой выход кормовых единиц с 1 га в звеньях севооборота (9000—10 000) получен по III навозно-минеральному и минеральному фонам. При всех системах удобрения, рассчитанных на планируемую урожайность, отмечалась высокая окупаемость 1 кг д. в. — 7,3—11,6 корм. ед. (табл. 6). При минеральной системе удобрения на создание каждых 1000 корм. ед. требовалось на 1-м уровне урожайности 26—29 кг д. в., при 2-м — 39—41, 3-м — 48—54, по навозно-минеральной — соответственно 35—40, 43—46 и 48—54 кг д. в. Таким образом, каждый последующий более высокий уровень урожайности достигался при больших затратах (на 15—45 %) питательных веществ на каждые 1000 корм. ед.

Вынос азота и калия на единицу основной продукции картофеля (с учетом побочной) при внесении возрастающих норм удобрений увеличивался по сравнению с контролем соответственно на 7—75 и 9—68 %, кукурузы — на 10—95 и 5—70 %, озимой пшеницы — на 10—40 и 5—8 % (табл. 7). Вынос фосфора, калия и магния в основном возрастал незначительно — соответственно на 6—20; 6—25 и 10—15 %

Т а б л и ц а 6

Среднегодовой выход кормовых единиц с 1 га и окупаемость удобрений в звеньях севооборота в опыте 2

Вариант	1-е звено			2-е звено		
	внесено удобрений в среднем на 1 га, кг д. в.	средне-годовой выход корм. ед., ц с 1 га	окупаемость 1 кг NPK, корм. ед.	внесено удобрений в среднем на 1 га, кг д. в.	средне-годовой выход корм. ед., ц с 1 га	окупаемость 1 кг NPK, корм. ед.
Без удобрений	—	43	—	—	60	—
Навоз (Н)	220	53	4,6	220	71	5,0
Н + INPK	260	65	8,5	285	82	7,7
Н + IINPK	350	77	9,7	385	89	7,5
Н + IIINPK	477	89	9,6	495	101	8,3
INPK	190	65	11,6	200	76	8,0
IINPK	317	77	10,7	330	84	7,3
IIINPK	445	83	9,0	450	93	7,3

Вынос питательных веществ (кг) на 10 ц основной продукции с учетом побочной в опыте 2 (в среднем за 2 года)

Элемент питания	Вариант							
	без удобрения	навоз (Н)	Н + I NPK	Н + II NPK	Н + III NPK	I NPK	II NPK	III NPK
Картофель								
N	3,9	4,6	4,6	4,5	4,9	4,7	4,9	5,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,6	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8
K <sub>2</sub> O	4,3	4,9	5,2	5,7	6,3	4,9	5,2	5,5
CaO*	1,9	2,4	2,8	2,4	2,5	2,6	2,5	2,3
MgO*	1,9	2,0	2,6	2,1	2,4	2,2	2,2	2,0
Кукуруза								
N	2,0	2,1	2,1	2,1	2,8	2,5	2,6	3,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
K <sub>2</sub> O	3,6	3,8	4,0	4,5	4,9	4,6	4,7	5,7
CaO*	1,7	1,6	1,4	2,1	2,2	1,4	1,5	1,6
MgO*	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
Оз. пшеница (1982 г.)								
N	23,6	25,9	27,4	29,7	33,1	28,3	29,9	32,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	9,4	9,9	10,6	10,4	10,8	11,0	10,9	11,5
K <sub>2</sub> O	15,6	15,4	16,2	16,5	16,8	15,2	16,4	16,5
CaO*	8,2	7,3	8,5	8,5	8,8	8,5	8,8	9,3
MgO*	4,3	4,0	4,0	4,0	4,9	4,1	4,0	4,6

Примечание. Вынос кальция и магния приведен только за 1982 г.

(во многих случаях в пределах ошибки определения — 5—10 %). У картофеля в среднем за 2 года вынос азота был на 15—20 %, калия — примерно на 30 % ниже планируемого, а фосфора — практически равный последнему. У кукурузы фактический вынос азота в среднем за годы опыта оказался на 25 % ниже планируемого только при минеральной системе удобрения, вынос калия — близкий, а фосфора — несколько ниже планируемого. У озимой пшеницы меньше планируемого был вынос калия (на 36 %). Наилучшая сходимость полученного и планируемого выносов питательных элементов на единицу продукции наблюдалась по I и II фонам удобрения.

