

УДК 631.8:631.582

## ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ УДОБРЕНИЙ, РАССЧИТАННЫХ С ПОМОЩЬЮ БАЛАНСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ, И ПЕСТИЦИДОВ В СЕВООБОРОТЕ

Ю. П. ЖУКОВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Подводятся итоги применения расчетных норм удобрений в 4-польном севообороте (однолетние травы, озимая пшеница, картофель, ячмень) в сочетании с принятыми в производстве ретардантами и гербицидами под зерновые культуры на дерново-подзолистой среднесуглинистой хорошоокультуренной почве Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР в среднем за 12 лет.

Определение оптимальных норм и комбинаций удобрений для получения планируемой урожайности возделываемых культур с заданным качеством продукции при одновременном регулировании плодородия почв и охране окружающей среды — одна из важнейших задач агрономической науки и сельскохозяйственного производства. Для ее решения многие исследователи наряду с эмпирическим методом определения оптимальных норм удобрений широко испытывают и расчетный метод, среди множества модификаций которого, по нашему мнению [1—4], наиболее перспективно применение дифференцированных в зависимо-

сти от плодородия почв балансовых коэффициентов использования питательных элементов удобрений. В настоящем сообщении подводятся итоги 12-летних исследований возможности решения указанной задачи при комплексном применении удобрений и пестицидов в севообороте.

### Методика

Исследования проводили в течение 3 ротаций (1976—1987 гг.) 4-польного севооборота в стационарном полевом опыте, заложенном в 1975 г. в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области.

Севооборот развернут во времени и пространстве, чередование культур следующее: 1 — викоовсяная (1976—1979 и 1983—1985 гг.) или гороховая (1980—1982 и 1986—1987 гг.) смесь; 2 — озимая пшеница Мироновская 808 (1976—1987 гг.); 3 — картофель Лорх (1976—1979 гг.), Бирюза (1980—1987 гг.); 4 — ячмень Московский 121 (1976—1980 гг.), Надя (1981—1985 гг.), Заозерский 85 (1986—1987 гг.).

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая на покровном суглинке, подстилаемом мореной. Перед закладкой опыта пахотный горизонт характеризовался слабой кислотностью, высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия и соответствующими окультуренной почве другими агрохимическими показателями.

В схеме опыта предусмотрено 4 системы удобрения, рассчитанные на получение 2 (в 1-й и 2-й) и 3 (в 3-й ротации) планируемых уровней урожайности культур (табл. 1).

За основу расчета норм удобрений принимали хозяйственный вынос питательных элементов планируемыми урожаями при планируемом содержании элементов в основной и побочной продукции. С учетом планируемого изменения обеспеченности почвы питательными элементами хозяйственные их выносы с помощью плановых балансовых коэффициентов использования элементов из удобрений трансформировали в нормы соответствующих удобрений. По итогам каждой ротации севооборота уточняли все плановые параметры и модернизировали схему опыта (табл. 1), а также проводили известкование всего севооборотного участка. Известняковую муку ( $5 \text{ т/га CaCO}_3$ ), фосфорные (суперфосфат) и калийные

(хлористый калий) удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, азотные (аммиачная селитра) — под яровые культуры в 1-й и 2-й ротациях перед посевом, в 3-й — 50 % перед посевом и 50 % в подкормку (в фазу кущения злаков и при полных всходах картофеля); под озимые в 1-й ротации — 30 % до посева и 70 % в подкормку (в фазу весеннего отрастания), во 2-й — 30 % до посева и 2 подкормки (начало отрастания и цветение), в 3-й ротации — 20 % до посева и 3 подкормки (включая нулевую, рассчитанную на загущение посевов).

Для предотвращения полегания посевов и уничтожения сорняков в 1977 и 1979 гг. и ежегодно во 2-й ротации половину каждой деланки озимой пшеницы обрабатывали в фазу кущения аминной солью 2,4-Д в смеси с ССС, а в 3-й ротации — 2,4-Д или 2М-4ХП в смеси с ССС в фазу кущения и смесью кампозана М, ССС и байлетона или тилта в фазу появления флагового листа. Половину каждой деланки ячменя в 1977—1980 гг. в фазу кущения обрабатывали аминной солью 2,4-Д, с 1981 г. — смесью 2,4-Д с кампозаном М, а с 1986 г. — смесью 2М-4ХП с кампозаном М и в фазу флагового листа — тилтом. Половину каждой деланки картофеля в 3-й ротации севооборота в фазу полных всходов обрабатывали кампозаном М, а с 1986 г. в период вегетации еще дважды ридомилом в качестве профилактики против фитофтороза.

Дозы всех пестицидов и ретардантов, а также сроки и способы их применения полностью соответствовали существующим рекомендациям.

