

УДК 631.582:[631.811+631.454

## БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ИНТЕНСИВНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ СЕВООБОРОТАХ

В. Г. ЛОШАКОВ, Ю. Д. ИВАНОВ, С. Ф. ИВАНОВА

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Дальнейшее совершенствование системы удобрения в севооборотах и правильное их применение возможны на основе данных о балансе питательных веществ в почве. Изучением этого вопроса занимаются многие исследователи в различных почвенно-климатических зонах страны [1, 3, 5, 6, 9, 10, 14]. Необходимость в этом возрастает в связи с химизацией земледелия и освоением специализированных севооборотов. Мы изучали баланс питательных веществ наряду с другими вопросами — балансом органического вещества и влаги, засоренностью, распространением вредителей и болезней и пр.

### Условия и методика проведения опытов

Работа проводилась в стационарном полевом опыте со специализированными зерновыми севооборотами, заложенном в 1968 г. в учебно-опытном хозяйстве Тимирязевской академии «Михайловское» Подольского района Московской области.

Почва дерново-слабоподзолистая, среднесуглинистая слабоокультуренная, произвесткованная. Содержание гумуса в пахотном слое (0—20 см) — 1,62%; подвижных фосфора по Кирсанову — 3,2 мг и калия по Масловой — 6,9 мг на 100 г сухой почвы; гидролитическая кислотность — 3,52 мэкв; обменная — 0,12 мэкв; сумма поглощенных оснований — 10,3 мэкв на 100 г почвы;  $pH_{\text{соль}}$  — 5,5, а на 4-й год после известкования (1972) — 6,2—6,4.

С 1973 г. испытывали пять различных севооборотов: 1-й (контроль) с 50% зерновых — плодосменный восьмипольный: многолетние травы — многолетние травы — озимая пшеница — овес — картофель — кукуруза — озимая пшеница — ячмень + травы; 2-й с 75% зерновых — зерновой с клевером четырехпольный: клевер — озимая пшеница — овес — ячмень + клевер; 3-й со 100% зерновых — зерновой четырехпольный: ячмень — озимая пшеница — овес — ячмень; 4-й с 60% зерновых — зерно-травяной пятипольный: многолетние травы — многолетние травы — озимая пшеница — овес — ячмень + травы; 5-й с 33% зерновых — пропашной трехпольный: картофель — кукуруза — озимая пшеница.

Дозы удобрений рассчитывали с учетом почвенного плодородия на следующие урожай (ц/га): озимой пшеницы — 50, ячменя и овса (зерна) — 40, картофеля (клубней) — 250, кукурузы (зеленая масса) — 400, многолетних трав (сена) — 50. Под озимую пшеницу вносили  $N_{200}P_{160}K_{120}$ , ячмень и овес —  $N_{96}P_{120}K_{104}$ , картофель — 30 т навоза на 1 га +  $N_{110}P_{110}K_{160}$ , под кукурузу — 30 т навоза на 1 га +  $N_{134}P_{89}K_{12}$ , под многолетние травы —  $N_{74}P_{70}K_{96}$ . Минеральный азот под озимую пшеницу

вносили дробно в 3 срока: 25% — при посеве, 50% — в подкормку весной и 25% — в фазу колошения; под остальные культуры — весной при посеве и в подкормку для многолетних трав.

В посевах применяли следующие гербициды (по д. в. на 1 га): на участках озимой пшеницы, овса, кукурузы, ячменя без подсева трав — смеси аминной соли 2,4-Д с банвелом Д в соотношении 10 : 1 или 0,8+0,08 кг; ячменя с подсевом многолетних бобовых трав — 2М-4Х из расчета 0,8 кг; картофеля — линурон по 2,5—3 кг. Обработку посевов зерновых гербицидами проводили в фазу кушения до выхода в трубку, кукурузы — при 3—4 листьях на растении, картофеля — до появления всходов.

Агротехника культур была общепринятой для хозяйств Московской и других центральных областей нечерноземной зоны.

С 1972 г. сорта культур были заменены, и в опыте стали возделывать озимую пшеницу Мироновскую 808: ячмень Московский 121; овес Орел, а с 1974 г. — Геркулес; картофель Лорх; кукурузу гибрид Буковинский 3; клевер Московский 1 и люцерну Северную гибридную.