При внесении возрастающих норм удобрений содержание крахмала в клубнях картофеля снизилось на 0,4—2,2 %, количество сырого белка в зеленой массе кукурузы повысилось на 0,3—6,6, белка и сырой клейковины в зерне озимой пшеницы — соответственно на 1,4—3,2 и 2,3—4,7 % (табл. 8). Нитратов в кукурузе содержалось в 1,5—10 раз

Таблица 8

Содержание крахмала (% на сырую массу) в клубнях картофеля, сырого белка и нитратов в зеленой массе кукурузы, белка и сырой клейковины (% на абсолютно сухую массу) в зерне озимой пшеницы в опыте 2 (в среднем за 2 года)

Вариант	Крахмал	Кукуруза		Оз. пшеница (1982 г.)	
		сырой белок	NO <sub>3</sub>	белок	сырая клейковина
Без удобрений	14,6	6,7	0,03	10,2	26,4
Навоз (Н)	14,3	7,0	0,04	11,6	29,8
Н + I NPK	13,8	7,1	0,05	12,8	28,9
Н + II NPK	13,7	7,5	0,07	13,1	30,2
Н + III NPK	13,2	9,7	0,10	12,7	28,7
I NPK	13,2	8,3	0,09	12,5	30,3
II NPK	13,3	9,5	0,13	13,0	31,1
III NPK	13,3	11,0	0,18	13,4	30,4

Хозяйственный баланс питательных веществ в 1-м (числитель)  
и 2-м (знаменатель) звеньях севооборота в опыте 2

Вариант	Увеличение продуктив- ности звена при внесе- нии удобре- ний, %	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
		кг/га	% к вы- носу	кг/га	% к вы- носу	кг/га	% к вы- носу
Без удобре- ний	—	—101	4	—41	7	—125	14
	—	—120	3	—61	5	—174	10
Навоз (Н)	23	+21	115	+21	134	+24	112
	19	—5	97	—5	94	—28	89
Н + INPK	51	+52	130	+25	132	—28	89
	37	+30	116	+30	132	—40	86
Н + IINPK	79	+123	166	+50	154	—62	81
	49	+80	134	+70	168	—46	87
Н + IIINPK	107	+113	140	+108	208	—33	92
	69	+99	134	+104	188	—47	89
INPK	51	—22	88	+27	136	—119	54
	27	—48	77	+22	124	—145	51
IINPK	79	+23	110	+72	184	—58	81
	40	+17	107	+64	165	—83	76
IIINPK	93	+28	109	+112	206	—37	91
	55	+35	111	+107	201	—30	93

Примечание. Учтено количество питательных веществ, внесенное с семенами

меньше предельно допустимой нормы (0,3 %). Содержание крахмала в клубнях снижалось менее интенсивно при навозно-минеральной системе удобрения в год внесения навоза, чем при минеральной. В последующий год влияние обеих систем на этот показатель было одинаковым.

По мере повышения продуктивности звеньев севооборота при навозно-минеральной и минеральной системах удобрения складывался более положительный баланс питательных веществ (табл. 9), и это вполне закономерно, поскольку методикой расчета норм удобрений на возрастающие уровни урожайности предусматривается улучшение показателей баланса питательных веществ в почве. Вместе с тем не всегда складывался бездефицитный и положительный баланс. В данном опыте отрицательный азотный баланс (77—88 % к выносу) был при 1-м уровне планируемой урожайности по минеральному фону, а калийный — практически во всех вариантах с удобрениями особенно по I минеральному фону (51—54 % к выносу). Баланс по фосфору, как при минеральной, так и навозно-минеральной системах удобрения был положительным.

Лучшими по урожайности, эффективности удобрений и улучшению (или сохранению) плодородия почвы являются III уровни обеих систем удобрения. По балансу гумуса преимущество имеет навозно-минеральная система.

При всех трех уровнях обеих систем удобрения коэффициенты использования питательных веществ из удобрений были в пределах нормы, но по азоту и фосфору — несколько ниже планируемых, по калию при I уровне минеральной системы — выше (табл. 10). Однако при более высоких коэффициентах баланс питательных веществ в почве, особенно по калию и азоту, сложился бы менее благоприятно для сохранения плодородия почвы. Следует иметь в виду, что непродуцированные потери азота удобрений составляют 20—30 %.