Повторность опыта 4-кратная, посевная площадь каждой деланки —  $168 \text{ м}^2$ , учетная — не менее  $48 \text{ м}^2$ . Урожай основной продукции всех

Таблица 1

Урожайность культур (ц/га) за 3 ротации севооборота при расчетных системах удобрения и сочетании их с пестицидами (в скобках)

Ротация севооборота	Оз. пшеница	Картофель	Ячмень	Однолетние травы
<b>1. Контроль (без удобрений)</b>				
1	<u>25,2(36,6)</u>	<u>185</u>	<u>26,1(24,0)</u>	<u>57,9</u>
2	<u>24,6(29,1)</u>	<u>150</u>	<u>19,5(20,7)</u>	<u>49,0</u>
3	<u>20,7(18,5)</u>	<u>177(174)</u>	<u>26,9(26,9)</u>	<u>57,0</u>
1—3	<u>23,5(28,1)</u>	<u>171</u>	<u>24,2(23,9)</u>	<u>54,6</u>
<b>2. 385N275P425K, 490N145P380K, 485N135P320K</b>				
1	<u>30</u> <u>27,5(41,1)</u>	<u>200</u> <u>223</u>	<u>30</u> <u>28,7(26,6)</u>	<u>50</u> <u>66,5</u>
2	<u>34</u> <u>32,2(39,2)</u>	<u>200</u> <u>210</u>	<u>34</u> <u>26,8(31,1)</u>	<u>58</u> <u>59,7</u>
3	<u>40</u> <u>26,0(38,6)</u>	<u>200</u> <u>220(221)</u>	<u>34</u> <u>35,0(39,1)</u>	<u>45</u> <u>68,2</u>
1—3	<u>35</u> <u>28,6(39,6)</u>	<u>200</u> <u>218</u>	<u>33</u> <u>30,2(32,3)</u>	<u>51</u> <u>64,8</u>
<b>3. 750N430P650K; 715N205P540K; 580N165P385K</b>				
1	<u>50</u> <u>24,1(42,7)</u>	<u>300</u> <u>224</u>	<u>50</u> <u>29,9(28,0)</u>	<u>70</u> <u>67,8</u>
2	<u>51</u> <u>32,2(45,7)</u>	<u>300</u> <u>232</u>	<u>46</u> <u>24,4(33,2)</u>	<u>81</u> <u>64,9</u>
3	<u>46</u> <u>28,9(41,3)</u>	<u>250</u> <u>220(224)</u>	<u>40</u> <u>35,5(41,7)</u>	<u>58</u> <u>72,6</u>
1—3	<u>49</u> <u>28,4(43,6)</u>	<u>283</u> <u>225</u>	<u>45</u> <u>29,9(34,3)</u>	<u>70</u> <u>68,4</u>
<b>4. 750N290P650K; 715N205P405K; 685N190P455K</b>				
1	<u>50</u> <u>27,7(39,9)</u>	<u>300</u> <u>230</u>	<u>50</u> <u>28,1(29,4)</u>	<u>70</u> <u>68,6</u>
2	<u>51</u> <u>30,9(47,7)</u>	<u>300</u> <u>223</u>	<u>46</u> <u>25,8(31,8)</u>	<u>81</u> <u>65,9</u>
3	<u>51</u> <u>28,2(42,2)</u>	<u>300</u> <u>233(236)</u>	<u>46</u> <u>36,8(42,2)</u>	<u>70</u> <u>73,0</u>
1—3	<u>51</u> <u>28,9(43,3)</u>	<u>300</u> <u>229</u>	<u>47</u> <u>30,2(34,5)</u>	<u>74</u> <u>69,2</u>

Ротация севооборота	Оз. пшеница	Картофель	Ячмень	Однолетние травы
<b>5. 595N290P650K; 715N170P405K; 685N160P455K</b>				
	50	300	50	70
1	24,1 (37,6)	229	28,1 (28,5)	66,4
	51	300	46	81
2	31,2 (45,9)	234	26,1 (32,6)	66,0
	51	300	46	70
3	27,2 (42,2)	226 (226)	36,8 (42,2)	73,5
	51	300	47	74
1—3	27,5 (41,9)	230	30,3 (34,4)	68,6

Пр и м е ч а н и я. 1. В вариантах 2—5 норма удобрений дана в сумме соответственно за 1, 2 и 3-ю ротации.

2. Здесь и в последующих таблицах числитель — планируемый уровень урожайности культуры, знаменатель — фактический.

культур учитывали сплошным методом, соотношение основной и побочной продукции устанавливали по пробному снопу, а картофеля — по 20 индивидуальным кустам на делянке.

Содержание питательных элементов в растениях, качество товарной продукции и агрохимические показатели почв определяли по общепринятым методам.

