

УДК 631.816:631.582

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С РАЗНЫМИ БАЛАНСОВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ В ЧЕТЫРЕХПОЛЬНОМ СЕВООБОРОТЕ

Ю. П. ЖУКОВ, С. М. НЕЧУШКИН, В. Б. БАГАЕВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Важнейшим условием повышения эффективности удобрений является научно обоснованное установление доз и соотношений их под каждую культуру с учетом принятого чередования, плановых урожаев, плодородия почвы, свойств применяемых удобрений, уровня агротехники, климатических и организационно-экономических условий хозяйств. В связи с этим в задачу наших исследований входило научное обоснование различных доз и соотношений удобрений, рассчитанных на получение плановых урожаев сельскохозяйственных культур, при разбросном и локальном их внесении в четырехпольном севообороте и экспериментальная проверка эффективности предлагаемой системы удобрения в Опытном-производственном хозяйстве «Заветы Ленина» Калининской области.

### Методика и условия проведения опытов

На старопахотной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 1976 г. был заложен полевой стационарный опыт в четырехпольном севообороте: вико-овсяная смесь — озимая рожь (Гибрид 173) — картофель (Столовый 19) — ячмень (Московский 121). Почва опытного участка среднеплодородная,  $pH_{KCl}$  в пахотном слое (22 см) — 5,0, содержание гумуса по Тюрину — 2,1%, обеспеченность подвижными формами фосфора и калия по Кирсанову — соответственно 5,2 и 10,8 мг на 100 г. Поскольку опыт был заложен весной, вместо озимой ржи посеяли ячмень. Повторность опыта 4-кратная. Общая площадь каждой делянки 200 м<sup>2</sup>, учетная для зерновых — 74,4, картофеля — 56, вико-овсяной смеси — 79,24 м<sup>2</sup>. Схемы систем удобрения в севообороте даны в табл. 1. Во 2, 3, и 4-м вариантах они различаются только плановыми балансовыми коэффициентами использования фосфора — соответственно 50, 70 и 90%. Балансовые коэффициенты использования других элементов удобрений в севообороте неизменены: для азота 75%, для калия 100%. В 5-м варианте в отличие от 4-го минеральные удобрения под культуры вносили не вразброс, а локально. Плановые балансовые коэффициенты использования азотных, калийных и органических удобрений в отдельные годы и в среднем за ротацию севооборота подбирали с учетом эффективного плодородия почвы опытного участка [6], при этом последствие органических удобрений рассчитано на четыре года. Дифференциация балансовых коэффициентов использования фосфора из удобрений и почвы позволяет уточнить реальное потребление его культурами в условиях данного хозяйства. И наконец, локализация минеральных удобрений при основном их внесении (5-й вариант) по сравнению с обычным, разброс-

ным, дает возможность проследить за изменением в продуктивности культуры и использовании ими питательных элементов.

Минеральные удобрения в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия вносили вручную: фосфорно-калийные — под зяблевую вспашку, навоз — при перепашке зяби весной, азотные — под все культуры, в предпосевную культивацию, а под озимую рожь —  $\frac{1}{3}$  дозы осенью в предпосевную культивацию и  $\frac{2}{3}$  в весеннюю подкормку. Посев зерновых культур проводили элитными семенами комбинированной сеялкой СЗУ-3,6, посадку картофеля — картофелесажалкой СН-4Б гребневым способом.

Для предотвращения полегания посевов и в целях борьбы с сорняками в фазу кущения озимой ржи и ячменя применяли опрыскивание аминной солью 2,4-Д (0,8 кг д. в. на 1 га) и хлорхлоринхлоридом (2 кг д. в.). В целом агротехника возделывания всех культур соответствовала общепринятой для Калининской области.

