

УДК 631.8:631.582

БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ СЕВОБОРОТАХ И ПРИ БЕССМЕННОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОФУРАЖНЫХ КУЛЬТУР

В. Г. ЛОШАКОВ, С. Ф. ИВАНОВА

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Приводятся данные о влиянии различных чередований зернофуражных культур, бесменного возделывания овса и ячменя при использовании поживного зеленого удобрения как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой на баланс азота, фосфора и калия на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах средней степени окультуренности в условиях Московской области. Установлено, что в специализированных зерновых шестипольных севооборотах (83 % зерновых культур) внесение минеральных удобрений в расчете на запланированный урожай (40—50 ц/га зерна) с поживной сидерацией обеспечивает устойчивый положительный баланс основных питательных веществ, тогда как в плодосменном севообороте (50 % зерновых культур) без поживного сидерата на том же фоне минеральных удобрений был отрицательный баланс калия.

При разработке рациональной системы удобрения в севообороте необходимы данные о выносе с урожаем культур и балансе основных элементов питания. Еще Прянишников [14] указывал, что система удобрения должна не только обеспечивать урожаи, но и систематически повышать плодородие почвы.

Балансу питательных веществ в земледелии уделяется значительное внимание как в специальных работах, так и в статьях и монографиях, охватывающих более широкий круг вопросов [1, 3, 4, 8, 12, 13, 16, 20—23].

В данной работе приводится анализ баланса азота, фосфора и калия в системе почва — растение в специализированных севооборотах и при бесменном возделывании ячменя и овса на разных фонах удобрения.

Методика

С 1982 по 1987 г. в опытном хозяйстве «Михайловское» мы изучали балансы элементов питания в специализированных севооборотах и при бесменном возделывании зернофуражных культур. Опыт проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой среднеокультуренной почве: рН_{сол} в слое 0—20 см — 5,7, в слое 20—40 см — 4,6; гидролитическая кислотность — соответственно 2,09 и 3,62 мэкв, сумма поглощенных оснований — 16,1 и 14,3 мэкв, содержание P₂O₅ (по Кирсанову) — 13,1 и 5,8 мг, K₂O (по Масловой) — 16,4 и 11,8 мг на 100 г, гумуса — 1,62 и 0,77 % в год закладки опыта. Изучали 5 вариантов специализированных севооборотов различной насыщенности зерновыми культурами: I (50 % зерновых) — многолетние травы 1-го года пользования (г. п.) — многолетние травы 2-го г. п. — озимая пшеница — кукуруза — овес — ячмень с подсевом трав; II (67 % зерновых) — клевер — озимая пшеница — овес — викоовсяная смесь на зеленый корм — озимая рожь — ячмень с подсевом

клевера; III (83 % зерновых) — викоовсяная смесь на зеленый корм — озимая пшеница — овес — ячмень — озимая рожь — ячмень; IV (83 % зерновых+поживная горчица на зеленое удобрение, в таблицах Гпс) — викоовсяная смесь на зеленый корм — озимая пшеница + поживный сидерат — овес — ячмень — озимая рожь + поживный сидерат — ячмень+поживный сидерат; V (83 % зерновых+горчица+солома на удобрение — Гпс+с) — викоовсяная смесь на зеленый корм — озимая пшеница+поживный сидерат+солома—овес—ячмень — озимая рожь+поживный сидерат+солома — ячмень+поживный сидерат+солома.

Варианты бессменных посевов ячменя и овса следующие: 1 — без удобрений; 2 — NPK; 3 — NPK+поживный сидерат; 4 — NPK + поживный сидерат+солома.

Севообороты были развернуты рендомизированно в системе блоков. Размер делянок — 80 м² (16 мX5 м), повторность опыта — 4-кратная, размещение блоков — 4-

ярусное. Нормы удобрений рассчитывали с учетом почвенного плодородия на полученные урожаи: озимой пшеницы — 50 ц/га (200N160P120K), озимой ржи — 40 (120N160P120K), ячменя — 40 и овса 40 ц/га (96N120P104K), зеленой массы кукурузы — 500 (250N180P250K), сена многолетних трав — 50 (74N70P56K); сена вико-овсяной смеси — 50 ц/га (90N120P90K). Минеральный азот под озимые вносили дробно в 3 срока: 25% — при посеве, 50% — весной в подкормку и 25% — в фазу колошения; под остальные культуры — весной при посеве и в подкормку многолетних трав.

Агротехника культур была общепринятой для хозяйств Московской области.

Пожнивную горчицу белую на зеленое удобрение высевали сразу же после уборки зерновых культур из расчета 40 кг всхожих семян на 1 га. Перед посевом горчицы вносили в расчете на 1 га 50 кг д. в. азота из того количества, которое предназначалось под урожай последующей культуры. Измельченную солому запахивали в количестве, равном фактическому ее сбору. Предпосевная обработка почвы под пожнивный посев состояла из лущения стерни дисковыми лущильниками на 8—12 см с последующей 2-кратной обработкой комбинированным агрегатом КВК-3.

