

УДК 631.81.036:631.452:631.445.2:[631.582+631.582.1

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

В.Г. ЛОШАКОВ, ФРАНК ЭЛЛМЕР, С.Ф. ИВАНОВА, Ю.Н. СИНИХ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела ТСХА,
кафедра земледелия Берлинского университета им. Гумбольдта)

Приводятся данные о многолетнем влиянии различных чередований зернофуражных культур, бессменного возделывания ячменя и овса при использовании пожнивного зеленого удобрения как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой на баланс азота, фосфора и калия в среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах средней степени окультуренности в условиях Московской области. Установлено, что в специализированных зерновых 6-польных севооборотах (83% зерновых культур) внесение минеральных удобрений в расчете на запланированный урожай зерна (40—50 ц/га) с пожнивной сидерацией обеспечивает устойчивый положительный баланс основных питательных веществ, тогда как в плодосменном севообороте с 50% зерновых культур и в севообороте с 67% зерновых культур без пожнивного сидерата на том же фоне минерального питания баланс калия был отрицательным.

Современная сельскохозяйственная деятельность оказывает многообразное воздействие на природную среду. Она изменяет баланс, сложившийся в естественном круговороте веществ. Под сельскохозяйственными культурами значительно изменяются масштаб и характер биологического круговорота элементов. В этой связи особое значение приобретает изучение баланса питательных веществ в агрофитоценозах.

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, 6, 8].

В данной работе приводятся результаты анализа баланса азота, фосфора и калия за 2-ю (1987—1992 гг.) ротацию специализированных севооборотов и при бессменном посеве ячменя и овса при различном способе их возделывания.

Методика

Многофакторный стационарный опыт, в котором, в частности, решалась поставленная задача, был заложен в 1980 г. на опытном поле экспериментальной базы Тимирязевской академии «Михайловское». Схема его и агротехника культур подробно описаны в ряде статей в журнале «Известия ТСХА» [6, 7] и др.

В данном сообщении рассматриваются варианты в севооборотах: I — 50% зерновых + NPK (условно для краткости I — NPK), II — 67% зерновых + NPK (II-NPK), III — 83% зерновых + NPK (III-NPK), IV — 83% зерновых + NPK + пожнивный сидерат (IV —

NPK + PC), V — 83% зерновых + NPK + PC + солома на удобрение (V — NPK + PC + C).

В бессменных посевах ячменя и овса варианты различались по фону питания: 1 — без удобрений, 2 — NPK, 3 — NPK + PC, 4 — NPK + PC + C. Минеральные удобрения вносили в расчете на запланированные урожаи озимых пшеницы и ржи — 50 ц/га, овса и ячменя — 40 ц/га.

Учет урожая зерна, зеленой массы основных культур проводили сплошным методом, соломы и зеленой массы пожнивного сидерата — методом пробных снопов на метровке, растительных остатков — рамочным методом после уборки урожая по методике Н.З. Станкова (1957 г.) В основу изучения баланса элементов питания был положен, как и при расчете за 1-ю ротацию, метод сопоставления приходных и расходных его статей в системе почва — растение [3, 4, 6].

В лабораторных исследованиях почвы и растительных образцов использовали современные методы агрохимического анализа. Значения показателей плодородия почвы за 1980 г. (исходные данные в год закладки опыта) определяли в агрохимической лаборатории кафедры земледелия и методики опытного дела Тимирязевской академии. Содержание азота в растительных образцах (основной и побочной продукции) после их мокрого озольнения по методу Гинзбург, Щелковой-Вульфус [3] определяли по Кьельдалю, фосфора — колориметрически, калия — на пламенном фотометре.

Анализы образцов почвы, отобранных в конце 2-й ротации в 1992 г., выполняли в лаборатории

кафедры земледелия Берлинского университета им. Гумбольдта. Определяли содержание общего азота методом Кьельдаля с использованием установки, описанной в [18], подвижного фосфора — по [19], обменного калия — на пламенном фотометре [19].

Метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследований (1987—1992 гг.) различались по температурному режиму, количеству осадков и их распределению. В 1987 г. май был влажным, сумма выпавших осадков — 76,6 мм, в июле и августе стояла прохладная погода, выпало 63,3 и 58,8 мм осадков. Следующий год характеризовался сухой жаркой погодой с обильными осадками во II декаде июля. В 1989 г. отмечалась майская (19 мм) и июньская (31 мм) засухи и обильные осадки в I декаде июля и августа — 158,2 и 64,9 мм. В 1990 г. метеорологические условия в первой половине вегетационного периода были близки к средним многолетним, во второй — отмечалось избыточное увлажнение в июле и августе, осадков выпало на 23,9 и 25,5 мм больше нормы. Вегетационный период 1991 г. характеризовался повышенной температурой в мае и июне, в последующие месяцы она практически не отличалась от средней многолетней, осадков в мае выпало больше нормы на 28,8 мм, а в июне и июле — меньше нормы на 17,5 и 9,7 мм. В 1992 г. заканчивалась 2-я ротация севооборотов и бессменных посевов зернофуражных культур. Этот год характеризовался сухой жаркой погодой с майско-июньской засухой и с незначительными осадками в июле — августе.