Т а б л и ц а 1

Системы удобрения в четырехпольном севообороте

Культуры севооборота	Плано-вые уро-жай во 2—5-м вариантах, ц/га	Вариант удобрения												
		1 (контроль)	2			3			4			5		
			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	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
Вико-овсяная смесь (сено)	60	P10	125	40	95	125	30	95	125	20	95	125	20	95
Оз. рожь	45	P10	60	80	115	60	50	115	60	40	115	60	40	115
Картофель	350	N20P20K20	120	30	155	120	20	155	120	10	155	120	10	155
Ячмень	55	P10	155	80	95	155	55	95	155	40	95	155	40	95
Плано-вый баланс, % к выносу			+33	+90	+3	+33	+52	+3	+33	+30	+3	+33	+30	+3

Примечание. Навоз в дозе 40 т/га вносили под картофель во 2—5 вариантах. В скобках приведены дозы азотных подкормок. Припосевное удобрение (как фон) внесено во 2—5 вариантах.

Урожай зерновых культур убирали прямым комбайнированием комбайном СК-5 «Нива», вики с овсом — косилкой-плющилкой Е-301, картофеля — картофелекопалкой с последующим подбором картофеля вручную. Урожай соломы определяли по пробному снопу. В отобранных в фазу полной спелости зерна образцах зерновых культур устанавливали соотношение зерна и соломы, а в отобранных перед уборкой за 1—2 дня 20 кустах картофеля из каждого варианта — соотношение клубней и ботвы.

Химический состав товарной и нетоварной частей урожая определяли общепринятыми методами: азот — микрометодом Кьельдаля, фосфор — колориметрически в модификации Малюгина и Хреновой, калий — на пламенном фотометре, белок в зерновых — по Барнштейну, а в последующем азот — микрометодом Кьельдаля, крахмал — по Эверсу на поляриметре.

Вынос азота, фосфора и калия культурами севооборота рассчитывали в товарной и нетоварной частях урожая; коэффициенты использования питательных элементов удобрений определяли разностным и балансовым методами.

Данные об урожае приведены к стандартной влажности и обработаны статистически [2].

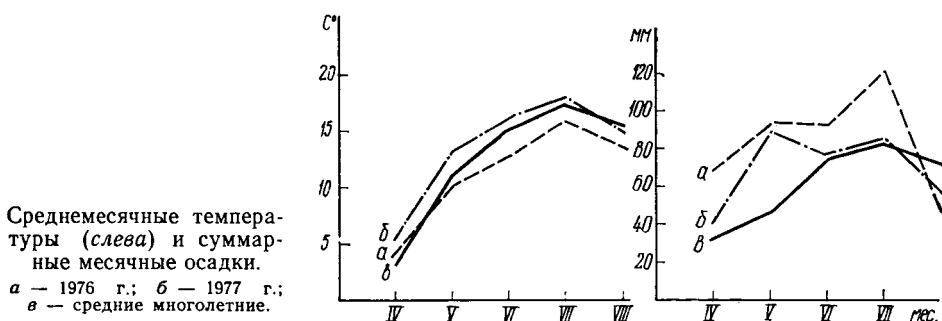
Известно, что урожай сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от метеорологических условий, особенно в период вегетации. Физико-географическое положение Калининской области оп-

ределяет большую интенсивность атмосферной циркуляции, что приводит к сильной изменчивости погоды как в течение года, так и из года в год. Климат области умеренно континентальный, характеризуется сравнительно теплым летом, умеренно холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными переходными сезонами.

Калининская область относится к зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма осадков в среднем составляет 600—700 мм, в отдельные годы она колеблется от 350 до 900 мм. Две трети осадков в году выпадает в виде дождя, одна треть — в виде снега. Ливневые дожди нередко сопровождаются грозами, а иногда и градом. В среднем за теплый период бывает 21—25 дней с грозой и около 2 дней с градом [1].

Климат зоны, в которой расположено хозяйство, достаточно теплый, влажность вследствие обильных дождей и малой испаряемости нередко бывает избыточной.