Учет урожая зерна, зеленой массы основных культур проводили сплошным методом, соломы и зеленой массы пожнивного сидерата — методом пробных снопов на метр-ровках, растительных остатков — рамочным методом после уборки урожая по методике Н. З. Станкова [18]. Данные об урожайности основных культур обрабатывали дисперсионным методом.

В основу изучения баланса элементов питания был положен метод сопоставления приходных и расходных его статей в системе почва — растение [6, 7]. Для этого определяли: сбор сухого вещества (по культурам) и вынос с ними N, P и K, количество растительных остатков и содержание в них N, P и K, количество N, P и K, вносимых в почву с удобрениями, семенами и осадками, изменение содержания N, P и K в почве в течение ротации. Учитывали их потери от вымывания, газообразные потери азота из удобрений, а также фиксацию его бобовыми растениями из воздуха.

Содержание азота в растительных образцах (основной и побочной продукции) после их мокрого озоления по методу Гинзбург, Щегловой, Вульфус [2] определяли по Кьельдалю, фосфора — колориметрически, калия — на пламенном фотометре.

Результаты

По данным о фактических урожаях и выносах основных питательных веществ растениями нами была сделана балансовая оценка севооборотов и бессменных посевов ячменя и овса. Урожайность культур в значительной мере зависела от погодных условий, которые были благоприятными лишь в 1984 и 1987 гг. Однако независимо от условий погоды четко прослеживалась различная реакция растений на увеличение в севообороте доли зерновых культур, на предшественники и удобрение.

Из-за неблагоприятных погодных условий в отдельные годы прибавка урожая ячменя не всегда была достаточно высокой, но во все годы исследований отмечена тенденция к ее повышению в вариантах с сидератом (табл. 1). Эффект от зеленых удобрений был различным и зависел от количества запаханной зеленой массы.

Урожай зерна ячменя в среднем за 6 лет при посеве по озимой ржи в узкоспециализированных зерновых севооборотах IV и V (Гпс и Гпс+с) был выше, чем в севообороте III (без пожнивного сидерата), на 3,7 и 4,1 ц/га. На одном уровне находилась урожайность ячменя в I (плодосменном), а также в IV и V севооборотах после овса. В бессменных посевах урожайность этой культуры была значительно ниже, чем в севообороте, особенно в вариантах без удобрений (18,2 ц/га). При внесении минеральных удобрений она оказалась на 8,1 и 1,2 ц/га ниже, чем в плодосменном севообороте и после озимой ржи в узкоспециализированном зерновом севообороте на том же фоне минеральных удобрений. Прибавка от пожливной сидерации и пожливной сидерации совместно с соломой в бессменных посевах ячменя в среднем за 6 лет составила 2,0—2,5 ц/га и зависела в основном от количества запаханной зеленой массы.

Мало изменялась урожайность ячменя при увеличении насыщения севооборота зерновыми с 50 до 75%. При посеве в I севообороте и I ПК. Во II севообороте при посеве овса по обороту пласта после овса урожайность его была самой высокой, а от зеленого удобрения отдельно и совместно с соломой она повысилась незначительно — на 1,3—1,9 ц/га.

В III севообороте в среднем за 6 лет урожайность озимой пшеницы была на 5,1, а озимой ржи — на 5,5 ц/га ниже, чем при плодосмене. Интересно отметить, что последствие зеленого удобрения на озимой пшенице (прибавка 4,1—4,6 ц/га) и озимой ржи (3,3—3,6 ц/га) было почти таким же, как прямое действие в посевах ячменя (3,7—4,1 ц/га). Устойчивое повышение урожайности озимых культур после 6-летнего выращивания сидератов связано с кумулятивным действием зеленого удобрения.

По выходу кормовых и зерновых единиц (табл. 2) зерновой севооборот уступает плодосменному, но с учетом того, что при запашке пожнивного сидерата он позволяет решить задачу первостепенной важности — значительно увеличить производство зерна (с 20,3 до 34 ц/га) — такой севооборот может быть использован при зерновой специализации земледелия на серднеокультуренных дерново-подзолистых почвах Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР.

Высеваемые в опыте культуры значительно различались по химическому составу, и связано это с их биологическими особенностями. Высоким содержанием азота отличались многолетние травы, клевер, озимая пшеница, смесь вики с овсом, кукуруза. Зерновые культуры по содержанию азота в зерне располагались в убывающем порядке следующим образом: озимая пшеница, овес, озимая рожь, ячмень. В соломе зерновых культур азота содержалось значительно меньше, чем в зерне. Много фосфора расходовалось на формирование зерна (в расчете на единицу массы), меньше его было в соломе. Наиболее высоким содержанием калия отличались многолетние травы, смесь вики с овсом, кукуруза и горчица, несколько меньшим — солома зерновых культур. В зерне озимой пшеницы, ржи, овса и ячменя содержалось мало калия.

Вынос элементов питания культурами севооборота в целом, несмотря на одинаковые нормы минеральных удобрений в расчете на 1 га севооборотной площади, существенно зависел от набора культур и структуры посевных площадей, при этом в большей мере различались севообороты по выносу азота и калия, в меньшей — по выносу фосфора (табл. 3). У зерновых культур большая часть потребляемого азота и фосфора приходилась на долю зерна (63—82 %), а калия — на солому (65—82 %).