Погодные условия в годы исследований значительно различались. Особенно неблагоприятными они были для озимой пшеницы в 1976, 1978 и 1984 гг., и если в 1976 и 1984 гг. в контроле и в вариантах с удобрениями урожайность колебалась от 10 до 12—16 ц/га, то в 1978 г. из-за плохой перезимовки озимую пшеницу пришлось пересеять ячменем; наилучшие условия наблюдались в 1977, 1981 и 1987 гг. (соответственно 38—40, 30—50 и 28—45 ц/га).

Для картофеля весьма неблагоприятными оказались погодные условия в 1976 (50—70 ц/га), 1980 (70—110 ц/га) и 1984 гг. (85—

100 ц/га), а наилучшими — в 1977 (250—306 ц/га), 1981 (203—407 ц/га) и 1986 гг. (233—317 ц/га); для ячменя — соответственно в 1979 (12—14 ц/га) и 1980 гг. (14—16 ц/га), в 1977 (39—45 ц/га) и 1987 гг. (34—53 ц/га).

Минимальные урожаи сена однолетних трав в контрольных вариантах наблюдались в 1978 (43 ц/га), 1981 (35,0 ц/га) и 1983 гг. (43 ц/га), а максимальные — в 1976 (77 ц/га) и 1984 гг. (64 ц/га); в вариантах с удобрениями минимальные урожаи (42—44 ц/га) получены в 1983 г., а максимальные (84—93 ц/га) — в 1976 г.

### Результаты

За 1-ю ротацию севооборота урожайность озимой пшеницы (табл. 1) под влиянием минимальной нормы удобрений (90N70P75K) возросла на 2,3 ц/га, а при использовании ССС и 2,4-Д — на 4,5 ц/га, т. е. в последнем случае оплата единицы удобрений прибавками зерна увели-

чилась почти в 2 раза. Дальнейшее увеличение норм удобрений до 150N80P125K (вариант 5) и 190N120P150K (вариант 3) без ССС и 2,4-Д привело к снижению урожайности, а на фоне пестицидов преимущества перед минимальной нормой не наблюдалось.

Урожайность картофеля за 1-ю ротацию севооборота возросла на 21 % уже под влиянием минимальной нормы удобрений (120N70P150K), дальнейшее повышение нормы удобрений (варианты 3 и 5) не имело преимуществ перед минимальной.

Урожайность ячменя и однолетних трав за 1-ю ротацию севооборота (табл. 1) наиболее значительно увеличивалась также под влиянием минимальных норм удобрений (75N55P75K и 100N80P125K), а большие нормы удобрений не способствовали повышению урожая. Под влиянием 2,4-Д урожайность ячменя снижалась (варианты 1—3) или не изменялась (варианты 4 и 5).

Во 2-ю ротацию севооборота (1980—1983 гг.) эффективность удобрений при их внесении под все культуры заметно возросла, что особенно четко проявилось на фоне снижения урожайности в контроле (табл. 1). Максимальная урожайность озимой пшеницы в вариантах без пестицидов наблюдалась при внесении 130N35P60K, а на фоне пестицидов — при нормах, рассчитанных на 2-й уровень продуктивности (200N40—50P65—90K), причем изменение соотношений между элементами не влияло на урожайность, а эффективность пестицидов возрастала при увеличении нормы удобрений.

Максимальный урожай клубней картофеля во 2-й ротации севооборота (табл. 1) получен при наи-

высших нормах удобрений (190N40—45P150—200K), а максимальная оплата удобрений прибавками урожая (21 кг/кг) — при минимальной (125N30P135K).

Максимальная прибавка в результате применения удобрений без пестицидов в посевах ячменя (табл. 1) отмечена во 2-ю ротацию севооборота при минимальной норме удобрений (110N40P90K), а на фоне 2,4-Д и кампозана М — при максимальной (150N55P120K), причем в этом варианте (3) наблюдалась и максимальная прибавка от совместного применения гербицида и ретарданта.

Максимальная урожайность однолетних трав во 2-й ротации севооборота (табл. 1) также наблюдалась при наивысших нормах удобрений (175N45—55P100—130K), а наибольшая оплата удобрений прибавками сена (31 кг/кг) — при минимальной (125N40P95K).

В 3-й ротации севооборота применение пестицидов в посевах пшеницы было эффективным только в вариантах с удобрениями (табл. 1), причем при увеличении нормы последних роль пестицидов возрастала. Максимальные прибавки урожая при внесении удобрений без пестицидов и в сочетании с ними получены в вариантах 3—5, однако максимальная оплата удобрений прибавками урожая была на фоне пестицидов в варианте 2 (155N40P70K — 7,6 кг/кг) и варианте 3 (180N45P80K — 7,5 кг/кг).