Метеорологические условия в годы проведения опытов были различными (рисунок). В 1976 г. с апреля по август выпало 423 мм осад-



ков, в 1977 г. — 352 мм при норме 308 мм. В 1976 и в 1977 гг. осадки распределялись в течение вегетационного периода неравномерно. Так, в апреле — мае 1976 г. количество осадков в 2 раза превысило норму, только на июль приходилась третья часть всех осадков (121 мм). В 1977 г. в 3-й декаде мая выпало на 52% осадков больше нормы, а в 1-й декаде июня — 64% нормы. Все это затрудняло обработку посевов картофеля и зерновых культур. Более 71% месячной нормы осадков выпало в 1-й декаде августа. При этом ливневые дожди, которые дважды сопровождалась градом и порывистым ветром, прибили к земле все посевы зерновых, зерна из колосьев были выбиты и вместе с обломанными колосьями лежали на земле.

Сумма температур за вегетационный период 1976 г. равнялась 1689°, а в 1977 г. — 2026°.

### Результаты и их обсуждение

Погодные условия 1976—1977 гг. оказались наиболее благоприятными только для многолетних и однолетних трав, урожай которых были в эти годы высокими. Так, урожай вико-овсяного сена даже в варианте без удобрений, где в качестве фона использовали только припосевное удобрение (P<sub>10</sub>), составил в среднем 46,3 ц/га (табл. 2).

Во всех вариантах, как правило, получены достоверные прибавки урожая. В среднем за 2 года урожай сена при всех изучавшихся системах удобрения повысился на 17—42% по сравнению с контролем. В варианте с минимальными дозами фосфорных удобрений в среднем за 2 года урожай сена был наибольшим — 65,9 ц/га, что на 5,9 ц/га выше планируемого. Минеральные удобрения, внесенные локально на глуби-

## Влияние различных систем удобрений на урожайность культур севооборота (ц/га)

Вариант системы удобрения	Вика с овсом, сено	Ячмень (1976), оз. рожь (1977)		Картофель		Ячмень	
		зерно	солома	клубни	ботва*	зерно	солома
1976 г.							
1	42,6	12,1	23,9	134	11,5	18,3	19,0
2	50,7	22,8	37,1	149	15,6	23,6	27,0
3	54,0	30,5	44,0	154	15,6	24,6	27,3
4	67,5	20,6	32,0	142	15,9	28,0	28,8
5	57,6	22,6	37,0	180	16,5	27,2	28,4
НСР <sub>0,5</sub>	±6,5	±4,3		±29,1		±4,9	
P, %	3,86	6,31		6,15		6,39	
1977 г.							
1	49,9	19,0	34,1	114	14,5	18,2	13,4
2	65,4	21,7	34,9	137	18,3	25,2	21,2
3	54,5	19,9	36,1	139	20,2	20,3	34,2
4	64,3	24,4	32,6	174	23,3	20,2	40,6
5	61,7	24,3	52,1	190	25,7	21,2	36,3
НСР <sub>0,5</sub>	±5,2	±1,1		±17,3		±1,8	
P, %	2,81	1,6		3,68		2,81	
В среднем за 2 года							
1	46,3	15,6	29,0	124	13,0	18,3	16,2
2	58,1	22,3	36,8	143	17,0	24,4	24,1
3	54,3	25,2	40,1	147	17,9	22,5	30,8
4	65,9	22,5	32,3	158	19,6	24,1	34,7
5	59,7	23,5	44,6	185	21,1	24,2	32,4

\* В расчете на абсолютно сухую массу.

ну 12—15 см (5-й вариант), практически обеспечили получение планового урожая — 59,7 ц/га (табл. 2).

Урожай озимой ржи в 1977 г. в результате неблагоприятных погодных условий оказались значительно ниже плановых, но во всех вариантах, кроме 3-го, прибавки урожая были достоверными (табл. 2). Под влиянием удобрений урожай зерна озимой ржи повысился на 14—30%, при этом наибольшие прибавки зерна (30%) получены в 4-м и 5-м вариантах (минимальные дозы фосфора).