Таблица 1
Урожайность зерновых культур (ц/га)
в среднем за 1982—1987 гг.

Характер возделывания	Ячмень	Овес	Оз. пшеница	Оз. рожь
Севооборот:				
I—ПК	41,2	36,8	42,8	
II—НРК	38,2	40,1	43,3	46,2
III—НРК	39,7/34,3*	37,0	37,7	40,7
IV—НРК + Гпс	41,2 38,0	39,8	41,8	44,0
V—НРК + Гпс + с	41,4/38,4	38,3	42,8	44,3
Бессменные посевы:				
I—без удобрений	18,2	22,4		
2—НРК	33,1	35,0	—	—
3—НРК+Гпс	35,1	—	—	—
4—НРК + Гпс + с	35,6	—	—	—
НСР ₀₆	3,1	1,5 2,6		2,1

* В числителе—по овсу, в знаменателе—по оз. ржи.

Таблица 2
Продуктивность севооборотов (ц с 1 га севооборотной площади в год) и бессменных посевов в среднем за 1982—1987 гг.

Характер возделывания	Зерно	Кормовые единицы	Зерновые единицы
Севооборот:			
I—НРК	20,3	68,2	60,8
II—НРК	28,0	54,2	45,4
III—НРК	31,5	52,5	42,8
IV—НРК+Гпс	34,4	56,2	45,9
V—НРК+Гпс+с	34,2	56,2	44,8
Ячмень бессменно:			
1—без удобрений	18,2	28,2	22,2
2—НРК	33,1	51,1	39,3
3—НРК+Гпс	35,1	55,3	42,5
4—НРК+Гпс+с	35,6	54,9	43,1
Овес бессменно:			
1—без удобрений	22,4	30,3	24,3
2—НРК	35,0	49,6	39,7

Таблица 3

Вынос основных элементов питания (кг/га) с урожаем культур, возделываемых в севообороте, урожая ячменя (в числителе) и овса (в знаменателе) в среднем за 1982—1987 гг.

Характер возделывания	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Севооборот:			
I—НРК	1046,2	336,0	825,8
II—НРК	802,2	292,5	593,5
III—НРК	609,8	253,6	445,3
IV—НРК+Гпс	645,0	273,4	482,4
V—НРК+Гпс+с	645,0	267,8	485,9
Бессменные посевы:			
1—без удобрений	38,7	16,1	25,7
	48,2	25,2	36,8
2—НРК	69,4	32,5	43,5
	85,9	44,0	76,0
3—НРК+Гпс	76,0	35,8	56,4
	—	—	—
4—НРК+Гпс+с	78,1	35,7	57,0
	—	—	—

и кукурузой, а наименьшим — в бессменных посевах зернофуражных культур в контроле (без удобрений) из-за низких урожаев зерна.

Хозяйственный вынос азота с урожаем в севооборотах в среднем за год составлял 609,8—1046,2 кг/га (табл. 3). Наименьшим он был в III севообороте, а наибольшим — в I (с двумя полями многолетних трав). Но поскольку в севооборотах с многолетними бобовыми травами и клевером в этот вынос входит и симбиотически связанный азот атмосферы, количество фактически потребляемого из почвы и удобрений азота будет меньше, чем указано в табл. 3. В нашем опыте с учетом данной статьи прихода азота вынос его урожаями из почвы и удобрений в среднем за год в севообороте I составил 805,1, во II — 636,2 кг/га.

Вынос фосфора также в значительной степени зависел от севооборота. Хозяйственный его вынос наибольшим был в севообороте с многолетними травами

Таблица 4

Баланс азота (кг/га) в специализированных севооборотах за ротацию (1982—1987 гг.)

Статья баланса	Севооборот				
	I	II	III	IV	V
Поступление:					
с удобрениями	4740	4056	4188	4188	4188
с семенами	105,5	172,2	205,1	205,1	205,1
с осадками	331,2	331,2	331,2	331,2	331,2
азотфиксация клубеньковыми бактериями	1446,7	996,1	85,7	93,9	93,3
азотфиксация микроорганизмами за счет углерода растительных остатков симбиотически фиксированный азот в растительных остатках	936,9	1048,2	812,6	1137	1562,8
Всего	7855,1	6907,8	5713,3	6048,2	6478,3
Расход:					
хозяйственный вынос урожая газообразные потери из удобрений	6277,2	4813,3	3658,6	3889,0	3889,4
потери с инфильтрующимися водами	1185	1014	1047	1047	1047
потери со стоком	78,6	69,1	57,1	60,5	64,8
Всего	252	252	252	252	252
Всего	7792,8	6118,4	5014,7	5248,5	5253,2
Баланс:					
по севообороту	+62,3	+789,4	+698,6	+800	+1225,1
в среднем за год	+10,4	+131,5	+116,4	+133,3	+204,2

Баланс азота (кг/га) в бессменных посевах зернофуражных культур (в 1982—1988 гг.)