Коэффициенты использования питательных веществ из почвы за 2 года оказались равными: по легкогидролизуемому азоту для картофеля — 28—39 %, кукурузы — 30 и озимой пшеницы — 27 %; по фос-

Коэффициенты использования (КИ) питательных веществ растениями из удобрений (%) за 2 года в опыте 2 (в числителе — 1-е звено севооборота, в знаменателе — 2-е)

Вариант	Внесено удобрений в среднем на 1 га за 2 года в звене севооборота, кг д. в.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	—	—	—	—
2*	80N40P100K	24	23	26
	80N40P100K	28	30	27
3**	110N50P100K	30	34	52
	110N60P115K	32	24	42
4**	155N70P125K	28	35	75
	155N85P145K	36	23	56
5**	195N102P180K	45	27	75
	195N110P190K	44	25	67
6	80N50P60K	51	32	95
	80N55P65K	55	25	78
7	125N77P115K	50	27	71
	130N80P120K	47	22	62
8	170N105P170K	62	27	67
	170N105P175K	54	20	59

\* КИ из навоза;

\*\* КИ — из навоза и минеральных удобрений; в остальных вариантах — КИ из минеральных удобрений.

фору — соответственно 8—16; 13—15 и 9 %, калию — 12—19; 21—24 и 7 %. По азоту и калию они в основном были близки к планируемому, а по фосфору — в 1,5—2 раза выше.

Агрохимические показатели почвы за 2 года опыта почти не изменились. Отмечалась тенденция к снижению содержания подвижных форм фосфора в контроле и его увеличению при более высоких нормах удобрений. Даже при относительном балансе фосфора в почве 180—200 % к выносу (табл. 9) не произошло резкого изменения содержания подвижных его форм в почве.

Таким образом, в данных почвенно-климатических условиях в звеньях севооборота наиболее рациональными с точки зрения их комплексной оценки (высокой продуктивности культур надлежащего качества, эффективности удобрений и сохранения почвенного плодородия) оказались II и III уровни навозно-минеральной и минеральной систем удобрения — соответственно 317—385 и 445—495 кг д. в. в среднем на 1 га. При этом навозно-минеральная система удобрения в будущем должна обеспечить лучший баланс гумуса в почве.

### Результаты 7-летнего применения удобрений в хозяйстве

В учхозе «Дружба» применение органических удобрений в 1980—1982 гг. возросло по сравнению с 1976 г. в 1,5—2,7, а минеральных — в 1,2—1,6 раза, в том числе азотных, фосфорных и калийных соответственно в 1,1—1,6; 1,4—3,3 и 1,2—1,8 раза (табл. 11). Общая норма минеральных удобрений на 1 га пашни в 1977—1982 гг. составила 250—340 кг д. в. В среднем нормы органических удобрений в последние годы приближались к 10 т (т. е. к уровню, позволяющему сохранять бездефицитный баланс гумуса).

Урожайность сельскохозяйственных культур в 1976—1982 гг. значительно колебалась (табл. 12), что зависело в основном от погодных условий и ряда других организационно-хозяйственных причин.



Внесено органических и минеральных удобрений в учхозе «Дружба»  
в среднем на 1 га пашни в 1976—1982 гг.

Удобрения	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	В среднем
Органические, т	5,0	9,4	9,3	10,0	13,6	8,5	7,4	9,0
Минеральные, кг д. в.	213	250	275	277	250	333	340	277
В т. ч.:								
N	79	91	90	102	76	85	127	93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35	26	61	59	50	72	115	59
K <sub>2</sub> O	99	133	124	116	124	176	98	125

Средняя урожайность зерновых 25 ц/га, при этом урожайность яровых оказалась на 1,5 ц/га выше, чем озимых. Среди озимых более продуктивной была пшеница, среди яровых — ячмень. Наиболее неблагоприятные по погодным условиям годы для озимых — 1978—1980, для яровых и однолетних трав — 1979—1981, картофеля и кукурузы — 1976, 1977, 1980 (т. е. в каждом случае по 3 года из 7). В меньшей степени

Таблица 12

Урожайность сельскохозяйственных культур (ц/га)  
в учхозе «Дружба» в 1976—1982 гг.