Урожай соломы ржи при разных системах удобрений практически были одинаковыми, только при локальном внесении удобрений урожай повысился на 50% и значительно увеличился удельный вес соломы в хозяйственном урожае.

Погодные условия 1976—1977 гг. были крайне неблагоприятными и для картофеля. В 1976 г. достоверная прибавка урожая получена только при локальном внесении минеральных удобрений, в этом варианте урожай клубней был на 34% выше, чем в контроле (табл. 2). При внесении удобрений только во время посадки ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) для конкретных условий урожай оказался довольно высоким — 134 ц/га. По-видимому, в данном случае удобрение способствовало значительной мобилизации почвенных запасов питательных элементов, особенно азота. Это подтверждается результатами опытов с мечеными  $^{15}N$  удобрениями [10] и согласуется с работами других авторов [8, 9].

В среднем за 2 года урожай картофеля по сравнению с контролем повысился во всех опытных вариантах на 15—49%. Наибольший урожай клубней получен при локальном внесении минеральных удобрений.

Урожайность ботвы картофеля несколько возросла при внесении минимальных доз фосфорных удобрений (4—5-й варианты), но отношение ботвы к клубням во всех вариантах было одинаковым (табл. 2). Если ботву картофеля использовать для производства витаминной муки и гранул на корм скоту, то по сбору кормовых единиц с гектара в среднем за 2 года картофель превзошел бы все культуры севооборота.

Из-за неблагоприятных погодных условий урожай ячменя не превышали 29 ц/га. В среднем за 2 года урожай зерна при всех системах удобрения были практически одинаковыми — на уровне 24 ц/га, однако

Т а б л и ц а 3

Содержание питательных элементов (% на воздушно-сухое вещество)  
в урожаях культур севооборота в 1976 г.  
(в числителе — клубни и зерно, в знаменателе — ботва и солома)

Вариант системы удобрения	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
Вика с овсом (сено)			Оз. рожь (ячмень)			
1	1,75	0,37	2,4	<u>2,73</u> 1,29	<u>0,64</u> 0,34	<u>0,61</u> 1,72
2	2,27	0,45	2,4	<u>2,86</u> 1,42	<u>0,80</u> 0,39	<u>0,68</u> 1,80
3	2,23	0,52	2,3	<u>2,74</u> 1,40	<u>0,64</u> 0,42	<u>0,69</u> 1,81
4	2,13	0,57	2,3	<u>2,93</u> 1,51	<u>0,88</u> 0,40	<u>0,60</u> 1,76
5	2,29	0,57	2,4	<u>3,0</u> 1,66	<u>0,87</u> 0,39	<u>0,65</u> 1,77
Картофель			Ячмень			
1	<u>1,0</u> 2,24	<u>0,50</u> 0,43	<u>1,50</u> 3,30	<u>2,77</u> 1,68	<u>0,86</u> 0,31	<u>0,74</u> 1,20
2	<u>0,95</u> 2,30	<u>0,56</u> 0,54	<u>1,65</u> 3,49	<u>3,14</u> 1,72	<u>0,94</u> 0,38	<u>0,79</u> 1,28
3	<u>0,90</u> 2,23	<u>0,54</u> 0,57	<u>1,57</u> 3,50	<u>2,73</u> 1,66	<u>0,76</u> 0,43	<u>0,80</u> 1,30
4	<u>0,99</u> 2,25	<u>0,54</u> 0,56	<u>1,54</u> 3,44	<u>3,14</u> 1,77	<u>0,79</u> 0,36	<u>0,72</u> 1,26
5	<u>0,96</u> 2,29	<u>0,53</u> 0,56	<u>1,59</u> 3,46	<u>3,02</u> 1,64	<u>0,80</u> 0,35	<u>0,76</u> 1,26

различия в урожае соломы ячменя достигали 65%. В результате уменьшения доз фосфорных удобрений удельный вес соломы в хозяйственном урожае ячменя по сравнению с контролем и вариантом с максимальной дозой фосфора значительно увеличился. Отношение зерна к соломе, близкое единице, было получено в среднем за 2 года в контроле и при внесении максимальных доз фосфора.