Опыт поставлен в 4-кратной повторности, площадь делянок 210 м<sup>2</sup>, размещение их в четыре яруса рендомизированное, а в одной повторности — систематическое. Урожай культур учитывали сплошным методом, соломы — методом пробных снопов на метровых площадках. В растениях (основной и побочной продукции) после мокрого озоления, проведенного по методу Гинзбург-Щегловой — Вульфюис, определяли содержание азота по Кьельдалю, фосфора — колориметрически по Дениже, калия — на пламенном фотометре. Таким же образом анализировали и семена. Общий азот в навозе определяли по Иодльбауэру, а фосфор и калий — общепринятыми методами. Химический анализ урожая культур, семян и навоза проводили ежегодно. Данные об урожае обрабатывали дисперсионным методом.

### Результаты и их обсуждение

Ведущей статьёй в расходной части баланса питательных веществ в системе почва — растение является хозяйственный вынос их с урожаем, который, в свою очередь, зависит от урожайности культуры и содержания в единице основной и побочной продукции элементов питания. Значительное влияние на уровень урожайности возделываемых культур оказывают метеорологические условия и сама агротехника, включая и севооборот.

Результаты четырехлетних исследований (1974—1977) показали, что урожайность зерновых культур мало изменялась при увеличении их доли в севообороте с 33 до 75% на фоне расчетных доз удобрений и химической прополки (табл. 1). Из трех зерновых культур наиболее устойчивым к высокому насыщению севооборота зерновыми оказался яровой ячмень. Его урожайность в севооборотах колебалась от 28,2 до 35,0 ц/га, причем в чисто зерновом севообороте при размещении по овсу она была даже несколько выше, чем по озимой пшенице в других севооборотах (табл. 1). При увеличении в севообороте площади под зерновыми с 75 до 100% урожайность озимой пшеницы и овса снижалась, при этом у первой культуры в большей степени. Несколько меньшая урожайность пшеницы в среднем за 1974—1977 гг. в зернотравяном севообороте с 60% зерновых по сравнению с урожайностью в плодосменном, пропашном и зерновом с клевером объясняется довольно низким ее урожаем (23,3 ц/га) в этом севообороте в 1974 г. из-за большего количества проволочника в пахотном слое почвы вследствие обилия осадков осенью 1973 г. и изреженности всходов. В последующие годы после обработки семян и почвы препаратом ТМТД урожайность в зернотравяном не уступала полученной в названных выше трех севооборотах.

## Урожайность культур в специализированных севооборотах в 1974—1977 гг. (ц/га)

Культуры и их чередование	1974	1975	1976	1977	В среднем за 4 года
Севооборот 1, 50% зерновых					
Многолетние травы 1-го года пользования	132,0	96,8	87,1	50,5	91,6
Многолетние травы 2-го года пользования	71,3	78,7	86,3	79,8	79,0
Оз. пшеница	37,9	44,8	43,9	44,2	42,7
Овес	29,8	17,2	29,6	31,2	27,0
Картофель	119	420	115	266	230
Кукуруза	199	511	247	446	351
Оз. пшеница	37,6	44,9	46,1	53,4	45,4
Ячмень+травы	37,0	23,5	30,7	38,8	32,5
Севооборот 2, 75% зерновых					
Клевер	70,6	59,3	91,6	53,6	68,8
Оз. пшеница	37,4	43,3	42,6	43,9	41,8
Овес	27,1	17,2	29,7	31,0	26,3
Ячмень+клевер	37,4	25,4	30,5	34,5	32,0
Севооборот 3, 100% зерновых					
Ячмень	39,6	20,3	24,4	28,5	28,2
Оз. пшеница	37,5	36,5	26,9	36,7	34,4
Овес	24,9	14,8	26,3	28,9	23,7
Ячмень	39,8	27,7	28,8	43,5	35,0
Севооборот 4, 60% зерновых					
Многолетние травы 1-го года пользования	128,6	97,2	88,5	51,0	91,3
Многолетние травы 2-го года пользования	76,6	74,6	93,9	78,7	81,0
Оз. пшеница	23,3	42,7	43,1	43,3	38,1
Овес	29,2	19,3	30,9	33,4	28,2
Ячмень+травы	35,8	28,7	28,9	37,6	32,8
Севооборот 5, 33% зерновых					
Картофель	122	421	112	262	229
Кукуруза	231	550	331	455	392
Оз. пшеница	42,6	46,4	40,6	49,9	44,9
НСП <sub>05</sub>					
Оз. пшеница	—	—	—	—	3,1
Ячмень	—	—	—	—	6,2
Овес	—	—	—	—	2,0

Таким образом, озимую пшеницу и овес можно возделывать в специализированных севооборотах, в которых площадь под зерновыми колосовыми не превышает 75%, а остальная занята клевером. Ячмень дает хорошие урожаи даже при более высоком насыщении зерновыми, если внесено достаточное количество удобрений и проведена химическая прополка сорняков.