Результаты

Урожай зеленой массы пожнивной горчицы различался по годам исследований и зависел в основном от метеорологических условий в поживный период и сроков сева (табл. 1). В среднем за 1987—1992 гг. после озимых зерновых культур он оказался довольно высоким — до 247,6 ц/га (29,9 ц абсолютно сухого вещества на 1 га). Значительно ниже урожай зеленой массы горчицы был после ярового ячменя — 160—197 ц/га (17,7—20,7 ц абсолютно сухого вещества), что определялось в основном более поздними сроками сева.

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 основном зависела от погодных условий, которые были благоприятными лишь в 1987 и 1990 гг., и от количества запахиваемой зеленой массы поживной горчицы (табл. 2). Однако независимо от условий погоды четко прослеживалась различная реакция культур на увеличение в севообороте доли зерновых, предшественники и удобрение.

Из-за неблагоприятных погодных условий в отдельные годы прибавка урожая ячменя так же, как и в 1-ю ротацию севооборотов, не всегда была достаточно высокой, но и здесь отмечена тенденция к ее повышению в варианте с поживным сидератом (табл. 2). Эффективность зеленых удобрений различалась по годам и зависела в основном от количества запаханной зеленой массы.

Т а б л и ц а 1

Урожайность пожнивной горчицы (ц/га) в среднем за 1987—1992 гг.

Предшественник	Зеленая масса	Абсолютно сухое вещество
В севообороте:		
оз. пшеница + NPK + ПС	222	27,4
» » + NPK + ПС + С	202	25,5
оз. рожь + NPK + ПС	248	29,9
» » + NPK + ПС + С	225	28,4
ячмень + NPK + ПС	166	17,7
» + NPK + ПС + С	160	18,6
В бессменных посевах:		
ячмень + NPK + ПС	197	17,8
» + NPK + ПС + С	183	20,7

Т а б л и ц а 2

Урожайность зерновых культур (ц/га) в среднем за 1987—1992 гг.

Характер возделывания	Ячмень	Овес	Оз. пшеница	Оз. рожь
Севооборот:				
I — NPK	39,2	30,1	52,5	—
II — NPK	34,8	34,2	51,9	45,2
III — NPK	32,5	28,3	42,8	37,9
IV — NPK + ПС	36,2	31,5	47,2	41,5
V — NPK + ПС + С	36,5	31,2	46,6	44,1
Бессменные посевы:				
1 — без удобрений	11,0	15,9	—	—
2 — NPK	31,4	18,5	—	—
3 — NPK + ПС	31,7	—	—	—
4 — NPK + ПС + С	30,7	—	—	—

Урожайность ячменя в среднем за 1987—1992 гг. при увеличении насыщения севооборотов зерновыми с 50 до 83% снизилась на 6,7 ц/га, или на 17,1%, а при включении в севооборот пожнивного зеленого удобрения в чистом виде и в сочетании с удобрением соломой в среднем повысилась соответственно на 3,7 и 4,0 ц/га, или 11,4 и 12,3%. Однако наибольшую урожайность ячменя (39,2 ц/га) обеспечивал плодосменный севооборот.

В бессменных посевах значение

этого показателя заметно ниже, чем в севообороте, особенно в вариантах без удобрений (11,0 ц/га). При внесении NPK урожайность ячменя оказалась на 7,8 и 1,1 ц/га ниже, чем соответственно в плодосменном севообороте и после озимой ржи в узкоспециализированном зерновом севообороте на том же фоне минеральных удобрений. За 1987—1992 гг. при бессменном посеве ячменя практически не было получено прибавки урожая от пожливной сидерации и удобрения соломой.

Мало изменялась урожайность овса при увеличении насыщения севооборота зерновыми с 50 до 83% на фоне NPK. Во II севообороте при посеве овса по обороту пласта клевера урожайность достигла 34,2 ц/га, а от зеленого удобрения отдельно и совместно с соломой она повысилась еще на 3,2 и 2,9 ц/га.

В III севообороте в среднем за 6 лет урожайность озимой пшеницы была на 9,7 ц/га, а озимой ржи — на 7,3 ц/га ниже, чем в плодосмене. Интересно отметить, что последствие пожнивной сидерации как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой в посевах озимой пшеницы и озимой ржи было почти таким же, как прямое их действие в посевах ячменя: прибавки составили соответственно 4,4 и 3,8;

3,6 и 6,2; 3,7 и 4,0 ц/га. Устойчивое повышение урожайности озимых культур после 12-летнего выращивания сидератов связано с аккумулятивным эффектом зеленого удобрения.