Под влиянием удобрений, как правило, во всех культурах севооборота повышалось относительное содержание азота, фосфора и калия, за исключением азота в клубнях картофеля и калия в вико-овсяном сене (табл. 3). Содержание сырого протеина в вико-овсяном сене во всех опытных вариантах было практически одинаковым и выше, чем в контроле. Сбор его с урожаем повышался соответственно с увеличением урожаев сена (табл. 4).

Процентное содержание белка в зерновых при внесении удобрений, как правило, также возрастало по сравнению с контролем, а содержание крахмала в клубнях картофеля несколько снижалось. Сбор белка и

Содержание белка, крахмала и сырого протеина (в числителе, %) в культурах севооборота в 1976 г. и сбор их с урожаем (в знаменателе, кг/га)

Вариант системы удобрения	Ячмень (белок)	Оз. рожь, ячмень (белок)	Картофель (крахмал)	Вико-овсяная смесь (сырой протеин)
1	14,8 271	14,1 171	16,1 2200	10,0 426
2	17,7 418	16,4 374	15,5 2300	12,9 654
3	14,4 354	15,8 482	15,2 2300	12,7 686
4	17,1 479	16,0 330	16,0 2300	12,1 817
5	18,4 501	17,3 391	15,4 2800	13,0 749

крахмала увеличивался с повышением урожайности зерновых и картофеля (табл. 4).

Общий вынос азота, фосфора и калия урожаями культур севооборота под влиянием удобрений возрастал соответственно в 1,3—2,3; 1,5—2,4 и в 1,2—1,6 раза.

Т а б л и ц а 5

Потребление питательных элементов отдельными культурами севооборота при разных системах удобрения в 1976 г.

Вариант системы удобрения	Затраты на 10 ц зерна и соответствующее количество соломы			Коэффициенты использования питательных элементов, %					
				разностный			балансовый		
	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	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вика с овсом (сено)									
1	18	4	24						
2	23	5	24	32	18	21	92	46	128
3	22	5	23	36	40	23	96	70	131
4	21	6	23	55	110	56	115	127	163
5	23	6	24	46	85	38	106	110	145
Оз. рожь (ячмень)									
1	53	13	40						
2	52	15	36	31	21	30	67	37	72
3	48	13	33	47	46	46	83	65	88
4	52	15	33	25	38	17	62	62	59
5	57	15	36	37	45	29	74	68	70
Картофель									
1	45	16	66						
2	48	20	78	3	5	7	21	19	28
3	45	20	75	3	7	7	21	21	28
4	50	20	78	3	5	6	21	22	27
5	45	18	72	7	10	10	24	25	31
Ячмень									
1	45	12	20						
2	51	14	23	24	13	19	77	36	57
3	46	13	23	19	16	21	72	48	59
4	50	11	20	36	25	21	90	64	59
5	47	12	12	30	25	22	83	64	60

Затраты питательных элементов на единицу основной и соответствующее количество побочной продукции также несколько увеличивались, как правило, при всех изучавшихся системах. Следует подчеркнуть, что увеличение затрат питательных элементов на единицу продукции у всех культур было менее выраженным по сравнению с увеличением общего выноса питательных элементов с хозяйственным урожаем. С уменьшением доз фосфорных удобрений затраты фосфора на единицу продукции у всех культур практически не снижались (табл. 5).