Статья баланса	Ячмень				Овес	
	1 без удобрений	2 NPK	3 NP K + Гпс	4 NPK+Гпс+ + с	1 без удобрений	2 NPK
Поступление:						
с удобрениями		576	576	576		576
с семенами	32,4	32,4	32,4	32,4	28,1	28,1
с осадками	55,2	55,2	55,2	55,2	55,2	55,2
азотфиксация микроорганизма- ми за счет угле- рода раститель- ных остатков	69,7	102,8	151,6	261,3	92,8	148,4
Всего	157,3	766,4	815,2	924,9	176,1	807,7
Расход:						
хозяйственный вынос с урожаем	232	416,4	456,3	468,8	289,1	515
газообразные по- тери из удобрений		144	144	144		144
потери с инфильт- рирующимися во- дами	1,6	7,7	8,2	9,2	1,8	1,8
потери со стоком	9,4	48	48	48	10,6	48
Всего	281,6	616,1	656,5	670	338,9	715,1
Баланс	124,3	+ 150,3	+ 158,7	+254,9	—162,8	+96,6
В среднем за год	—20,8	+25,0	+26,40	+42,4	—27,1	+ 15,4

Вынос калия урожаями в среднем за год в зависимости от севооборота колебался от 445,3 (III севооборот) до 826,5 кг/га (I севооборот).

Хозяйственный вынос всех трех элементов питания оказался самым большим в III севообороте. Соотношение N : P : K в хозяйственном выносе с незначительными отклонениями в зависимости от вида севооборота составляло 1:0,32—0,42:0,58—0,73.

В расходную часть баланса азота входят также газообразные его потери из удобрений, с инфильтрующимися и стоковыми водами. Учитывая результаты ряда полевых и вегетационных опытов [9, 17], мы в балансовых расчетах приняли, что газообразные потери азота из минеральных удобрений составляют 25 %. Потери азота вследствие инфильтрации, по мнению некоторых авторов, незначительны [28], однако при высоких дозах азота и достаточном количестве осадков с промывными водами может теряться большое количество азота, и с этим приходится считаться. По имеющимся данным [24], потери азота вследствие инфильтрации составляют 1 % приходной части баланса.

С поверхностным стоком теряется в зависимости от окультуренности почвы 1—4 кг азота на 1 га [28]. В. К. Михновский [10] считает, что на потери азота от эрозии приходится 10 кг/га, Е. П. Трепачев [19]—0—30 кг в зависимости от крутизны склона и культуры. Мы приняли, что потери со стоковыми водами для многолетних трав равняются 3 кг, для озимой пшеницы — 5, яровых зерновых — 8 кг/га в год.

Поступление азота с удобрениями в опытных севооборотах в среднем за год равнялось 676—790 кг/га в зависимости от состава культур (табл. 4), в бессменных посевах овса и ячменя — 96 кг/га (табл. 5). С семенами культур вносилось от 4,7 до 8,3 кг азота на 1 га, а за ротацию севооборота — от 26,8 до 49,8 кг; в бессменных посевах ячменя и овса — соответственно 1,1 и 1,6 кг азота на 1 га

Баланс P_2O_5 (в числителе) и K_2O (в знаменателе) в специализированных севооборотах за ротацию (1982—1987 гг.)

Статья баланса	Севооборот				
	I	II	III	IV	V
Поступление:					
с удобрениями	4320	4500	4800	4800	4800
	4140	3564	3852	3852	3852
с семенами	38,3	63,6	74,4	74,4	74,4
	26,8	40,0	49,8	49,8	49,8
с осадками	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
	180	180	180	180	180
Всего	4369,1	4574,7	4885,2	4885,2	4885,2
	4346,8	3784	4081,8	4081,8	4081,8
Расход:					
хозяйственный	2015	1755,2	1521,9	1640,2	1606,8
вынос с урожаем	4952,9	3560,8	2672,1	2894,6	2915,6
потери со стоком	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8
	201,6	201,6	201,6	201,6	201,6
Всего	2043,8	1784,0	1550,7	1669,0	1635,6
	5154,5	3762,4	2873,7	3096,2	3117,2
Баланс:					
по севообороту	2354,1	2790,7	3334,5	3216,2	3249,6
	-807,8	21,8	1208,1	985,6	964,6
в среднем за год	392,4	465,1	555,8	536,0	541,6
	-134,6	3,6	201,4	164,3	160,8

По имеющимся данным [24, 26], поступление азота (в аммиачной и нитратной форме) с осадками составляет в год 9,2 кг на 1 га. При расчете баланса азота в севообороте важно выделить азот, используемый бобовыми культурами из воздуха. К сожалению, количественная сторона азотфиксации бобовыми еще недостаточно изучена. Многие авторы пользуются коэффициентом Хопкинса — Питерса, согласно которому азот из воздуха, используемый бобовыми растениями, составляет $\frac{2}{3}$ общего содержания его в биомассе растений. Однако трудно представить, что все бобовые культуры обладают одинаковой интенсивностью азотфиксации. При использовании коэффициента Хопкинса — Питерса получается, что количество азота, взятого бобовыми из почвы, возрастает с повышением их урожая, однако при высоких урожаях бобовых культур получены более высокие значения фиксации азота воздуха и обогащения им почвы [11]. По обобщенным нами данным, в почвах, бедных азотом, при оптимальных фосфорно-калийном питании, и влажности фиксация атмосферного азота бобовыми достигает 90—95 % общей потребности. Клевер может фиксировать 150—160 кг азота на 1 га в год, люпин — 160, люцерна — 300 кг/га. В зависимости от почвенно-климатических условий азотфиксация у гороха может колебаться от 20 до 100 кг, у многолетних трав — от 160 до 300 кг/га [27].