Культура	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	В среднем за 1976—1982 гг.
Оз. пшеница	29,2	26,5	24,1	19,1	21,7	23,1	31,4	24,7
Оз. рожь	23,2	18,5	16,7	20,4	16,1	23,9	28,7	21,9
Оз. зерновые в среднем	27,6	25,2	22,0	19,2	20,0	23,2	30,4	24,1
Ячмень	29,1	36,0	33,5	24,3	11,9	15,9	23,0	26,1
Овес	29,1	23,6	36,9	21,1	24,8	11,0	37,6	24,3
Яр. зерновые в среднем	29,1	32,7	34,3	22,8	15,6	13,4	26,8	25,6
Зерновые в среднем	28,0	32,2	32,1	21,6	17,3	15,2	28,1	25,0
Картофель	73	117	130	207	78	125	206	132
Кормовые корнеплоды	230	230	230	193	283	448	329	278
Кукуруза на силос	79	153	191	323	167	205	303	202
Однолетние травы на зеленый корм и силос	199	160	167	67	78	113	113	141
Многолетние травы:								
на сено	40	40	40	25	42	42	53	41
на зеленый корм	194	183	177	132	219	128	212	181
на выпас	206	211	230	165	251	73	250	189
на семена	1,3	0,9	0,1	1,3	1,8	2,4	1,5	1,3

Таблица 13

Хозяйственный баланс питательных веществ в пахотном слое почвы учхоза «Дружба»  
за 1976—1982 гг. (в среднем на 1 га пашни)

Показатель	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вынос питательных веществ с урожаями за 7 лет, кг	354	174	547
Внесено питательных веществ с удобрениями за 7 лет:			
с органическими	190	95	253
с минеральными	650	417	871
Обогащение почвы азотом за счет многолетних бобовых трав, кг	12	—	—
Всего поступило в почву питательных веществ, кг	852	512	1124
Относительный баланс, % к выносу	241	294	206
Абсолютный баланс, кг	+498	+338	+577

вливали погодные условия на многолетние травы и кормовые корнеплоды.

Разработанная кафедрой агрохимии Тимирязевской академии система удобрения в севооборотах учхоза (в 3 полевых и 1 лугопастбищном) рассчитана на урожайность зерновых культур 34 ц/га, картофеля — 250, кормовых корнеплодов — 500, зеленой массы кукурузы и однолетних трав — соответственно 400 и 250, сена многолетних трав — 47 ц/га (табл. 13). При этом планировался относительный баланс азота в разных севооборотах 112—118 % к выносу, фосфора — 180—240, калия — 93—105 %. На 1 га полевых севооборотов предусматривалось вносить 6—10 т органических удобрений и 205—260 кг д. в. минеральных (70—96N60—70P75—100K), на пастбище в среднем 170N60P140K. На отдельных полях хозяйства проводилось известкование. Почвы в учхозе в основном серые лесные.

В среднем за 7 лет фактическая урожайность зерновых культур составила 76 % к планируемой, картофеля, кормовых корнеплодов, кукурузы и однолетних трав — 51—56, многолетних трав — 76—87 %. Вместе с тем в отдельные годы (при нормальных погодных условиях и достаточно высоком уровне агротехники) были получены планируемые и близкие к планируемым урожаи ряда культур. Уровни урожайности ниже планируемых нельзя в данном случае объяснить недостатком удобрений. Хозяйственный баланс питательных веществ в почвах учхоза за 1976—1982 гг. (табл. 13) свидетельствует, что в почву поступило больше, чем было вынесено, азота на 241 %, фосфора — на 294, калия — на 206 %. Создавшийся избыток удобрений не всегда можно считать положительным фактором. Так, излишне высокое содержание азота в почве способствовало более сильному полеганию зерновых культур и развитию фитофторы у картофеля, особенно во влажные годы. Следует отметить также, что фактически в хозяйстве вносилось даже больше, чем планировалось, азотных и калийных удобрений: при применении минеральных удобрений в среднем на 1 га пашни севооборотов около 230 кг д. в. (70—95N60—70P75—100K) было внесено 250—340 кг д. в. (90—127N26—115P98—176K).

Весомая причина низкой урожайности — неблагоприятные погодные условия. Однако, как показывают результаты полевых опытов, проведенных в том же учхозе и в те же годы, при более высоком уровне агротехники и ликвидации организационно-хозяйственных неполадок здесь можно получать достаточно высокие урожаи [3, 7, 8].