По выходу кормовых и зерновых единиц (табл. 3) зерновой севооборот уступает плодосмену, но с учетом того, что при запашке пожнивного сидерата он позволяет решить задачу первостепенной важности — значительно увеличить производство зерна благодаря повышению урожаев с 20,3 до 31,8 ц/га, такой севооборот может быть использован при зерновой специализации земледелия на среднекультуренных дерново-подзолистых почвах Центрального района Нечерноземной зоны РФ.

Т а б л и ц а 3

**Продуктивность севооборотов (ц на 1 га севооборотной площади в год)
и в бессменных посевах в среднем за 1987—1992 гг.**

Характер возделывания	Зерно	Кормовые единицы	Зерновые единицы
Севооборот:			
I — NPK	20,3	63,1	54,4
II — NPK	26,5	48,9	38,5
III — NPK	28,8	48,2	38,7
IV — NPK + ПС	31,8	52,6	42,1
V — NPK + ПС + С	32,2	53,1	42,7
Ячмень бессменно:			
1 — без удобрений	11,0	18,5	14,0
2 — NPK	31,4	49,9	37,4
3 — NPK + ПС	31,9	50,1	38,7
4 — NPK + ПС + С	30,7	48,1	37,0
Овес бессменно:			
1 — без удобрений	15,9	21,9	16,9
2 — NPK	26,8	37,2	28,6

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 едини-

цу 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 (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Соотношение азота, фосфора и калия в урожаях культур различных севооборотов и в бессменных посевах (1987—1992 гг.)

Характер возделывания	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Севооборот:			
I — NPK	1	0,34	0,91
II — NPK	1	0,35	0,83
III — NPK	1	0,37	0,79
IV — NPK + ПС	1	0,39	0,90
V — NPK + ПС + С	1	0,51	0,60
Ячмень бессменно:			
1 — без удобрений	1	0,44	0,74
2 — NPK	1	0,45	0,71
3 — NPK + ПС	1	0,42	0,88
4 — NPK + ПС + С	1	0,47	0,33
Овес бессменно:			
1 — без удобрений	1	0,42	0,90
2 — NPK	1	0,38	0,86

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. 5). У зерновых культур большая часть потребляемого азота и фосфора приходилась на долю зерна, а калия — на солому.

Хозяйственный вынос азота с урожаем в севооборотах в среднем за год составил 607,0—884,5 кг/га (табл. 5). 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. 5. В нашем опыте с учетом данной

Таблица 5

Вынос основных элементов питания (кг/га) с урожаем культур в севообороте, а также с урожаем ячменя в бессменных посевах (числитель) и овса (знаменатель) в среднем за 1987—1992 гг.

Характер возделывания	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Севооборот:			
I — NPK	884,5	302,8	803,3
II — NPK	735,5	257,8	614,0
III — NPK	607,0	226,9	478,9
IV — NPK + ПС	628,4	246,4	566,3
V — NPK + ПС + С	609,8	312,3	367,9
Бессменные посевы:			
1 — без удобрений	<u>26,5</u>	11,6	19,7
	37,7	15,8	31,4
2 — NPK	<u>78,1</u>	34,8	55,3
	71,2	27,1	60,9
3 — NPK + ПС	<u>84,0</u>	34,9	74,3
	—	—	—
4 — NPK + ПС + С	<u>54,8</u>	25,5	17,9
	—	—	—

статьи прихода азота вынос его урожаями из почвы и удобрений в среднем за год в I севообороте составил 672,7, во II — 620,7 кг/га. Вынос фосфора также в значительной степени зависел от севооборота. Хозяйственный его вынос наибольшим был в севообороте с многолетними травами и кукурузой, а наименьшим — в бессменных посевах зернофуражных культур без удобрений из-за низких урожаев зерна. Вынос калия урожаями в среднем за год в зависимости от севооборота колебался от 367,9 (V севооборот) до 803,3 кг/га (I).

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 сево-

оборота составляло — 1:(0,34—0,51):(0,60—0,91); в бессменном посеве ячменя — 1:(0,42—0,47):(0,33—0,88); овса — 1:(0,38—0,42):(0,86—0,42). В расходную часть баланса азота входят также газообразные потери из удобрений, с инфильтрующимися и стоковыми водами. Учитывая результаты ряда полевых и вегетационных опытов, мы в балансовых расчетах приняли, что газообразные потери азота из минеральных удобрений составляют 25%. Потери азота вследствие инфильтрации, по мнению некоторых авторов, незначительны, 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, потери азота вследствие

фильтрации составляют 1% приходной части баланса.