Как показали исследования [19], проведенные на основе метода сравнения, в полевых условиях коэффициент азотфиксации для наземной части многолетних трав в большинстве случаев колеблется от 0,60 до 0,85, а для пожнивно-корневых остатков — от 0,5 до 0,7; для однолетних бобовых — соответственно от 0,5 до 0,65 и от 0,3 до 0,4. Мы приняли, что у клевера в условиях нашего опыта в среднем на фиксированный азот приходится 70 % общего содержания этого элемента в фитомассе. Симбиотическое потребление азота из воздуха клеверо-тимофеечной смеси на фоне норм удобрений на запланированный урожай за ротацию севооборота составило 1446,7, а чистым клевером — 996,1 кг. С послеуборочными остатками многолетних трав

Баланс P_2O_5 (в числителе) и K_2O (в знаменателе) при бесменном возделывании ячменя и овса в 1982—1987 гг.

Статья баланса	Ячмень				Овес	
	1 без удобрений	2 NPK	3 NPK + Гпс	4 NPK + Гпс с	1 без удобрений	2 NPK
Поступление:						
с удобрениями	—	720	720	720	—	720
		624	624	624		624
с семенами	10,8	10,8	10,8	10,8	11,1	11,1
	9,8	9,8	9,8	9,8	6,8	6,8
с осадками	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	30	30	30	30	30	30
Всего	12,6	732,6	732,6	732,6	12,9	732,8
	39,8	663,8	663,8	663,8	36,9	660,8
Расход:						
хозяйственный вынос с урожаем	96,4	195,2	214,5	213,9	151,3	264,2
	154,7	260,8	338,5	342	220,6	456,2
потери со стоком	1,2	4,8	4,8	4,8	1,2	4,8
	8,4	33,6	33,6	33,6	8,4	33,6
Всего	125,2	200	219,3	218,7	156,1	269
	188,3	294,4	372,1	375,6	254,2	489,8
Баланс:						
за 6 лет	—112,6	532,6	513,3	513,9	—138,4	269
	—148,5	369,4	291,7	288,2	—217,4	207,8
в среднем за год	—18,8	88,8	85,6	85,7	—23,1	77,3
	—24,5	61,6	48,6	48	—36,2	34,6

и клевера поступает в почву в год 44,5 и 42,6 кг ассимилированного азота атмосферы. Обеспеченность викоовсяной смеси в азоте за счет азота атмосферы при внесении удобрений составляет 10 %.

Поступление в почву с послеуборочными остатками легкоразлагающегося энергетического материала (углеводов) создает дополнительную возможность для усвоения свободноживущими микроорганизмами азота атмосферы. По мнению некоторых авторов, свободноживущие азотфиксаторы могут на каждом гектаре связывать до 50 кг атмосферного азота в год и даже 80 кг/га и больше [19]. Эти данные, по-видимому, преувеличены, и, как отмечает Е. Н. Мишустин [11], в результате жизнедеятельности свободноживущих микроорганизмов фиксируется 5—10 кг атмосферного азота за год на 1 га. По другим данным [15], размеры несимбиотической азотфиксации близки к 10—15 кг/га. При изучении баланса азота в 10-польном зерносвекловичном севообороте было показано [4], что они могут достигать 30—40 кг/га.

Общепринято, что на ассимиляцию 1 г азота микроорганизмами требуется 25 г углерода. Ежегодное разложение свежих растительных остатков в почве по севооборотам составляет 40 %.

В нашем опыте с растительными остатками полевых культур поступило в пахотный слой почвы в расчете на 1 га в среднем за год 8464,8—10917,4 кг углерода. При запашке пожнивной горчицы в чистом виде и совместно с соломой дополнительно в пахотный слой почвы было внесено 2429,8—2685,6 кг углерода горчицы и 4886,4 кг углерода соломы. С послеуборочными остатками ячменя и овса, возделываемых бесменно на фоне NPK, в пахотный слой попадало 1070,3 и 1546,1 кг углерода, с растительными остатками многолетних трав — в 2,0—3,5 раза больше, чем с растительными остатками зерновых культур.