Для сравнительной оценки продуктивности использования питательных элементов из удобрений и почвы культурами севооборота при разных системах удобрения мы рассчитали коэффициенты их использования разностным и балансовым методами. В последнем случае эти коэффициенты определяли как процентное отношение вынесенных хозяйственным урожаем элементов к их количеству, внесенному с удобрениями [5—7]. Как видно из табл. 5, балансовые коэффициенты использования питательных элементов из удобрений по сравнению с разностными в 1,5—3 раза выше для всех изучавшихся культур при всех испытывавшихся системах удобрения.

Коэффициенты использования удобрений картофелем самые низкие, что связано, с одной стороны, с внесением под эту культуру навоза, а с другой — с неблагоприятными погодными условиями и низкой урожайностью.

С повышением урожайности всех культур разностные и балансовые коэффициенты использования азота, фосфора и калия из вносимых удобрений заметно возрастали. Уменьшение доз фосфорных удобрений, как и предполагалось, приводило к увеличению разностных и балансовых коэффициентов использования фосфора.

Как отмечалось выше, разностные коэффициенты использования питательных элементов значительно ниже балансовых. Так, например, разностный коэффициент использования калия вико-овсяной смесью во 2-м варианте составляет всего 21%, и, казалось бы, для повышения этого коэффициента следовало бы снизить дозу калийных удобрений. Но если исходить из балансового коэффициента, то из удобрений и почвы в этом варианте в действительности было использовано 128% калия по отношению к его количеству, внесенному с удобрениями. Следовательно, для сохранения почвенного плодородия дозу калийных удобрений в этом варианте надо не уменьшить, и увеличить. Анализируя аналогичным образом разностные и балансовые коэффициенты использования удобрений в любом опыте, можно прийти к противоречивым выводам.

Различная оценка характера использования питательных веществ при различных методах расчета коэффициента объясняется тем [5—7], что при балансовом методе источники поступления питательных веществ в растения из удобрений и почвы объединяются в одном показателе «вынос». Такой подход избавляет от заведомых ошибок разностного метода, и полученный результат приближается к реальной оценке продуктивности использования питательных веществ каждой и всеми культурами севооборота и одновременно к правильной оценке способности данной системы удобрения обеспечить высокий урожай и при этом обогащать или обеднять почву питательными элементами. Известно, что значительное количество питательных элементов выносятся урожаями из почвы, и, если эту потерю не возмещать, рано или поздно произойдет истощение почвы и урожай резко снизится.

Именно поэтому Д. Н. Прянишников, исходя из опыта и практики применения удобрений в высокоразвитых странах Европы в 30-е годы, считал, что для получения урожая зерна порядка 20—25 ц/га и эквивалентных урожаев других культур баланс фосфора в севообороте должен быть всегда положительным (около 10 кг/га и более), а азота

Баланс и коэффициенты использования питательных элементов культурами в севообороте при разных системах удобрения

Вариант системы удобрения	Баланс						Коэффициенты использования удобрений, %					
	кг/га			% к выносу			разностные			балансовые		
	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	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	-66	-6	-64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	+93	+66	+86	+88	+228	+92	18	12	14	53	31	52
3	+87	+44	+81	+78	+138	+82	21	21	17	56	42	55
4	+83	+33	+83	+72	+103	+86	23	25	16	58	49	54
5	+81	+32	+79	+69	+97	+78	24	27	18	59	51	56

и калия даже отрицательным — соответственно до 14 и 22—24 кг/га.