Как свидетельствуют литературные данные, с поверхностными стоками теряется 1—4 кг азота на 1 га в зависимости от окультуренности почвы [2]. На потери азота от эрозии приходится 10 кг/га [18] и от 0 до 30 кг/га в зависимости от крутизны склона и культуры [13]. Мы приняли, что потери со стоковыми водами в посевах многолетних трав равны 3 кг, озимой пшеницы — 5, яровых зерновых — 8 кг/га в год.

Поступление азота (в аммиачной и нитратной форме) с осадками составляет в год 9,2 кг на 1 га [14]. 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 — Шитерса, согласно которому азот из воздуха, используемый бобовыми растениями, составляет 2/3 общего содержания его в биомассе растений [16, 17].

При использовании в расчетах коэффициента Хопкинса — Шитерса получается, что количество азота, взятого бобовыми из почвы, возрастает с повышением урожая, однако при высоких урожаях бобовых культур получены более высокие значения фиксации азота воздуха и обогащения им почвы [8].

Как показали исследования, проведенные на основе метода сравнения, в полевых условиях коэффициенты азотфиксации для наземной части многолетних трав в большинстве случаев колеблются 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 [13]. 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 клеверотимоефеечной смесью на фоне норм удобрений на запланированный урожай за 2-ю ротацию севооборота составило 1271,1, а чистым клевером — 689,2 кг/га. С послеуборочными остатками многолетних трав и клевера поступает в почву в год 245 и 217 кг ассимилированного азота атмосферы. Обеспеченность викоовсяной смеси азотом за счет атмосферного при внесении удобрений составила 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 [13]. Эти данные, по-видимому, преувеличены. Под другим данным, размеры несимбиотической азотфиксации близки к 10—15 кг/га [11].

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

В нашем опыте с растительными остатками полевых культур поступило в пахотный слой почвы в рас-

чете на 1 га в среднем за год 8467—12110 кг углерода. При запашке горчицы пожнивной с соломой дополнительно в пахотный слой почвы было внесено 319,5—219,6 кг углерода. С послеуборочными остатками ячменя и овса, возделываемых бессменно на фоне NPK, в пахотный слой попадало 1136 и 1461 кг углерода.

На основании данных о поступлении углеродных соединений в почву, интенсивности их разложения и затратах энергии на микробиологические процессы можно определить, сколько азота атмосферы связывается микроорганизмами. Расчеты

показывают, что ассимиляция микроорганизмами азота из атмосферы и из растительных остатков озимой пшеницы может ежегодно составлять 24,8—28,4, озимой ржи — 24,2—26,0, ячменя — 22,2—25,1, овса — 23,9—25,0, горчицы — 46,7, кукурузы — 36,9, соломы — 24,3—37,2 кг/га. При полной минерализации растительных остатков связывание азота микроорганизмами может увеличиться в 2—2,5 раза.

Баланс азота за 2-ю ротацию при внесении удобрений на запланированный урожай был положительным во всех севооборотах (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Баланс азота (кг/га) в специализированных севооборотах за 2-ю ротацию (1987—1992 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	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5
азотфиксация клубеньковыми бактериями	1271,1	689,2	67,1	73,2	80,1
азотфиксация микроорганизмами за счет углерода растительных остатков	245,0	337,9	116,9	117,0	126,6
симбиотически фиксированный азот в растительных остатках	919,7	897,8	838,6	1151,6	1442,5
Всего	7616,3	6488,1	5750,7	6069,9	6387,3
Расход:					
хозяйственный вынос с урожаем	5307,2	4413,2	3642,1	3770,7	3658,9
газообразные потери из удобрений	1185	1014	1047	1047	1047
потери с инфильтрационными водами	76,2	64,9	57,5	60,7	63,9
потери со стоком	252	252	252	252	252
Всего	6820,4	5744,1	4998,6	5130,4	5021,8
Баланс:					
по севообороту	795,9	744	752,1	939,5	1365,5
в среднем за год	132,7	124	125,4	156,6	227,6

Устойчивый положительный баланс азота в специализированных зерновых севооборотах достигается в результате внесения полного минерального удобрения на запланированный урожай (125,4 кг), а также благодаря ежегодному возделыванию промежуточных культур (156,6 кг) на зеленое удобрение и заправки соломы совместно с пожнивным сидератом на 50% севооборотной площади (227,6 кг).

В севообороте с многолетними

травами баланс азота определялся в значительной мере той частью биологического азота в надземных органах растений, которая возвращается на поля. При бесменном возделывании ячменя и овса на фоне без удобрения наблюдался незначительный дефицит азота (—2,5 и —11,4 кг/га в год), а ежегодная заправка поживного сидерата и соломы обеспечивала положительный его баланс (19,6 и 62,7 кг/га) (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Баланс азота (кг/га) в бесменных посевах зернофуражных культур (1987—1992 гг.)