Урожайность других культур (многолетних трав, картофеля, кукурузы) на высоком агрофоне при расширении в севообороте площади под ними с 12—25% до 33—40% также практически не изменялась, несколько больший урожай зеленой массы кукурузы за 4 года получен в пропашном севообороте, в котором ежегодно вносили на 1 га пашни в среднем 20 т навоза, в то время как в плодосмене — 7,5 т. Урожай побочной продукции (соломы) у зерновых культур зависел от сбора зер-

## Урожай побочной продукции культур в специализированных севооборотах в 1974—1977 гг. (ц/га)

Культуры и их чередование	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	В среднем за 4 года
Севооборот 1, 50% зерновых					
Многолетние травы 1-го года пользования	—	—	—	—	—
Многолетние травы 2-го года пользования	—	—	—	—	—
Оз. пшеница	60,6	52,5	77,6	75,0	66,4
Овес	21,5	13,7	69,0	92,0	49,1
Картофель	—	—	—	—	—
Кукуруза	—	—	—	—	—
Оз. пшеница	60,6	57,0	96,1	82,5	74,1
Ячмень+травы	52,8	35,3	55,8	63,0	51,7
Севооборот 2, 75% зерновых					
Клевер	—	—	—	—	—
Оз. пшеница	59,8	52,7	75,4	85,0	68,2
Овес	19,6	11,9	60,8	75,8	42,0
Ячмень+клевер	49,8	34,8	60,7	64,0	52,3
Севооборот 3, 100% зерновых					
Ячмень	43,0	25,8	58,8	60,0	46,9
Оз. пшеница	45,0	44,4	64,8	63,5	54,4
Овес	20,8	8,0	52,1	70,0	37,7
Ячмень	55,7	45,0	52,2	80,0	58,2
Севооборот 4, 60% зерновых					
Многолетние травы 1-го года пользования	—	—	—	—	—
Многолетние травы 2-го года пользования	—	—	—	—	—
Оз. пшеница	43,3	50,7	81,5	71,2	61,7
Овес	24,2	16,5	74,0	91,0	51,4
Ячмень+травы	49,8	31,8	59,0	75,0	53,9
Севооборот 5, 33% зерновых					
Картофель	—	—	—	—	—
Кукуруза	—	—	—	—	—
Оз. пшеница	62,8	56,0	88,6	84,5	73,0

на. В севообороте с одними зерновыми при меньших урожаях зерна озимой пшеницы и овса были ниже и урожаи соломы (табл. 2).

У многолетних бобовых трав (смеси клевера с люцерной в севооборотах 1 и 4 и клевера в севообороте 2) по озимой пшенице при высоких урожаях даже при расчетных дозах удобрений заметно повышался процент азота в сухом веществе зерна и соломы по сравнению с этим показателем у трав по ячменю (табл. 3). Высоким содержанием азота в зерне и соломе характеризовалась и озимая пшеница, возделываемая в пропашном севообороте 5, где под кукурузу и картофель, кроме минеральных удобрений, вносили ежегодно по 30 т навоза на 1 га. Здесь озимая пшеница, высеваемая по кукурузе, по содержанию азота в сухом веществе зерна и соломы не уступала пшенице по многолетним травам (табл. 3). Содержание азота в основной продукции остальных культур в зависимости от севооборота изменялось мало. Большой его уровень в клубнях картофеля в 1976 г. и в сене многолетних трав 2-го года пользования в 1977 г. в плодосменном севообороте 1 объясняется тем, что здесь было меньше товарных клубней и выше засоренность злаками.