Урожайность картофеля в 3-й ротации севооборота под влиянием удобрений во всех вариантах значительно (практически одинаково) возросла, но максимальная оплата удобрений прибавкой урожая (15 кг/га) получена в варианте 2 (125N30P135K). Применение кампозана М и в сочетаниях с ридомилом (1986 и 1987 гг.) в течение

3-й ротации севооборота не влияло на урожайность картофеля во всех вариантах опыта (табл. 1).

Значительное увеличение урожайности ячменя во всех вариантах в 3-й ротации севооборота обусловлено не только лучшими погодными условиями и сортосмесной культурой, но и внесением удобрений, причем минимальная их норма (105N35P50K) обеспечила максимальную оплату их прибавкой урожая (4,3 кг/кг), которая возросла до 6,4 кг/кг на фоне применения кампозана М с гербицидами. При дальнейшем увеличении норм удобрений в вариантах с пестицидами и без них урожайность ячменя повышалась незначительно.

Урожайность однолетних трав в 3-й ротации севооборота (табл. 1) существенно и примерно на равную величину возросла при всех изучавшихся нормах удобрений, а максимальная оплата удобрений прибавками урожая сена (6,5 кг/кг) наблюдалась в варианте 3 (125N40P80K).

В среднем за 12 лет под влиянием расчетных норм удобрений урожайность озимой пшеницы увеличилась на 5 ц/га, а в вариантах с комплексным использованием удобрений и принятых в производстве ретардантов и гербицидов — на 16—20 ц/га, при этом получено 40—44 ц/га с оплатой 1 кг удобрений 6,9—5,6 кг зерна. Средняя урожайность картофеля за этот период под влиянием удобрений возросла на 47—59 ц/га и составила 218—230 ц/га с оплатой 1 кг удобрений 16—14 кг клубней, причем использование кампозана М не оказало влияния на урожайность. Средняя урожайность ячменя за тот же период в результате применения удобрений увеличилась на 6 ц/га, а при сочетании их с 2,4-Д и кампозаном М — на 8—10 ц/га и составила

Таблица 2  
Продуктивность севооборота (ц корм. ед. на 1 га) в 1976—1987 гг. при расчетных системах удобрения и сочетании их с пестицидами (в скобках)

Вариант	Ротация севооборота			В среднем
	1	2	3	
1	— 42(42)	— 36(38)	— 39(38)	— 38(39)
2	43 49(51)	53 49(55)	52 50(56)	49 49(54)
3	68 50(52)	76 51(59)	62 52(58)	69 51(66)
4	68 50(53)	76 50(61)	73 54(60)	72 51(58)
5	68 50(52)	76 52(59)	73 52(59)	72 51(57)

32—34 ц/га с оплатой 1 кг удобрений 3,9—4,1 кг зерна, а однолетних трав под действием удобрений — соответственно на 10—14 ц/га и 65—69 ц/га (табл. 1) с оплатой 1 кг удобрений 4,1—4,2 кг сена.

Так как погодные условия неодинаково влияли на продуктивность отдельных культур севооборота и были различные в разные ротации, представляло интерес рассчитать продуктивность севооборота в отдельные ротации. Результаты расчетов (табл. 2) показали, что в 1-ю ротацию севооборота удобрения повысили продуктивность севооборота на 7—8 ц корм. ед. с 1 га, а при сочетании их с пестицидами — на 9—11 ц, обеспечив превышение 1-го планируемого уровня на 18 % и выполнение 2-го — на 76—78 %.

Во 2-й ротации продуктивность севооборота без удобрений снизилась, а при их внесении сохранилась на прежнем уровне, причем прибавка урожая возросла до 13—16 ц/га. При комплексном применении удобрений с пестицидами продуктивность севооборота по сравне-

нию с предыдущей ротацией увеличилась на 4—8, а по сравнению с контролем — на 19—25 ц/га, при этом 1-й планируемый уровень был на 5 % выше, а 2-й выполнен на 78—80 %.

В 3-й ротации продуктивность севооборота во всех вариантах почти не изменилась по сравнению со 2-й и при комплексном применении удобрений с пестицидами на 8 % превысила 1-й планируемый уровень и достигла 93 % 2-го и 81—82 % 3-го.

В среднем за 12 лет (табл. 2) при внесении удобрений продуктивность севооборота удалось повысить на 11—13 ц/га, а при сочетании их с пестицидами — на 16—20 ц/га и получить 54—58 ц корм. ед. с 1 га, что на 10 % выше 1-го планируемого уровня и составило 81 % 2-го и 79—80 % 3-го.