Статья баланса	Ячмень				Овес	
	без удобрений	НПК	НПК + ПС	НПК + ПС + С	без удобрений	НПК
Поступление:						
с удобрениями	—	576	576	576	—	576
с семенами	32,4	32,4	32,4	32,4	28,1	28,1
с осадками	55,8	55,8	55,8	55,8	55,8	55,8
азотфиксация микроорганизмами за счет углерода растительных остатков	66,1	109	157,1	241,7	84,9	140,3
Всего	154,3	773,2	821,3	905,9	168,8	800,2
Расход:						
хозяйственный вынос с урожаем	158,9	468,7	504	329,1	226,1	427,4
газообразные потери из удобрений	—	144	144	144	—	144
потери с инфильтрующимися водами	1,0	7,2	7,7	8,5	1,1	7,4
потери со стоком	9,4	48	48	48	9,4	48
Всего	169,3	667,9	703,7	529,6	237,2	626,8
Баланс:						
за 6 лет	—15	105,3	117,6	376,3	—68,4	173,4
в среднем за год	—2,5	17,6	19,6	62,7	—11,4	28,9

При определении баланса фосфора и калия использовали норматив-

ные данные, полученные экспериментально в тех же условиях акаде-

миком РАСХН И.С. Шатиловым с сотрудниками [14, 15]: приход фосфора (P_2O_5) за год с осадками — 0,3, калия (K_2O) — 5 кг/га, потери с водой при стоке — соответственно 0,8 и 5,6 кг/га.

Как видно из табл. 8, хозяйственный баланс фосфора в специализированных зерновых севооборотах складывался положительно. При внесении на 1 га севооборотной пло-

щади от 120 до 160 кг P_2O_5 на фоне высоких норм азота и калия в почве ежегодно оставалось от 420,6 до 582,6 кг P_2O_5 . Таким образом, применение указанных норм удобрений в изучаемых севооборотах позволило систематически повышать плодородие почвы. Однако при бессменном возделывании ячменя и овса без удобрений дефицит фосфора составил 9,8 и 14,1 кг/га в год (табл. 9).

Т а б л и ц а 8

Баланс P_2O_5 (в числителе) и K_2O (в знаменателе) в специализированных севооборотах за ротацию (1987—1992 гг.)

Статья баланса	Севооборот				
	I	II	III	IV	V
Поступление:					
с удобрениями	<u>4320</u> 4140	<u>4500</u> 3654	<u>4800</u> 3852	<u>4800</u> 3852	<u>4800</u> 3852
с семенами	<u>38,3</u> 26,8	<u>63,6</u> 40	<u>74,4</u> 49,8	<u>74,4</u> 49,8	<u>74,4</u> 49,8
с осадками	<u>10,8</u> 180	<u>10,8</u> 180	<u>10,8</u> 180	<u>10,8</u> 180	<u>10,8</u> 180
Всего	<u>4369,1</u> 4346,8	<u>4574,7</u> 3784	<u>4885,2</u> 4081,8	<u>4885,2</u> 4081,8	<u>4885,2</u> 4081,8
Расход:					
хозяйственный вынос	<u>1816,7</u>	<u>1547</u>	<u>1361,4</u>	<u>1478,7</u>	<u>1873,9</u>
с урожаем	<u>4820,1</u>	<u>3684,1</u>	<u>2873,9</u>	<u>3397,7</u>	<u>2207,3</u>
потери со стоком	<u>28,8</u> 201,6	<u>28,8</u> 201,6	<u>28,8</u> 201,6	<u>28,8</u> 201,6	<u>28,8</u> 201,6
Всего	<u>1845,5</u> 5021,7	<u>1575,8</u> 3885,7	<u>1390,2</u> 3075,5	<u>1507,5</u> 3199,3	<u>1406,7</u> 2408,9
Баланс:					
по севообороту	<u>2523,6</u> —674,9	<u>2998,9</u> —101,7	<u>3495</u> 1006,3	<u>1377,7</u> 482,5	<u>3478,8</u> 1672,9
в среднем за год	<u>420,6</u> —112,5	<u>498,8</u> —16,9	<u>582,5</u> 167,7	<u>563</u> 80,4	<u>579,8</u> 278,8