Содержание азота в основной и побочной продукции культур  
в специализированных севооборотах в 1974—1977 гг. (% на сухое вещество)

Культуры и их чередование	Основная продукция				Побочная продукция			
	1974	1975	1976	1977	1974	1975	1976	1977
Севооборот 1, 50% зерновых								
Многолетние травы 1-го года поль- зования	2,82	2,95	2,94	2,91	—	—	—	—
Многолетние травы 2-го года поль- зования	2,86	3,00	3,36	3,44	—	—	—	—
Оз. пшеница	2,64	2,50	2,66	2,66	0,68	0,77	0,84	0,68
Овес	2,38	2,25	2,18	2,29	0,72	0,77	0,89	0,60
Картофель	1,67	1,67	1,78	1,25	—	—	—	—
Кукуруза	1,55	2,09	2,29	2,38	—	—	—	—
Оз. пшеница	2,62	2,50	2,55	2,66	0,51	0,70	0,84	0,63
Ячмень+травы	2,17	2,29	2,17	2,21	0,64	0,70	0,61	0,62
Севооборот 2, 75% зерновых								
Клевер	2,81	2,91	3,06	2,95	—	—	—	—
Оз. пшеница	2,57	2,43	2,61	2,66	0,57	0,70	0,87	0,60
Овес	2,26	2,25	2,28	2,29	0,72	0,83	0,89	0,63
Ячмень+клевер	2,17	2,33	2,17	2,11	0,65	0,70	0,61	0,60
Севооборот 3, 100% зерновых								
Ячмень	2,02	2,13	2,02	2,09	0,56	0,62	0,55	0,62
Оз. пшеница	2,57	2,43	2,55	2,57	0,65	0,68	0,61	0,57
Овес	2,26	2,22	2,18	2,21	0,67	0,77	0,61	0,70
Ячмень	2,01	2,17	2,01	2,13	0,59	0,62	0,55	0,55
Севооборот 4, 60% зерновых								
Многолетние травы 1-го года поль- зования	2,86	2,97	3,11	2,91	—	—	—	—
Многолетние травы 2-го года поль- зования	2,83	3,02	3,33	2,95	—	—	—	—
Оз. пшеница	2,64	2,43	2,54	2,66	0,65	0,62	0,78	0,60
Овес	2,38	2,25	2,22	2,29	0,84	0,83	0,84	0,70
Ячмень+травы	2,17	2,29	2,17	2,29	0,69	0,70	0,66	0,65
Севооборот 5, 33% зерновых								
Картофель	1,67	1,71	1,53	1,32	—	—	—	—
Кукуруза	1,55	2,09	2,33	2,33	—	—	—	—
Оз. пшеница	2,57	2,50	2,61	2,70	0,56	0,77	0,84	0,66

Содержание фосфора ( $P_2O_5$ ), как и азота, в зерне и соломе зерновых, особенно озимой пшеницы и овса за 2 последних года, было заметно ниже в зерновом севообороте. В пропашном севообороте 5 у кукурузы и картофеля фосфора в сухом веществе накапливалось несколько больше, чем в плодосменном, где на 1 га вносили меньше удобрений (табл. 4).

Содержание азота, фосфора и калия в сухом веществе продукции, основной и побочной, особенно полученной в севообороте с одними зерновыми, было ниже (табл. 5). В пропашном севообороте в последние 2 года содержание калия в клубнях картофеля, а также в зеленой массе кукурузы оказалось более высоким, чем при выращивании в плодосмене. Различия по этому показателю между многолетними бобовыми травами в разных севооборотах в отдельные годы обуславливались неодинаковым количеством злакового разнотравья в укосах.

Содержание фосфора ( $P_2O_5$ ) в основной и побочной продукции культур в специализированных севооборотах в 1974—1977 гг. (% на сухое вещество)