Качество основной продукции оценивали по содержанию сырого белка в зерне, сене и крахмала в клубнях картофеля. Под влиянием удобрений содержание белка в зерне озимой пшеницы в 1-й ротации увеличилось на 0,9—2,2 %, во 2-й — на 3,2—4,5, в 3-й — на 3,0—4,2 %, а при использовании ретардантов с гербицидами оно не изменилось или снизилось на 0,9—1,6 %, но и в последнем случае было не ниже 13—15 %, т. е. на 2,0—3,0 % выше, чем в контроле.

Под влиянием удобрений содержание белка в зерне ячменя в 1-й ротации возросло на 0,9—2,0 % и достигло 13,5—14,5 %, во 2-й — соответственно на 1,7—2,0 и 14,2—14,5 и в 3-й — на 1,5—3,2 и 10,6—12,4 %, тогда как при использовании 2,4-Д в 1-й и 2-й ротациях не изменилось или возросло на 0,6—1,2 %, под влиянием кампозана М с гербицидом в 3-й ротации также не изменилось.

Содержание сырого белка в сене

трав в результате внесения удобрений в среднем за 3 ротации севооборота увеличилось на 0,9—2,6 %, причем при более высоких нормах более значительно.

Количество крахмала в клубнях картофеля под действием удобрений в среднем за 3 ротации севооборота снизилось на 1—2 % или не изменилось, применение кампозана М также практически не привело к изменению этого показателя в 3-й ротации.

Удобрения оказывали большее влияние на содержание в растениях азота и калия и гораздо меньшее — на содержание в них фосфора. При возрастающих нормах удобрений содержание азота в зерне озимой пшеницы увеличилось на 0,5—0,8 %, в зерне ячменя — на 0,26—0,55, в клубнях картофеля — на 0,4—0,9, в сене однолетних трав — на 0,1—0,5 %, причем наиболее значительно (на 0,3—0,6 %) в злаковом компоненте.

Содержание фосфора и калия в зерне озимой пшеницы и ячменя в вариантах с удобрениями почти не изменилось, но в клубнях картофеля и в сене количество фосфора несколько возросло или не изменилось, а калия — увеличилось соответственно на 0,3—0,6 и 0,7—1,0 %, причем наиболее значительно (на 0,8—1,1 %) в бобовом компоненте сена.

Содержание азота и калия в соломе зерновых культур и ботве картофеля под влиянием удобрений повысилось соответственно на 0,1—0,5 и 0,1—0,6 %, количество фосфора в соломе зерновых практически не изменилось, а в ботве картофеля возрастало на 0,1—0,2 %.

При использовании ретардантов и гербицидов в посевах зерновых культур, если оно вызывало повышение урожайности, содержание питательных элементов в зерне или не

Таблица 3

Балансовые коэффициенты использования удобрений в севообороте за 1976—1987 гг. при расчетных системах удобрения и сочетании их с пестицидами (в скобках)

Вариант	Ротация севооборота			В среднем
	1	2	3	
<b>По азоту</b>				
	100	80	80	87
2	$\frac{111(116)}{80}$	$\frac{96(99)}{80}$	$\frac{85(97)}{80}$	$\frac{97(104)}{80}$
3	$\frac{66(68)}{80}$	$\frac{73(85)}{80}$	$\frac{79(88)}{80}$	$\frac{73(81)}{80}$
4	$\frac{66(70)}{100}$	$\frac{80(93)}{80}$	$\frac{70(78)}{80}$	$\frac{72(80)}{87}$
5	$\frac{83(85)}{81(91)}$	$\frac{81(91)}{68(76)}$	$\frac{68(76)}{77(84)}$	$\frac{77(84)}{77(84)}$
<b>По фосфору</b>				
	60	100	100	87
2	$\frac{54(57)}{60}$	$\frac{129(145)}{100}$	$\frac{121(132)}{100}$	$\frac{101(111)}{87}$
3	$\frac{36(37)}{90}$	$\frac{97(114)}{100}$	$\frac{104(113)}{100}$	$\frac{79(88)}{97}$
4	$\frac{52(57)}{90}$	$\frac{98(113)}{120}$	$\frac{92(102)}{120}$	$\frac{81(91)}{110}$
5	$\frac{54(53)}{121(132)}$	$\frac{121(132)}{107(118)}$	$\frac{107(118)}{94(101)}$	$\frac{94(101)}{94(101)}$
<b>По калию</b>				
	100	150	150	133
2	$\frac{152(149)}{100}$	$\frac{120(124)}{150}$	$\frac{155(180)}{150}$	$\frac{142(151)}{133}$
3	$\frac{111(106)}{100}$	$\frac{93(117)}{200}$	$\frac{147(165)}{150}$	$\frac{117(126)}{150}$
4	$\frac{110(111)}{100}$	$\frac{123(154)}{200}$	$\frac{132(147)}{150}$	$\frac{122(137)}{150}$
5	$\frac{110(104)}{123(146)}$	$\frac{123(146)}{130(144)}$	$\frac{130(144)}{121(131)}$	$\frac{121(131)}{121(131)}$

изменялось, или несколько снижалось, одновременно возрастало их содержание в соломе; если урожайность не изменялась или уменьшалась, то содержание питательных элементов в основной и побочной продукциях, как правило, незначительно повышалось.