Т а б л и ц а 9

**Баланс P_2O_5 (в числителе) и K_2O (в знаменателе) при бессменном
возделывании ячменя и овса (1987—1992 гг.)**

Статья баланса	Ячмень				Овес	
	без удобре- ний	НРК	НРК + ПС	НРК + ПС + С	без удобре- ний	НРК
Поступление:						
с удобрениями	—	<u>720</u> 624	<u>720</u> 624	<u>720</u> 624	—	<u>720</u> 624
с семенами	<u>10,8</u> 9,8	<u>10,8</u> 9,8	<u>10,8</u> 9,8	<u>10,8</u> 9,8	<u>11,1</u> 6,8	<u>11,1</u> 6,8
с осадками	<u>1,8</u> 30	<u>1,8</u> 30	<u>1,8</u> 30	<u>1,8</u> 30	<u>1,8</u> 30	<u>1,8</u> 30
Всего	<u>126</u> 39,8	<u>732,6</u> 663,8	<u>732,6</u> 663,8	<u>732,6</u> 663,8	<u>12,9</u> 36,8	<u>132,9</u> 660,8
Расход:						
хозяйственный вынос	<u>69,9</u>	<u>208,6</u>	<u>209,8</u>	<u>153,3</u>	<u>94,6</u>	<u>162,9</u>
с урожаем	<u>118,4</u>	<u>331,6</u>	<u>446,1</u>	<u>107,7</u>	<u>188,6</u>	<u>365,3</u>
потери со стоком	<u>1,2</u> 8,4	<u>4,8</u> 33,6	<u>4,8</u> 33,6	<u>4,8</u> 33,6	<u>1,2</u> 8,4	<u>4,8</u> 33,6
Всего	<u>71,1</u> <u>126,8</u>	<u>213,4</u> <u>365,2</u>	<u>214,6</u> <u>479,9</u>	<u>158,1</u> <u>141,3</u>	<u>97,6</u> <u>19,7</u>	<u>167,7</u> <u>398,9</u>
Баланс:						
за 6 лет	<u>—58,5</u> —87	<u>520,2</u> 298,4	<u>518</u> 184,1	<u>574</u> 522,5	<u>—84,7</u> —160,1	<u>565,1</u> 261,9
в среднем за год	<u>—9,8</u> —14,5	<u>86,7</u> 49,8	<u>86,3</u> 30,7	<u>95,7</u> 87,1	<u>—14,1</u> —26,7	<u>94,2</u> 43,7

Баланс фосфора, рассчитанный разностным методом, хорошо согласуется с фактическим 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 его выносом достигало 70,1—97,1 кг/га в год, в бессменных посе-

вах ячменя и овса на тех же фонах удобрения — 86,7—94,2 кг/га. Поступление фосфора в почву превышало вынос в 2—3 раза, что создавало условия для накопления его в почве. Низкий процент использования фосфора удобрениями можно связать с его закреплением в почве и высокими нормами внесения, превосходящими вынос (табл. 8).

Из трех изучаемых элементов пи-

тания 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 112,5 т/га в год. Во II севообороте с клевером также был отмечен отрицательный баланс калия — 16,9 т/га.

Применение в севообороте пожнивной сидерации по фону минеральных удобрений позволило получить положительный баланс калия (80,4 кг/га в год). Однако самый высокий положительный баланс оказался при совместном использовании пожнивной горчицы и соломы на удобрение (278,8 кг/га в год).

В бессменных посевах ячменя и овса без применения удобрений баланс калия был отрицательным (— 14,5 и — 26,7 кг/га в год). В то же самое время при запашке пожнивной горчицы в посевах ячменя по фону НРК он оказался положительным (30,7 кг/га), а при совместном применении пожнивной сидерации и удобрения соломой — положительным, но несколько более высоким (87,1 кг/га). При незначительном дефиците калия в I и II севооборотах и в бессменных посевах его возмещение, по-видимому, осуществляется за счет почвенных запасов калия в необменно-поглощенном состоянии.

Использование указанных количеств почвенного калия в течение 1-й и 2-й ротаций севооборота не сказалось отрицательно на плодородии почвы, о чем свидетельствуют данные о содержании запасов обменного калия в почве в начале 1-й и в конце 2-й ротации [7]. В узко-

специализированном зерновом севообороте при удобрении только горчицей, а также соломой совместно с горчицей отмечено ощутимое увеличение содержания обменной формы калия и накопление его как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы (табл. 10).

Дж.У. Кук [4] пришел к выводу, что пополнение запасов калия в почве нельзя откладывать до их полного истощения, так как на истощенной почве нельзя получить максимальный урожай, сколько бы «свежих» калийных туков не вносить. Вот почему с целью поддержания запасов калия в почве для последующих культур Кук рекомендует применять калийные удобрения даже в тех случаях, когда они неэффективны и лишь компенсируют нарастающий дефицит калия в севообороте. Исходя из этого можно предположить, что в 3-й ротации I и II севооборотов для получения максимального урожая окажутся недостаточными применяемые дозы калийных удобрений. Поэтому во избежание истощения почвы в севооборотах с многолетними травами и клевером уровень ежегодного внесения K_2O должен быть увеличен.