Культуры и их чередование	Основная продукция				Побочная продукция			
	1974	1975	1976	1977	1974	1975	1976	1977
Севооборот 1, 50% зерновых								
Многолетние травы 1-го года пользования	0,64	0,67	0,75	1,08	—	—	—	—
Многолетние травы 2-го года пользования	0,81	0,71	0,75	0,91	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,75	0,81	0,89	0,78	0,20	0,29	0,36	0,33
Овес	0,86	0,93	0,94	0,90	0,53	0,55	0,55	0,46
Картофель	0,48	0,50	0,49	0,52	—	—	—	—
Кукуруза	0,65	0,61	0,63	0,58	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,85	0,74	0,83	0,78	0,21	0,35	0,34	0,29
Ячмень+травы	1,07	0,84	1,07	1,00	0,25	0,34	0,34	0,35
Севооборот 2, 75% зерновых								
Клевер	0,64	0,71	0,75	1,00	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,85	0,74	0,80	0,82	0,20	0,29	0,32	0,36
Овес	0,84	0,93	0,90	0,90	0,54	0,45	0,60	0,47
Ячмень+клевер	1,07	0,84	1,07	0,96	0,29	0,29	0,36	0,33
Севооборот 3, 100% зерновых								
Ячмень	1,03	0,84	1,03	0,96	0,25	0,27	0,32	0,30
Оз. пшеница	0,85	0,70	0,79	0,71	0,20	0,29	0,21	0,28
Овес	0,97	0,90	0,84	0,82	0,53	0,46	0,49	0,42
Ячмень	1,03	0,90	1,03	1,09	0,25	0,27	0,32	0,30
Севооборот 4, 60% зерновых								
Многолетние травы 1-го года пользования	0,64	0,70	0,75	0,73	—	—	—	—
Многолетние травы 2-го года пользования	0,85	0,70	0,75	0,73	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,75	0,73	0,89	0,82	0,20	0,34	0,34	0,33
Овес	0,98	0,94	0,96	0,94	0,56	0,55	0,54	0,49
Ячмень+травы	1,15	0,90	1,15	1,00	0,31	0,29	0,36	0,35
Севооборот 5, 33% зерновых								
Картофель	0,48	0,52	0,49	0,56	—	—	—	—
Кукуруза	0,69	0,63	0,70	0,65	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,86	0,73	0,89	0,78	0,22	0,34	0,35	0,33

Хозяйственный вынос азота с урожаем в севооборотах в среднем за год составлял 98—174 кг/га, причем наименьшим он был в севообороте с одними зерновыми, а наибольшим — в зернотравяном (табл. 6). Поскольку в хозяйственный вынос азота урожаями в севооборотах с многолетними бобовыми травами входит симбиотически связанный азот атмосферы, количество фактически потребленного из почвы и удобрений азота будет меньше. В наших условиях с учетом этой статьи прихода азота вынос данного элемента урожаями из почвы и удобрений в среднем за год в севооборотах с бобовыми травами составлял: в 1-м — 80,8, во 2-м — 66,0, в 4-м — 49,6 кг/га.

Вынос фосфора урожаями в меньшей степени зависел от севооборота и площади в нем зерновых культур, чем вынос азота, и колебался от 43 до 56 кг/га за год. Меньший вынос фосфора урожаями в чисто зер-

новом севообороте связан со значительно более низкими урожаями озимой пшеницы, а также овса.

Вынос калия урожаями занимал среднее положение между выносами азота и фосфора и составлял в среднем за год в зависимости от севооборота 68—102 кг/га. При замене в севообороте пропашных культур (картофеля, кукурузы) и многолетних бобовых трав зерновыми колосовыми (озимой пшеницей, овсом, ячменем) вынос калия с урожаями заметно снижался (табл. 6). Соотношение азота, фосфора и калия в общем выносе питательных веществ с урожаями в севооборотах изменялось соответственно от 2,3 : 1 : 1,6 до 3,0 : 1 : 2,3, причем наиболее узким оно оказалось в чисто зерновом севообороте 3, а самым широким — в пропашном севообороте 5.

При расчетах баланса азота в севооборотах учитывали все возможные статьи его прихода и расхода. В приходную часть баланса включали

Таблица 5

Содержание калия ( $K_2O$ ) в основной и побочной продукции культур в специализированных севооборотах в 1974—1977 гг. (% на сухое вещество)