Для получения 40—50 ц зерновых с 1 га и эквивалентных урожаев других культур количественные показатели баланса, естественно, должны быть другими. Основываясь на имеющихся экспериментальных данных о возможных коэффициентах использования питательных элементов из удобрений и основных задачах научно обоснованной системы удобрений в севообороте, можно заключить [3, 4], что в условиях Нечерноземной зоны на почвах со средним уровнем эффективного плодородия (III—IV класс) баланс питательных элементов должен количественно выражаться в процентах к выносу их урожаем в следующих величинах: по фосфору +80—40%, по азоту +10—20% и по калию от 0 до -10%. В наших опытах плановые балансы в процентах к выносу их урожаем в изучавшихся системах удобрения по фосфору колебались от +30 до 90%, а по азоту и калию во всех системах были постоянны и составляли соответственно +33 и +3%. В 1-й год ротации севооборота (табл. 6) разностные коэффициенты использования удобрений всеми культурами при различных системах в среднем по азоту составляли 18—24%, по фосфору — 12—27, калию — 14—18%, а балансовые — соответственно 53—59; 31—51 и 52—56%, т. е. уже в 1-й год ротации севооборота культуры в среднем использовали азот внесенных удобрений на 53—59%, фосфор — на 31—51, калий — на 52—56%. Полученные результаты были значительно ниже планируемых, что объясняется прежде всего 1-м годом освоения севооборота, а также сложившимися неблагоприятными погодными условиями вегетационного периода и относительно низкими урожаями культур севооборота. Баланс питательных элементов при всех испытывавшихся системах, кроме контрольной, был положительным и колебался по азоту в пределах 81—93 кг/га, фосфору — 32—66 и калию — 79—86 кг/га. Естественно, и выраженный в процентах к выносу баланс оказался значительно выше планируемого и составил по азоту +69—88%, фосфору — +97—228 и калию +78—92% (табл. 6). Следует подчеркнуть, что при уменьшении доз фосфорных удобрений не только значительно повышалось использование фосфора культурами, но при этом не снижалось и использование ими азота и калия.

Разные системы удобрения требуют различных затрат и по-разному влияют на эффективность производства сельскохозяйственной продукции. В связи с этим возникает необходимость не только агрономического, но и экономического обоснования изучаемых систем удобрения и выбора наиболее эффективной из них. В 1-й год ротации севооборота наибольший чистый доход в посевах вико-овсяной смеси на сено получен при внесении минимальных доз фосфорных удобрений — 65 р. 08 к. с 1 га, себестоимость 1 ц дополнительной продукции в этом варианте была наименьшей — 1 р. 88 к., рентабельность применения



удобрений составила 138,7%, а окупаемость каждого рубля дополнительных затрат на удобрения — 2 р. 39 к. Каждый килограмм питательных веществ удобрений дал почти 10 кг сена.

В посевах ячменя наибольший чистый доход от применения удобрений в 1976 г. с 1 га также был получен при внесении минимальной дозы фосфорных удобрений — 157 р. 32 к., в этом же варианте была наименьшей себестоимость 1 ц зерна — 5,91 руб. и наивысшей рентабельность удобрений — 274%. На каждый рубль дополнительных затрат получено 2,74 руб. чистого дохода и самая высокая окупаемость дополнительных затрат на удобрения — 3,74 руб. Каждый килограмм питательных веществ удобрений дал 3,23 кг зерна.

На 2-й год ротации севооборота в посевах вико-овсяной смеси наиболее рентабельным также оказалось применение минимальных доз (49%). Себестоимость 1 ц дополнительной продукции была низкой — 3,01 руб.; на каждый килограмм питательных веществ удобрений получено 5,8 кг вико-овсяного сена.

В посевах озимой ржи наилучшие экономические показатели тоже получены при внесении минимальных доз фосфорных удобрений: чистый доход от удобрений составил 77,5 руб., себестоимость 1 ц дополнительной продукции — 10,5 руб., рентабельность применения удобрений — 137%, а окупаемость каждого рубля затрат на удобрения — 2,37 руб.

В посевах ячменя наибольший чистый доход от удобрений в 1977 г. получен в варианте с максимальными дозами фосфорных удобрений — 93 руб. на 1 га, себестоимость 1 ц дополнительной продукции была самая низкая — 8,84 руб. Рентабельность применения удобрений при этой системе составила 150%, окупаемость каждого рубля затрат на удобрения — 2,5 руб., на каждый килограмм питательных веществ удобрений получено по 2,1 кг зерна.