На основании данных о поступлении углеродных соединений в почву, интенсивности их разложения и затрат энергии на микробиологические процессы можно определить, сколько азота атмосферы свя-

Содержание питательных веществ в пахотном слое почвы в начале и в конце ротации (среднее по повторениям)

Характер возделывания	N _{общ.} %		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	начало	конец	мг на 100 г почвы			
			начало	конец	начало	конец
I—NPK	0,094	0,085	14,8	14,2	16,9	16,4
	0,045	0,051	5,7	6,4	12,4	14,6
II—NPK	0,094	0,085	13,1	13,6	16,2	17,6
	0,047	0,054	6,1	7,1	12,1	14,7
III—NPK	0,099	0,083	13,5	14,4	16,9	18,7
	0,049	0,054	6,2	7,9	12,9	16,0
IV—NPK+Гпс	0,099	0,086	13,3	14,5	16,0	17,8
	0,048	0,056	5,7	7,7	11,8	15,0
V—NPK+Гпс+c	0,094	0,082	13,1	14,3	16,2	19,6
	0,044	0,054	5,9	6,8	10,8	15,5
Ячмень бессменно:						
1—без удобрений	0,096	0,085	10,9	9,6	14,9	18,0
	0,052	0,059	7,2	6,6	10,9	13,8
2—NPK	0,105	0,091	10,4	13,8	15,0	18,0
	0,049	0,062	5,5	6,1	9,8	13,5
3—NPK+Гпс	0,104	0,092	15,3	14,3	17,2	18,3
	0,046	0,066	5,3	9,1	9,8	13,5
4—NPK+Гпс+c	0,092	0,098	14,3	14,9	15,7	18,5
	0,057	0,056	5,3	5,7	10,1	15,4
Овес бессменно:						
1—без удобрений	0,093	0,081	11,3	7,7	14,0	14,5
	0,041	0,052	5,4	6,3	12,9	13,3
2—NPK	0,095	0,082	12,3	11,5	16,8	16,7
	0,043	0,047	4,9	5,1	10,5	14,9

зывается микроорганизмами. Расчеты показывают, что ассимиляция микроорганизмами азота из атмосферы и легкоподвижных соединений азота только за счет углеводов растительных остатков при 40 % минерализации может ежегодно составлять в посевах озимой пшеницы 23,6—27,8 кг, озимой ржи — 27,1—26,8, ячменя — 11,6—22,8, овса — 26—30, горчицы — 6,1—19,7, кукурузы — 37,3, соломы — 15,8—51,7 кг/га. При полной минерализации растительных остатков связывание азота микроорганизмами может увеличиться в 2,5 раза.

Составленный на основании полученных нами экспериментальных данных баланс азота за ротацию севооборота при внесении удобрений на запланированный урожай был практически уравновешенным в I севообороте и положительным во всех других севооборотах. Накопление азота в севооборотах без бобовых культур следует, по-видимому, отнести за счет деятельности свободноживущих азотфиксаторов. Устойчивый положительный баланс азота в специализированных зерновых севооборотах достигается в результате внесения полного минерального удобрения на запланированный урожай (116,4 кг), а также в результате ежегодного возделывания промежуточных культур (+133,3 кг) на зеленое удобрение и заправки соломы совместно с пожнивным сидератом на 50 % севооборотной площади (+204,2 кг). Следовательно, эта система удобрения, рассчитанная на получение определенного урожая культур при учете содержания усвояемого азота в почве, позволяет поддерживать бездефицитный и даже положительный баланс азота. В севообороте с многолетними травами баланс азота определялся в значительной мере той частью биологического азота в надземных органах растений, которая возвращается на поля [28]. При бессменном возделывании ячменя и овса в контроле (без удобрений) наблюдался дефицит азота (—20,8 и —27,1 кг в год), а ежегодная заправка пож-

нивного сидерата и соломы обеспечивала положительный его баланс (26,4 и 42,4 кг/га в год).

Следует, однако, иметь в виду, что даже при дальнейшем уточнении нормативов приходно-расходных статей нельзя на их основе абсолютизировать оценку азотного баланса. Реальный баланс можно установить только путем прямого определения содержания азота в почве до и после ротации севооборота.

Анализ почвенных образцов, отобранных по всем полям севооборота перед закладкой опыта и в конце ротации, показал (при сравнении результатов принимали, что точность опыта равна 3 %), что содержание общего азота в почве при пересчете на весь слой 0—40 см практически не изменилось в большинстве вариантов. Отмеченное снижение содержания азота в пахотном слое и увеличение в подпахотном связаны с припашкой подпахотного слоя при обработке.

В III севообороте общий баланс азота снизился с 434 до 405,2 т/га. В IV и V севооборотах (NPK + Гпс и NPK+Гпс + с) содержание азота в почве стабилизировалось на уровне 431—420 и 403,6—402,4 т азота на 1 га. В бессменных посевах ячменя на фоне пожнивной сидерации отмечено увеличение общего азота в слое почвы 0—40 см с 438,4 до 468,8 т/га. При дефиците азота в контрольных вариантах бессменных посевов ячменя и овса содержание этого элемента в почве не изменилось. Следовательно, указанный дефицит покрывался иными путями, по-видимому, за счет фиксации молекулярного азота свободноживущими микроорганизмами, а также других малоизученных источников.

При определении баланса фосфора и калия использовали данные, полученные в полевых опытах на экспериментальной базе «Михайловское» И. С. Шатиловым с сотрудниками [25]: приход фосфора (P_2O_5) с осадками — 0,3 кг/га, калия (K_2O) — 5 кг/га в год, потери с водой при стоке — соответственно 0,8 и 5,6 кг/га в год.