Культуры и их чередование	Основная продукция				Побочная продукция			
	1974	1975	1976	1977	1974	1975	1976	1977
Севооборот 1, 50% зерновых								
Многолетние травы								
1-го года пользования	1,07	0,99	2,00	1,58	—	—	—	—
Многолетние травы								
2-го года пользования	1,02	0,98	1,91	2,41	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,58	0,58	0,53	0,50	1,15	0,89	1,01	0,96
Овес	0,47	0,51	0,53	0,45	1,67	1,93	1,33	1,67
Картофель	1,62	1,55	1,54	1,80	—	—	—	—
Кукуруза	1,18	1,41	2,07	1,57	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,52	0,58	0,50	0,55	1,15	0,89	1,17	1,00
Ячмень+травы	0,58	0,50	0,58	0,60	1,05	1,11	1,17	1,14
Севооборот 2, 75% зерновых								
Клевер	1,16	1,04	1,95	1,58	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,56	0,58	0,58	0,50	1,15	0,86	1,00	0,95
Овес	0,47	0,53	0,53	0,50	1,67	1,93	1,42	1,58
Ячмень+клевер	0,53	0,50	0,53	0,60	1,04	0,93	1,01	1,05
Севооборот 3, 100% зерновых								
Ячмень	0,53	0,45	0,53	0,55	0,96	0,82	1,00	1,00
Оз. пшеница	0,59	0,54	0,50	0,50	1,02	0,86	0,91	0,95
Овес	0,46	0,51	0,53	0,40	1,65	1,93	1,33	1,50
Ячмень	0,53	0,45	0,53	0,60	1,00	0,93	1,00	1,05
Севооборот 4, 60% зерновых								
Многолетние травы								
1-го года пользования	1,01	1,00	1,95	2,19	—	—	—	—
Многолетние травы								
2-го года пользования	1,04	1,04	1,91	2,19	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,58	0,54	0,53	0,50	1,12	0,89	1,00	1,00
Овес	0,44	0,53	0,53	0,55	1,75	1,93	1,25	1,67
Ячмень+травы	0,53	0,50	0,53	0,60	1,11	0,93	1,20	1,09
Севооборот 5, 33% зерновых								
Картофель	1,62	1,55	1,63	1,96	—	—	—	—
Кукуруза	1,14	1,41	2,38	1,57	—	—	—	—
Оз. пшеница	0,53	0,58	0,53	0,55	1,15	0,89	1,00	1,09

ли поступление азота с удобрениями, семенами, осадками, биологическую его фиксацию бобовыми культурами и свободноживущими почвенными микроорганизмами; в расходную — хозяйственный вынос азота с урожаями, газообразные его потери из удобрений и потери с инфильтрующимися и стоковыми водами.

Важной статьей в приходной части баланса является поступление азота с удобрениями. По данным наших исследований, в опытных севооборотах оно равнялось 466—1224 кг/га за ротацию в зависимости от состава культур (табл. 7). Приход азота с семенами был небольшим — от 19 до 39 кг/га за ротацию в разных севооборотах. Незначительной статьей прихода является, как показали опыты И. С. Шатилова с сотрудниками [15, 16], поступление азота с осадками и фиксация его свободноживущими почвенными микроорганизмами, которая была рассчитана на основании данных о поступлении растительных остатков в почву после уборки культур в севооборотах, содержания в них клетчатки и других углеводов, интенсивности их разложения в почве и затрат энергии при микробиологических процессах [2, 13].

Т а б л и ц а 6

Вынос азота, фосфора и калия с урожаем возделываемых культур в специализированных севооборотах в среднем за 1974—1977 гг. (кг/га)

Севообороты	За ротацию			В среднем за 1 год		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1-й — 50% зерновых	1257,3	404,5	784,9	157,2	50,6	98,1
2-й — 75% »	525,6	200,4	341,7	131,4	50,1	85,4
3-й — 100% »	390,1	171,5	273,6	97,5	42,9	68,4
4-й — 60% »	869,4	281,0	508,3	173,9	56,2	101,7
5-й — 33% »	393,5	130,9	295,4	131,2	43,6	98,5

Большую роль в обогащении почвы азотом, а следовательно, и в улучшении азотного питания растений играют бобовые культуры, особенно многолетние травы — люцерна, клевер и др.

Среднегодовая симбиотическая фиксация азота бобовыми культурами в опытах Почвенного института им. В. В. Докучаева составляла для люцерны 299 кг/га, люпина многолетнего — 242, смеси трех клеверов — 230, клевера красного — 149, донника — 153, клеверо-тимофеечной смеси — 163 кг/га [7]. Таким образом, размер возможной фиксации азота воздуха зависит от вида бобового растения, причем не умаляется значение условий развития посева.

В нашем опыте биологическая фиксация азота клевером при урожайности сена 69 ц/га в зерновом севообороте, рассчитанная методом сравнения [12], составила 262 кг/га в год, а смесью клевера с люцерной 1—2-го годов пользования при сборах сена 79 и 92 ц/га в плодосменном и зернотравяном севооборотах — соответственно 295 и 323 кг/га (табл. 7). Это значительная статья в приходной части азотного баланса.

Хозяйственный вынос азота с урожаем за ротацию севооборотов колебался в пределах 390—1257 кг/га (табл. 7).

Газообразные потери азота из удобрений и почвы для пропашных культур составляют, по литературным данным [1], 15% суммы всех статей прихода и для зерновых и трав — 10%, инфильтрация азота с водами под культурами в севооборотах — 1%, а потери со стоковыми водами для многолетних трав — 3 кг/га, озимой пшеницы — 5, яровых зерновых — 8, пропашных — 15 кг/га в год.