Несмотря на большой недостаток общего калия, содержание обменной его формы в течение 2-й ротации не уменьшалось, оставаясь средним и повышенным.

Выводы

1. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в 6-польном севообороте с высоким насыщением зерновыми культурами (83%) при внесении минеральных удобрений на запланированный урожай в течение двух ротаций севооборота скла-

**Изменение содержания питательных веществ (среднее по повторениям)
в пахотном слое почвы за две ротации севооборотов (1980—1992 гг.)**

Характер возделывания	N _{обм} , %		P ₂ O ₅		K ₂ O	
			мг на 100 г почвы			
	начало	конец	начало	конец	начало	конец
Севооборот:						
I — NPK	<u>0,094</u>	<u>0,108</u>	<u>14,7</u>	<u>16,3</u>	<u>16,9</u>	<u>17,5</u>
	0,045	0,064	5,6	9,7	12,4	9,8
II — NPK	<u>0,094</u>	<u>0,100</u>	<u>13,1</u>	<u>13,2</u>	<u>16,1</u>	<u>18,1</u>
	0,047	0,063	6,1	8,3	12,1	11,2
III — NPK	<u>0,099</u>	<u>0,097</u>	<u>13,6</u>	<u>13,7</u>	<u>16,8</u>	<u>17,7</u>
	0,049	0,078	6,3	11,8	12,8	15,9
IV — NPK + ПС	<u>0,099</u>	<u>0,102</u>	<u>13,3</u>	<u>13,5</u>	<u>16,0</u>	<u>18,4</u>
	0,048	0,065	9,4	10,9	11,8	16,4
V — NPK + ПС + С	<u>0,094</u>	<u>0,102</u>	<u>14,2</u>	<u>15,8</u>	<u>15,8</u>	<u>19,6</u>
	0,044	0,076	6,8	10,8	10,8	14,2
Ячмень бессменно:						
I — без удобрений	<u>0,096</u>	<u>0,095</u>	<u>10,9</u>	<u>8,0</u>	<u>14,9</u>	<u>15,5</u>
	0,052	0,060	7,2	5,1	10,8	13,1
2 — NPK	<u>0,105</u>	<u>0,105</u>	<u>10,4</u>	<u>12,6</u>	<u>15,0</u>	<u>19,5</u>
	0,049	0,050	5,5	7,4	9,8	15,1
3 — NPK + ПС	<u>0,104</u>	<u>0,108</u>	<u>15,3</u>	<u>8,0</u>	<u>17,2</u>	<u>19,8</u>
	0,046	0,063	5,3	6,3	9,8	9,1
4 — NPK + ПС + С	<u>0,092</u>	<u>0,107</u>	<u>14,3</u>	<u>11,4</u>	<u>15,7</u>	<u>20,3</u>
	0,057	0,053	5,3	10,3	10,1	14,5
Овес бессменно:						
1 — без удобрений	<u>0,099</u>	<u>0,100</u>	<u>11,3</u>	<u>4,0</u>	<u>14,0</u>	<u>17,5</u>
	0,041	0,065	5,4	2,3	12,3	12,2
2 — NPK	<u>0,095</u>	<u>0,105</u>	<u>12,3</u>	<u>8,0</u>	<u>16,8</u>	<u>17,8</u>
	0,049	0,098	4,9	5,7	10,5	15,4

дывался устойчивый положительный баланс азота, фосфора и калия.

2. При запашке зеленой массы поживной горчицы в чистом виде и

в сочетании с соломой в течение двух ротаций зернового севооборота происходило улучшение баланса азота, фосфора и калия.

3. В 6-польном плодосменном севообороте с двумя полями многолетних трав (50% зерновых) и в севообороте с клевером (67% зерновых) при одном и том же уровне минеральных удобрений складывался отрицательный баланс калия. Для устранения его дефицита в этих севооборотах необходимо пересмотреть дозы ежегодного внесения калия под многолетние травы и кукурузу, которые являются основными потребителями этого элемента в севообороте.

4. Урожайность ячменя в среднем за 1987—1992 гг. при увеличении доли зерновых в севообороте с 50 до 83% снизилась на 6,7 ц/га, или на 17,1%. Включение в севооборот пожнивного зеленого удобрения в чистом виде и в сочетании с удобрением соломой повышало урожайность ячменя в среднем на 3,7 и 4,0 ц/га, или 11,4 и 12,3%. Однако наибольшую урожайность — 39,2 ц/га — обеспечивал плодосменный севооборот. В бессменных посевах урожайность ячменя и овса в вариантах без удобрений оказалась самой низкой — 11,0 и 15,9 ц/га. Отмечен эффект последнего действия зеленого удобрения (пожнивная горчица в чистом виде и в сочетании с удобрением соломой) в посевах озимой пшеницы и озимой ржи: прибавка урожая зерна составила соответственно 4,4—3,8 и 3,6—6,2 ц/га. Устойчивое повышение урожайности озимых культур после 12-летнего выращивания сидератов связано с аккумулятивным эффектом зеленого удобрения.