Как видно из табл. 6, хозяйственный баланс фосфора в специализированных зерновых севооборотах складывался положительно. При внесении на 1 га севооборотной площади от 120 до 160 кг фосфора на фоне высоких норм азота и калия в почве ежегодно оставалось от 392,4 до 555,8 кг P_2O_5 . Таким образом, применение норм удобрений, использованных в нашем опыте, позволило систематически повышать плодородие почвы. При бессменном возделывании ячменя и овса без удобрений дефицит фосфора составил 18,8 и 23,1 кг/га в год (табл. 7).

Баланс фосфора, рассчитанный разностным методом, хорошо согласуется с содержанием подвижного фосфора в почве. При внесении удобрений в расчете на запланированные урожаи во всех севооборотах при положительном балансе фосфора к концу ротации превышение поступления фосфора над выносом достигало 65,4—92,6 кг в год на 1 га, в бессменных посевах ячменя и овса на тех же фонах удобрения — 77,3 и 88,3 кг/га. Поступление фосфора в почву во всех вариантах превышало вынос в 2—3 раза, что создало условия для накопления его в почве. Низкий процент использованных удобрений можно связать с закреплением фосфора в почве и с высокими его нормами, превосходящими вынос (табл. 8). Установлено, что фосфаты мигрируют в пахотный слой почвы, а часть фосфорных удобрений связывается в соединения, малодоступные для питания растений.

Из трех изучаемых элементов питания в первом минимуме в течение всей ротации находился калий. Баланс этого элемента в среднем за ротацию был отрицательным в I севообороте с многолетними травами и кукурузой (50 % зерновых), дефицит в данном севообороте составлял 134,6 т в год на 1 га севооборотной площади.

Растения могут не ощущать дефицита калия в первой ротации, так как удовлетворяют свои потребности в нем за счет валовых запасов почвы [20], однако эксплуатация этого источника калия длительные время отрицательно сказывается на плодородии почвы.

В севообороте с клевером отмечен бездефицитный баланс калия (+ 3,6 т/га). Во всех остальных севооборотах его баланс за ротацию

складывался положительно (от 160,8 до 201,4 кг/га). Больше всего калия накапливалось в III севообороте, что согласуется с меньшим выносом его с урожаем. При использовании в качестве удобрения пожнивного сидерата и пожнивного сидерата совместно с соломой в связи с большим выносом калия с урожаем накопление его в почве составило 160,8—164,3 кг/га. Дефицит калия в системе почва — растения отмечен в бессменных посевах ячменя и овса на удобренном фоне (—24,5 и —36,2 кг/га). Надо отметить, что при указанном дефиците калия в I севообороте и в бессменных посевах он возмещается, по-видимому, за счет запасов в почве калия в необменно поглощенном состоянии. Надо полагать, что использование таких количеств почвенного калия в течение первой ротации севооборота не скажется отрицательно на плодородии почвы, что согласуется с нашими данными о содержании запасов обменного калия в почве в начале и конце первой ротации опыта (табл. 8). В узкоспециализированном зерновом севообороте при удобрении горчицей и соломой совместно с горчицей отмечено ошутимое увеличение содержания обменной формы калия и накопление его как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы.

Кук [5] пришел к выводу, что пополнение запасов калия в почве нельзя откладывать до их истощения, поскольку тогда почва может не дать максимального урожая, сколько бы «свежих» калийных туков ни вносили. Вот почему с целью поддержания запасов калия в почве для последующих культур Кук рекомендует вносить калийные туки даже в тех случаях, когда они неэффективны и лишь компенсируют нарастающий дефицит калия в севообороте. Исходя из этого можно предположить, что во второй ротации I севооборота для получения максимального урожая окажется недостаточной нынешняя норма калийных удобрений. Поэтому во избежание истощения почвы в севооборотах с многолетними травами уровень ежегодного внесения K_2O должен быть не ниже 120 кг/га.

Несмотря на большой недостаток калия, содержание этого элемента в почве в обменной форме в течение первой ротации не уменьшалось и оставалось средним и повышенным. Таким образом, в последующих ротациях для получения высоких урожаев культур, особенно при насыщении севооборота зерновыми, потребность в калии будет повышаться в еще большей степени, поэтому нормы калийных удобрений должны быть увеличены.

Выводы

1. На дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах в 6-польном севообороте с высоким насыщением зерновыми культурами (83%) при внесении минеральных удобрений на запланированные урожаи культур, а также при запашке поживной горчицы и соломы достигается устойчивый положительный баланс по азоту, фосфору и калию.