Критерием обоснованности си-

стем удобрения, наряду с получением планируемой урожайности культур при хорошем качестве продукции, является баланс питательных элементов, характеристикой которого служат балансовые коэффициенты использования азота, фосфора и калия удобрений культурами севооборота.



Балансовые коэффициенты использования питательных элементов удобрений под влиянием пестицидов, как правило, возрастали и отличались от плановых (табл. 3). За одну ротацию в варианте 2 при сочетании удобрений с пестицидами, где продуктивность севооборота на 18 % превысила планируемый уровень, потребление азота и калия было соответственно на 16 и 49 % выше планируемого, тогда как потребление фосфора составило 95 % планируемого, следовательно, затраты азота на единицу продукции у культур севооборота практически соответствовали планируемому, затраты фосфора оказались примерно на 20—25 % ниже, а калия — на 25—30 % выше. В вариантах 3—5 с пестицидами сохранилась такая же закономерность: потребление азота — 85—87 % к планируемому, фосфора — 60—63, калия — 104—111 % при достижении 76—78 % планируемой продуктивности севооборота, т. е. возможность получения 2-го планируемого уровня продуктивности севооборота ограничивалась не недостатком удобрений в вариантах 3—5, а другими факторами.

Во 2-й ротации по сравнению с 1-й потребление растениями азота и особенно фосфора заметно возросло, а калия — снизилось. В варианте 2 с пестицидами потребление азота и фосфора было соответственно на 23 и 45 % выше планируемого уровня, а калия — на 17 % ниже, тогда как продуктивность севооборота — всего на 5 % выше планируемой. В вариантах 3—5 с пестицидами достигнуто 78—80 % планируемой продуктивности севооборота, потребление культурами азота в этих вариантах превысило планируемый уровень на 6—16 %, фосфора — на 13—32, а калия было на 22—28 % ниже.

Следовательно, и во 2-ю ротацию возможность получения 2-го планируемого уровня продуктивности севооборота ограничивалась не удобрениями, а другими факторами.

В 3-й ротации потребление всех питательных элементов растениями несколько превышало планируемый уровень. В варианте 2 с пестицидами, где продуктивность севооборота была на 8 % выше планируемой, потребление азота возросло на 21 %, фосфора — на 32, калия — на 20 %; в варианте 3, где достигнуто 93 % 2-го планируемого уровня продуктивности, потребление азота увеличилось на 10 %, фосфора — на 13, калия — на 10 %; в вариантах 4—5, где продуктивность севооборота составила 81—82 % планируемого уровня, потребление азота достигло 95—98 %, фосфора — 98—102, калия — 96—98 % планируемого уровня. Следовательно, и в 3-й ротации возможность получения 2-го и 3-го уровней продуктивности культур севооборота не ограничивалась удобрениями.

В среднем за 12 лет (табл. 3) применение удобрений, нормы которых были рассчитаны с помощью плановых балансовых коэффициентов, в сочетании с принятыми в практике ретардантами и пестицидами при получении близких к планируемому уровню продуктивности севооборота позволило достичь близких к планируемым уровней потребления питательных элементов удобрений. Так, при достижении в варианте 2 с пестицидами 110 % планируемой продуктивности севооборота потребление растениями азота составило 119 %, фосфора — 132, калия — 113 %. При достижении в варианте 3 с пестицидами 81 % плановой продуктивности потребление азота и фосфора равнялось 101 % и калия 95 %. При достижении в вариантах 4—5 с пести-

цидами 79—80 % планируемой продуктивности севооборота потребленные культурами азота составило 96—100 %, фосфора 92—93, калия — 87—91 %.

Преимущество балансовых коэффициентов [2—4] заключается еще и в том, что они позволяют прогнозировать возможное изменение обеспеченности почвы питательными элементами, так как, если эти величины меньше или больше 100 %, баланс соответственно положительный или отрицательный количественно настолько, насколько конкретная величина отличается от 100. Если с таких позиций сопоставить данные табл. 3, то можно предположить, что после 1-й ротации севооборота обеспеченность почвы фосфором возрастет, причем в варианте 3 наиболее значительно, так как 64 % внесенного с удобрениями фосфора осталось в почве. Содержание калия должно снизиться, особенно в варианте 2, поскольку 33 % потребности культур в этом элементе удовлетворялось за счет почвенных запасов. Выказывать подобные предположения о возможном изменении обеспеченности почвы азотом гораздо сложнее, так как этот элемент очень подвижен благодаря процессам нитрификации, денитрификации и миграции нитратов с водой, что в зоне достаточного увлажнения может привести к безвозвратным потерям.