Хозяйственный баланс питательных веществ (табл. 13) хорошо согласуется с результатами агрохимического обследования почв в 1976 и 1981 гг. (табл. 14). За 6 лет в пахотном слое почв учхоза повысилась содержание подвижных форм фосфора и калия в среднем на 2,3 и 6,5 мг на 100 г, на 13 % уменьшилась площадь почв с очень низким содержанием подвижных форм фосфора (I класс) и на 24 % с очень низким

Таблица 14

Распределение площади пашни в учхозе «Дружба» (га) по степени кислотности и содержанию подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову в 1976 (в числителе) и 1981 гг. (в знаменателе)

Показатель	Класс почвы						Средневзвешенное содержание, мг/100 г
	I	II	III	IV	V	VI	
pH <sub>сол</sub>	84	50	540	762	745	680	—
	—	20	333	999	760	748	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	595	351	1644	100	171	—	6,8
	213	706	921	665	291	65	3,1
K <sub>2</sub> O	332	357	1062	580	530	—	11,6
	—	11	722	664	1008	456	18,1

и низким содержанием подвижного калия (I и II классы), на 27 и 35 % увеличилась площадь почв с повышенным, высоким и очень высоким содержанием (IV—VI классы) соответственно фосфора и калия. Кислых почв после проведенного известкования осталось всего 12 % вместо 24 % в 1976 г. Если повышенные нормы фосфора и калия способствовали увеличению содержания подвижных форм фосфора и калия в почве, то применение избыточного количества азотных удобрений сопровождалось в основном непроизводительными потерями азота за счет вымывания и денитрификации.

Экономическая эффективность удобрений в хозяйстве за 1976—1982 гг. была рассчитана методом долевого участия удобрений в создании урожая. При этом урожайность на удобренных почвах учитывалась по данным полевых опытов учхоза и агрохимической службы страны на серых лесных почвах с корректировкой для производственных условий [9, 10, 13]. Чистый доход от удобрений в среднем на 1 га за указанные годы был равен 115 руб., окупаемость 1 руб. затрат на удобрения составила 2,5 руб.

### Выводы

1. В полевом опыте на серой лесной почве со средним содержанием подвижных форм фосфора и повышенным калия внесение на 1 га звеньев севооборота 477—495 кг д. в. удобрений при навозно-минеральной и 445—450 кг д. в. при минеральной системах удобрения обеспечило в 1981—1982 гг. урожайность картофеля 310—330 и кукурузы 400—500 ц/га. Среднегодовая продуктивность звеньев составила 8500—10 000 корм. ед., а окупаемость 1 кг NPK — 7,3—9,6 корм. ед. Навозно-минеральная система удобрения обеспечила более высокую продуктивность культур севооборота (на 7—9 %), чем минеральная, при их расчете на одинаковый уровень урожайности.

2. В среднем по хозяйству за 1976—1982 гг. при внесении на 1 га пашни 9 т органических и 277 кг д.в. (93N59P125K) минеральных удобрений была получена урожайность зерновых культур 25 ц, картофеля — 132, кормовой свеклы — 278, кукурузы на силос — 202 и сена многолетних трав — 41 ц.

3. Фактическая урожайность культур в полевых опытах была близкой к планируемой при всех трех ее уровнях (от 80 до 120 % к расчетной).

В среднем по хозяйству в 1976—1982 гг. получена урожайность зерновых на 24 %, кормовой свеклы, картофеля, кукурузы, однолетних трав — на 44—50 и многолетних трав — на 13—24 % ниже планируемой, что связано не только с неблагоприятными погодными условиями (3 года из 7), но и с недостаточно высоким уровнем агротехники и организации труда в отдельные годы.

4. При внесении возрастающих норм удобрений уменьшалось содержание крахмала в клубнях картофеля (на 0,4—2,2 %), увеличивалось содержание сырого белка в зеленой массе кукурузы (на 0,3—6,6 %), белка (на 1,4—3,2 %) и сырой клейковины (на 2,3—4,7 %) в зерне озимой пшеницы. Крахмалистость клубней снижалась в меньшей мере при навозно-минеральной системе по сравнению с минеральной. Нитратов в зеленой массе кукурузы содержалось в 1,5—10 раз меньше допустимого количества.

5. Вынос азота и калия на 10 ц основной продукции (с учетом побочной) при внесении возрастающих норм удобрений увеличивался по сравнению с контролем соответственно на 7—75 и 9—68 % у картофеля, 10—95 и 5—70 % у кукурузы, 10—40 и 5—8 % у озимой пшеницы. Наилучшая сходимость фактических и планируемых выносов получена при I и II уровнях систем удобрения.