2. В плодосменном 6-польном севообороте (50 % зерновых) с двумя полями многолетних трав и при том же уровне минеральных удобрений получен отрицательный баланс калия, поэтому во избежание истощения почвы уровень ежегодного внесения калия должен быть повышен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берестов И. М., Ринькис Г. Я., Рамане Х. К. Баланс питательных веществ в севообороте при оптимизации питания растений. — *Агрохимия*, 1986, № 6, с. 37—41. — 2. Гинзбург К. Е., Щеглова Г. В., Вульфусе В. Ускоренный метод сжигания почв и растений. — *Почвоведение*, 1963, № 5, с. 89. — 3. Городецкая С. П., Лазурский А. В., Лебединская В. П. Баланс азота, фосфора и калия в системе растение — удобрение в связи с эффективностью отдельных видов минеральных удобрений в зерносвекловичном севообороте. — *Агрохимия*, 1975, № 6, с. 3—11. — 4. Касатиков В. А., Касатикова С. М. Баланс азота, фосфора и калия при внесении удобрений в севообороте на дерново-подзолистой почве. — *Агрохимия*, 1982, № 6, с. 54—58. — 5. Кук Дж. У. Регулирование плодородия поч-

вы. — М.: Колос, 1970, 520 с. — 6. Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П. Баланс питательных веществ в земледелии БССР. — Химия в сельск. хоз-ве, 1970, № 4, 72—77. — 7. Лигум С. Г. Балансовый коэффициент использования растениями питательных веществ из удобрений и почвы и его применение. — Агрохимия, 1977, № 5, с 128—133. — 8. Лошаков В. Г., Иванова С.Ф., Асхабов Р.Ю., Пашкова Л. В. Баланс азота, фосфора и калия в интенсивных зерновых севооборотах. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 6, с. 3—11. — 9. Макаров Б. Н., Макаров Н. Б. Газообразные потери азота почвы и удобрений. — Агрохимия, 1976, № 12, с. 120—130. — 10. Михиовский В. К. Баланс питательных веществ и основные статьи прихода и расхода в земледелии области. — В кн.: Почвы Московской области. М.: Колос, 1974. — 12. Никитишен В. И., Никитишина И. А., Торина Е. С. Баланс питательных веществ в земледелии Нечерноземной зоны РСФСР. — Агрохимия, 1977, Ss 1, с. 63—68. — 13. Петербургский А. В., Никитишен В. И., Никитишина И. А. Применение удобрений и баланс питательных веществ в земледелии СССР. — Агрохимия, 1982, № 2, с. 22—26. — 14. Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и земледелии СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1945. — 15. Сапожников Н. А. Баланс азота в земледелии Нечерноземной полосы и основные пути улучшения азотного питания культурных растений. — В кн.: Азот в земледелии Нечерноземной полосы. Л.: Колос, 1973. — 16. Синявский В. А. Урожайность зерновых культур и баланс элементов питания при систематическом применении удобрений в севообороте на серой лесной почве. — Агрохимия, 1989, № 2, с. 48—54. — 17. Смирнов П. М., Кидин В. В., Торшин С. П. Влияние почвенного плодородия на газообразные потери азота из почвы и удобре-

ний. — Почвоведение, 1951, № 11, с. а—107. — 18. Станков Н. З. Корневая система полевых культур. — М.: Знание, 1964. — 19. Трепачев Е. П. О методике исследований азотного баланса почвы в длительных опытах. — Почвоведение, 1976, № 3, с. 137—149. — 20. Фараонов Г. И., Хабарова А. И. Баланс питательных веществ при различных системах удобрения в севооборотах в Нечерноземной зоне. — Агрохимия, 1980, № 2, с. 54—61. — 21. Чумаков В. С., Сокрута И. Ф., Лебедь Е. М. Баланс питательных веществ в специализированных севооборотах Северной степи УССР. — Агрохимия, 1985, № 10, с. 32—37. — 22. Шамрай Л. А. Баланс азота, фосфора и калия в первой ротации зерно-пропашного севооборота. — Агрохимия, 1988, № 5, с. 45—50. — 23. Шапошников И. М., Листопадов И. Н. Баланс азота, фосфора и калия в интенсивных зерновых севооборотах. — Агрохимия, 1978, № 4, с. 49—52. — 24. Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Баланс азота в севообороте на дерново-подзолистой почве. — Изв. ТСХА, 1977, вып. 1, с. 34—44. — 25. Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Химический состав атмосферных осадков и поверхностно стекаемых вод. — Докл. ВАСХНИЛ, 1977, № 6, с. 1—3. — 26. Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Баланс элементов минерального питания в севообороте на суглинистой дерново-подзолистой почве. — Вестник с.-х. науки, 1980, № 5, с. 41—51. — 27. Шияи П. Н., Черепанов В. П., Якименко В. Н. Изучение размеров симбиотической фиксации азота клевером и горохом. — Агрохимия, 1980, № 3, с. 12—17. — 28. Юрко Е. П. Потери азота из почвы с нисходящими токами. — Агрохимия, 1980, № 4, с. 15—20.

Статья поступила 25 мая 1989 г.

SUMMARY

On soddy-podzolic soils of Moscow region in six-course grain crop rotations with application of mineral fertilizers on the programmed yield (40—50 centners of grain per 1 ha) afterharvest green manuring provided positive balance of nitrogen, phosphorus and potassium. In field crop rotation without green manuring on the same fertilizer background a positive balance for nitrogen and phosphorus and negative balance for potassium was provided.