После 2-й ротации, судя по балансовым коэффициентам использования удобрений, можно ожидать снижения обеспеченности почвы фосфором (особенно в вариантах 2 и 5) и калием (прежде всего в вариантах 4 и 5) при комплексном применении удобрений и пестицидов, правда, при этом нужно учитывать общее количество элементов, внесенное за ротацию в виде удобрений.

После 3-й ротации наиболее значительного снижения обеспеченности почвы фосфором следует ожидать в вариантах 2 и 5, количество калия с учетом норм вносимых удобрений должно быть примерно равным во всех вариантах с удобрениями и пестицидами.

Насколько прогноз соответствует действительности, можно судить по результатам анализов почвы после каждой ротации севооборота (табл. 4). Так как перед каждой ротацией проводилось поддерживающее известкование участка, определяли не только содержание подвижных форм питательных элементов, но и другие агрохимические показатели почв. В конце 1-й ротации обменная и гидролитическая кислотность и содержание гумуса в пахотном горизонте по сравнению с исходной почвой имели тенденцию к снижению, а сумма поглощенных оснований — к повышению. Содержание подвижного фосфора возросло во всех вариантах с удобрениями и особенно в варианте 3, т. е. прогноз полностью оправдался, причем для повышения обеспеченности растений этим элементом в расчете на 1 мг в 100 г почвы требовалось от 20 (варианты 4 и 5) до 34—41 кг фосфора удобрений на 1 га (варианты 2 и 3) сверх выноса его культурами. Содержание обменного калия снизилось только в варианте без удобрений, в варианте 2 оно не изменилось, тогда как по прогнозу должно было наиболее значительно снизиться, а в других — возросло, хотя должно было бы снизиться примерно на одинаково меньшую величину, чем в варианте 2. Это свидетельствует о том, что при внесении удобрений возрастает мобилизация почвенных запасов элементов за счет перехода из недоступных в доступные для потреб-

Таблица 4

Агрохимические показатели пахотного горизонта (0—20 см)  
почвы при расчетных системах удобрения и сочетании их с пестицидами  
(в скобках)

Вариант	рН <sub>сол</sub>	Н <sub>с</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %
		мг-экв/100 г		мг/100 г		
Перед закладкой опыта (1975 г.)						
—	6,0	1,2	17,4	15	19	1,68
Конец 1-й ротации (1979 г.)						
1	6,1	0,8	18,5	14	13	»
2	6,3	0,8	18,5	18	19	»
3	6,3	0,8	18,5	23	21	»
4	6,1	1,0	20,4	22	24	»
5	6,1	1,1	18,5	22	22	»
Конец 2-й ротации (1983 г.)						
1	6,1(5,8)	1,8(1,5)	14,5(14,5)	15(13)	15(13)	1,49(1,45)
2	6,1(5,8)	»	»	26(19)	22(20)	»
3	5,6(5,8)	»	»	24(21)	27(24)	»
4	5,6(5,8)	»	»	20(20)	24(20)	»
5	5,6(5,8)	»	»	23(19)	24(24)	»
Конец 3-й ротации (1987 г.)						
1	5,6(5,6)	2,3(2,1)	11,0(11,5)	14(14)	14(13)	1,45(1,43)
2	»	»	»	19(16)	20(18)	»
3	»	»	»	19(18)	20(22)	»
4	»	»	»	19(19)	20(18)	»
5	»	»	»	19(17)	20(20)	»

ления растениями формы. В горизонте 20—40 см под влиянием известкования существенно снизилась обменная (рН с 4,3 до 5,2—5,4) и гидролитическая (с 4,8 до 1,8—2,8 мэкв/100 г) кислотность и возросло содержание гумуса (с 0,71 до 0,89—0,99 %) во всех вариантах, а в вариантах 3—5 заметно увеличилось содержание подвижного фосфора (с 4,9 до 6,5—6,9 мг/100 г) и наметилась тенденция к повышению количества обменного калия (с 8,7 до 9,5—10,6 мг/100 г). В горизонте 40—60 см во всех вариантах и особенно без удобрений наиболее резко снизилась гидролитическая (с 6,6 до 2,7—4,7 мэкв/100 г) и слабее обменная (рН с 4,0 до 4,1—

4,4) кислотность, сильно уменьшилось (с 7,1 до 3,1—4,0 мг/100 г) содержание подвижного фосфора и наметилась тенденция к снижению содержания обменного калия (с 9,5 до 8,1—8,8 мг/100 г). Следовательно, растения как бы перекачивали питательные элементы из горизонта 40—60 см в пахотный и подпахотный горизонты, что также способствовало обогащению последних подвижными формами элементов.