6. Коэффициент использования легкогидролизуемого азота из почвы составил 27—39 %, фосфора — 8—16, калия — 7—24 %. Из минеральных удобрений растения потребляли за 2 года азота — 47—62 %,

фосфора — 20—32, калия — 59—95 %, а на фоне навоза — соответственно 28—45; 23—35 и 42—75 %.

7. При внесении в среднем на 1 га 9 т органических удобрений и 93N59P125K средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое почвы увеличилось в хозяйстве за 6 лет с 6,8 до 9,1 мг, а калия — с 11,6 до 18,1 мг на 100 г, при этом относительный баланс (в % к выносу) по фосфору и калию был более 200 %.

8. Наиболее рациональным оказалось внесение в среднем на 1 га 317—450 кг д. в. при минеральной и 350—495 кг д. в. при навозно-минеральной системах удобрения. В этом случае обеспечивались высокие продуктивность звеньев севооборота (7700—10 000 корм. ед. с 1 га), качество продукции и эффективность удобрений, а также наиболее благоприятный для сохранения и повышения плодородия почвы баланс питательных веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Асаров Х. К., Демин В. А., Девин В. К. Продуктивность севооборота и качество урожая при разном уровне удобрения. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 1, с. 71—78. — 2. Асаров Х. К., Демин В. А., Пронкин Н. К. Действие совместного и раздельного применения жидкого навоза и минеральных удобрений на урожайность культур и агрохимические свойства почвы. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 2, с. 41—50. — 3. Асаров Х. К., Демин В. А., Чепурин В. К. Урожайность ячменя на серой лесной почве при разных дозах и способах внесения минеральных удобрений. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 4, с. 64—69. — 4. Афендулов К. П., Лантухова А. И. Удобрения под планируемый урожай. М.: Колос, 1973. — 5. Демин В. А. Определение доз удобрений под с.-х. культуры в севообороте. М.: ТСХА, 1981. — 6. Демин В. А., Правда И. И. Урожайность культур в севообороте на дерново-подзолистой почве в зависимости от системы удобрения и орошения. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 4, с. 18—23. — 7. Демин В. А., Чепурин В. К. Действие рядкового удобрения на урожайность ячменя при различных уровнях основного удобрения на серой лесной почве. — Докл. ТСХА, 1980, вып. 263, с. 30—34. — 8. Демин В. А., Чепурин В. К. Влияние сроков и способов азотной подкормки на урожай озимой пшеницы. — В сб.: Вопр. агрохимии азота. — М.: ТСХА, 1982, с. 97—104. — 9. Державин Л. М. Эффективность минеральных удобрений. — Химия в сельск. хоз-ве, 1977, № 11, с. 35—38. — 10. Державин Л. М. Химизация зернового хозяйства СССР. — Химия в сельск. хоз-ве, 1983, № 6, с. 3—9. — 11. Каюмов М. К. Справочник по программированию урожаев. — М.: Россельхозиздат, 1977. — 12. Михайлов Н. Н., Книпер В. П. Определение потребности растений в удобрениях. М.: Колос, 1971. — 13. Токарев В. В. О методике определения экономической эффективности удобрений в условиях с.-х. производства. — Химия в сельск. хоз-ве, 1981, № 11, с. 44—49. — 14. Шатилов И. С. Планировать урожайность на научной основе. — Сельск. хоз-во России, 1968, № 5, с. 7—9. — 15. Шатилов И. С. Экономические, биологические и агротехнические условия получения запланированных урожаев. — Изв. ТСХА, 1970, вып. 1, с. 60—66. — 16. Ягодин Б. А., Смирнов П. М., Демин В. А. Оптимизация минерального питания растений при программировании урожаев. — Изв. ТСХА, 1982, вып. 3, с. 59—67.

*Статья поступила 29 сентября 1983 г.*

## SUMMARY

The task of the investigation was to determine the removal of nutrients, their utilization coefficients, rates of balance in order to calculate the rates of organic and mineral fertilizers for various levels of planned productivity of crops cultivated on grey forest soils. Influence of nutrients on produce quality and main soil agrochemical indices were also studied to obtain complex evaluation of rational fertilization rate.

Results of the investigation can be used in elaborating fertilization system for fodder crop rotation on grey forest soils in the Non-chernozem zone of the RSFSR and in planning their yields under different mineral fertilizers supplies to the farms.