5. По выходу кормовых и зерновых единиц зерновой севооборот уступает плодосмену, но с учетом того, что при запашке пожнивного

сидерата он позволяет решить задачу первостепенной важности — значительно увеличить производство зерна — такой севооборот может быть использован при зерновой специализации земледелия на среднекультуренных дерново-подзолистых почвах Центрального района Нечерноземной зоны РФ.

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. Гаджибрагимов З.А. Влияние пожнивного зеленого удобрения на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность специализированных зерновых севооборотов. — Автореф. канд. дис. М., 1989. — 3. 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. — 4. Кук Дж. У. Регулирование плодородия почв. М.: Колос, 1970. — 5. Лигум С.Г. Балансовый коэффициент использования растениями питательных веществ из удобрений и почвы и его применение. — *Агрохимия*, 1977, № 5, с. 128—133. — 6. Лошаков В.Г., Иванова С.Ф. Баланс питательных веществ в специализированных зерновых севооборотах и при бессменном возделывании зернофуражных культур. — *Изв. ТСХА*, 1989, вып. 5, с. 17—27. — 7. Лошаков В.Г., Франк Элмер, Иванова С.Ф., Синих Ю.Н. Изменение некоторых показателей плодородия дерново-подзолистой почвы в специализирован-

ных зерновых севооборотах и при бессменном возделывании зернофуражных культур с использованием поживного сидерата и соломы в качестве удобрения. — Изв. ТСХА, 1995, вып. 1, с. 3—15. — 8. *Михновский В.К.* Баланс питательных веществ и основные статьи прихода и расхода в земледелии области. — В кн.: Почвы Московской области. М.: Колос, 1974. — 9. *Макаров Б.Н., Макаров Н.Б.* Газообразные потери азота почвы и удобрений. — Агрохимия, 1976, № 12, с. 120—130. — 10. *Никитишен В.И., Никитишена И.А., Торина Е.С.* Баланс питательных веществ в земледелии Нечерноземной зоны РСФСР. — Агрохимия, 1977, № 1, с. 63—68. — 11. *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. — 12. *Смирнов П.М., Кидин В.В., Торин С.П.* Влияние почвенного плодородия на газообразные потери азота из почвы и удобрений. — Почвоведение, 1981, № 11, с. 99—107. — 13.

Трепачев Е.П. О методике исследований азотного баланса почвы в длительных опытах. — Почвоведение, № 3, с. 1976, с. 137—149. — 14. *Шатилов И.С., Замираев А.Г., Чаповская Г.В.* Химический состав атмосферных осадков и поверхностно стекаемых вод. — Докл. ВАСХНИЛ, 1977, № 6, с. 1—3. — 15. *Шатилов И.С., Замираев А.Г., Чаповская Г.В.* Баланс элементов минерального питания в севообороте на суглинистой дерново-подзолистой почве. — Вестн. с.-х. науки, 1980, с. 41—51. — 16. *Шиян П.Н., Черепанов В.П., Якименко В.Н.* Изучение размеров симбиотической фиксации азота клевером и горохом. — Агрохимия, 1980, № 3, с. 12—17. — 17. *Юрко Е.П.* Потери азота из почвы с нисходящими токами. — Агрохимия, 1980, № 4, с. 15—20. — 18. Bestimmung von Cesamt-Stickstoff nach Kjeldahl. Methoden Buch I, 1991, S. 1—10. — 19. Bestimmung von Phosphor und Kalium im Doppellaetat (DL)-Auszug. Methoden. Buch I, 1991, S. 1—12.

Статья поступила 13 ноября 1995 г.

SUMMARY

The data are presented, about long-term effect of different rotations of grain-forage crops, cultivation of barley and oats as monocultures using afterharvest green manure both in the pure state and in combination with fertilizing with straw on the balance of nitrogen, phosphorus and potassium in medium loamy soddy-podzolic soils of Moscow region at medium level of cultivation. It has been found that in specialized grain crop 6-course rotations (83% of grain crops) application of mineral fertilizers on the planned grain yield basis (40—50 centners/ha) with afterharvest green manuring provides stable positive balance of the main nutrient substances, while in field crop rotation with 50% of grain crops and in rotation with 67% of grain crops without afterharvest green manure on the same background of mineral nutrition the balance of potassium was negative.