В конце 2-й ротации севооборота (табл. 4) в пахотном горизонте всех вариантов возросла обменная и гидролитическая кислотность, уменьшилась сумма поглощенных оснований и продолжало

несколько снижаться содержание гумуса. Содержание подвижных форм фосфора и калия в большинстве случаев изменялось в соответствии с балансовыми коэффициентами использования этих элементов из удобрений (табл. 3). Как правило, меньшим коэффициентом использования удобрений соответствовало большее содержание в почве их подвижных форм.

Следует подчеркнуть, что затраты фосфора удобрений на увеличение обеспеченности им почвы в расчете на 1 мг в 100 г в пахотном и подпахотном горизонтах (0—40 см) колебались в среднем за 2 ротации севооборота от 28 до 68 кг/га, внесенных сверх выноса его культурами. Даже при отрицательном балансе фосфора и калия в вариантах с удобрениями содержание подвижных форм этих элементов в пахотном горизонте почвы не снизилось, причем в отдельных случаях наблюдалась тенденция к повышению содержания обменного калия.

В конце 3-й ротации севооборота (табл. 4) в пахотном горизонте почвы всех вариантов возросла обменная и гидролитическая кислотность и снизилась сумма поглощенных оснований, содержание гумуса практически не изменилось. Содержание подвижных форм фосфора в вариантах 2, 3 и 5 и обменного калия во всех вариантах с удобрениями в соответствии с балансовыми коэффициентами использования удобрений (табл. 3) достоверно уменьшилось. В варианте без удобрений, несмотря на потребление культурами за ротацию 123 кг фосфора и 271 кг калия на 1 га, содержание подвижного фосфора и обменного калия практически не изменилось. В вариантах с применением удобрений в сочетании с ретардантами и пестицидами для снижения обеспеченности ими пахотного горизонта почвы в расчете на

1 мг в 100 г за 3-ю ротацию культуры потребляли фосфора и калия соответственно на 15—63 и 200—516 кг/га больше, чем вносилось с удобрениями.

### Заключение

Применение расчетных норм удобрений в 4-польном севообороте (однолетние травы, озимая пшеница, картофель, ячмень) в сочетании с принятыми в производстве ретардантами и гербицидами под зерновые культуры на дерново-подзолистой среднесуглинистой хорошоокультуренной почве Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР в среднем за 12 лет при насыщенности удобрениями 253 кг д. в. на 1 га (113N46P94K) позволяло ежегодно получать урожай озимой пшеницы 40 ц/га, картофеля — 218, ячменя — 32, сена однолетних трав — 65 ц/га при продуктивности севооборота 54 ц корм. ед. на 1 га; при насыщенности удобрениями 368—344 кг д. в. на 1 га (170N67P131K; 179N57P126K; 166N52P126K) — соответственно 44—42, 225—230, 34—34 и 68—70 ц/га при продуктивности севооборота 56—58 ц/га. Качество продукции при этом не изменилось.

Фактические балансовые коэффициенты использования азота удобрений за 12 лет исследований в вариантах с совместным применением последних с ретардантами и пестицидами при насыщенности удобрениями 253 кг д. в. на 1 га оказались равными 104 %, фосфора — 111, калия — 151 %; при насыщенности 368—344 кг д. в. на 1 га — соответственно 80—84, 88—101 и 126—137 %.

Применение в течение 12 лет норм удобрений, рассчитанных с помощью балансовых коэффициентов использования элементов питания,

в сочетании с принятыми в производстве пестицидами не только обеспечивало получение указанных выше урожаев сельскохозяйственных культур при повышенном по сравнению с контролем содержании в зерновой продукции сырого белка и некотором снижении крахмалистости клубней, но и позволило поддерживать на исходном или повышенном уровне обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия.

севооборотах.— М.: ТСХА, 1974.— 2. Жуков Ю. П. Система удобрения в хозяйствах Нечерноземья. М.: Моск. рабочий, 1983.— 3. Жуков Ю. П. Результаты применения системы удобрений, рассчитанной с помощью балансовых коэффициентов, за две ротации севооборотов.— Изв. ТСХА, 1986, вып. 5, с. 47.— 4. Жуков Ю. П. Комплексная химизация в интенсивных технологиях возделывания культур в Нечерноземье.— М.: Изд-во МСХА, 1989.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Ю. П. Определение доз и разработка системы удобрения в

*Статья поступила 10 декабря  
1990 г.*

### SUMMARY

The results of applying calculated rates of fertilizers in 4-course rotations (annual grasses, winter wheat, potatoes, barley) in combination with adopted retardants and herbicides under grain crops on cultivated soddy-podzolic medium loams in Central region of Nonchernozem zone of Russian Federation are summarized for the period of about 12 years.