### Заключение

Применение балансовых систем удобрения в четырехпольном севообороте за 2 года проведения опытов позволило получить запланированные урожаи вико-овсяного сена. Фактические урожаи остальных культур севооборота в результате неблагоприятных погодных условий 1976—1977 гг. оказались значительно ниже запланированных. Несмотря на относительно низкие урожаи, как правило, получены достоверные прибавки урожаев всех культур в вариантах со всеми изучавшимися системами удобрения.

Все испытывавшиеся системы удобрения оказали примерно одинаковое влияние на урожайность и качество культур севооборота, хотя некоторое преимущество имели системы с минимальными дозами фосфорных удобрений и локальным внесением основного удобрения. Несмотря на значительное уменьшение доз фосфорных удобрений при разбросном и локальном внесении основного удобрения, урожаи культур, как правило, не снижались. Это показывает, что использование фосфора из почв и удобрений может быть гораздо выше, чем традиционно считается.

Разностные коэффициенты использования питательных веществ из удобрений дают необъективные и заниженные для практики результаты. Балансовые коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений позволяют не только более объективно оценивать продуктивность использования культурами вносимых удобрений в севообороте, но и одновременно контролировать изменение эффективного плодородия почв при любой системе удобрения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические ресурсы Калининской области. Л., Гидрометеоздат, 1974. — 2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., «Колос», 1968. — 3. Жуков Ю. П. О методах определения доз удобрений. «Лен и конопля», 1973, № 12, с. 11—14. — 4. Жуков Ю. П. Определение доз и разработка системы удобрения в севооборотах. М., ТСХА, 1974.—5. Жуков Ю. П. Эффективность балансовых систем удобрения в полевом севообороте. Тез. докл. регионального совещания «Итоги работы Географич. сети опытов с удобрениями и пути повышения эффективного применения удобрений в Нечерноземной зоне» (Горький, 19—21 июля 1977 г.). М., 1977, с. 23—24. — 6. Жуков Ю. П., Глухов Н. И. Определение оптимальных доз и соотношений удобрений с учетом использования пита-

тельных элементов из удобрений и почвы. «Изв. ТСХА», 1977, вып. 4, с. 68—76. — 7. Лигум С. Г. Балансовый коэффициент использования растениями питательных веществ из удобрений и почвы и его применение. «Агрохимия», 1977, № 5, с. 128—133. — 8. Ломако Е. И., Дубровин В. А. Влияние азотных удобрений на урожай и качество картофеля. «Агрохимия», 1977, № 12, с. 8—12. — 9. Сирота Л. Б. О некоторых причинах большого поступления почвенного азота в растения при внесении минеральных удобрений (по данным вегетационных опытов с  $^{15}\text{N}$ ). Тез. докл. 4-го Всесоюз. делегат. съезда почвоведов. Кн. 2, ч. 2. Алма-Ата, 1970, с. 12—14. — 10. — Смирнов П. М. Превращение азотных удобрений в почве и их использование растениями. Автореф. докт. дис. М., 1970.

*Статья поступила 16 марта 1978 г.*

## SUMMARY

The paper contains the data of two-year experiments on the efficiency of the balance fertilization system with different balance coefficients of phosphorus utilization in four-plot crop rotation: mixture of vetch and oats — winter rye — potatoes — barley; the experiment was conducted on soddy-podzolic light loam of medium fertility (Kalinin region). All the fertilization systems tested produced about the same effect on the yielding capacity and quality of the crops in the rotation. Lower doses of phosphoric fertilizers, with broadcasting or local application of the main fertilizer, did not reduce the productivity of the rotation, the utilization of phosphorus by the crops increasing considerably. The advantage of balance coefficients of fertilizer utilization compared to differential coefficients in objective estimation of efficient utilization of fertilizers by crops and for controlling the variations in effective soil fertility is being proved.