Таблица 7

**Баланс азота в специализированных севооборотах за ротацию  
по данным 1974—1977 гг. (кг/га)**

Показатели	Севооборот				
	1	2	3	4	5
<b>Поступление</b>					
с удобрениями	1224	466	488	540	684
с семенами	39	20	25	20	19
с осадками	72	36	36	45	27
биологическая фиксация бобовыми культурами	611	262	—	621	—
азотфиксация почвенными микроорганизмами	65	32	23	46	18
<b>всего</b>	<b>2011</b>	<b>816</b>	<b>572</b>	<b>1272</b>	<b>748</b>
<b>Расход</b>					
хозяйственный вынос с урожаем	1257	526	390	869	394
газообразные потери из удобрений и почвы	335	119	82	157	134
потери с инфильтрующимися водами	20	8	6	13	8
потери со стоковыми водами	62	24	29	27	35
<b>всего</b>	<b>1674</b>	<b>677</b>	<b>507</b>	<b>1066</b>	<b>571</b>
<b>Баланс</b>					
по севообороту	337	139	65	206	177
в среднем за 1 год	42	35	16	41	59
<b>Изменение содержания общего азота в почве*</b>					
за ротацию	141	70	0	132	26
в среднем за 1 год	18	18	0	26	9

\* По данным исследований 1973 и 1976 гг., при расчетах масса пахотного слоя принята равной 2640 тыс. кг

Хозяйственный баланс азота в опытных севооборотах в 1974—1977 гг. при принятой в них системе удобрения был везде положительным (табл. 7). Это обеспечило положительный почвенный баланс азота в плодосменном, зерновом с клевером, зернотравяном и в пропашном севооборотах и уравновешенный — в чисто зерновом. Следовательно, система удобрения в расчете на запланированный урожай культур, учитывающая наличие усвояемого азота в почве, позволяет поддерживать

Таблица 8

**Баланс фосфора ( $P_2O_5$ ) в специализированных севооборотах  
за ротацию по данным 1974—1977 гг. (кг/га)**

Показатели	Севооборот				
	1	2	3	4	5
<b>Поступление</b>					
с удобрениями	1043	470	520	540	503
с семенами	14	8	10	8	6
с осадками	2	1	1	2	1
<b>всего</b>	<b>1059</b>	<b>479</b>	<b>531</b>	<b>550</b>	<b>510</b>
<b>Расход</b>					
хозяйственный вынос с урожаем	405	200	172	281	131
потери со стоковыми водами	6	3	3	4	2
<b>всего</b>	<b>411</b>	<b>203</b>	<b>175</b>	<b>285</b>	<b>133</b>
<b>Баланс</b>					
по севообороту	648	276	356	265	377
в среднем за 1 год	81	69	89	53	126

в специализированных севооборотах бездефицитный и положительный хозяйственный и почвенный балансы азота. Для обеспечения положительного почвенного баланса в чисто зерновом севообороте дозу минерального азота следует увеличить на 15—20%.

При определении баланса фосфора ( $P_2O_5$ ) в севооборотах учитывали поступление его с удобрениями, семенами и осадками, а также вынос с урожаями и потери со стоковыми водами.

По данным полевых опытов И. С. Шатилова с сотрудниками [15], приход фосфора ( $P_2O_5$ ) в почву с осадками составляет 0,3 кг/га, а калия ( $K_2O$ ) — 5,0 кг/га в год, в то же время потери с водой при стоке — соответственно 0,8 и 5,6 кг/га в год. Мы использовали эти данные, поскольку в нашем опыте указанные статьи баланса не учитывались.

Хозяйственный баланс фосфора в специализированных севооборотах везде складывался положительно (табл. 8). Это позволило увеличить обеспеченность пахотного слоя почвы в севооборотах на 5-й год их ведения (1973) от низкой до средней и повышенной, а на 8-й год (1976) — до повышенной и очень высокой. Таким образом, применение расчетных доз удобрений позволило систематически повышать эффективное плодородие почвы. При достижении высокого содержания подвижного фосфора в почве дозы фосфорного удобрения в последующем можно уменьшить и рассчитывать их по выносу с планируемым урожаем культур.

При расчетах баланса калия ( $K_2O$ ) в севооборотах использовали такие же статьи его прихода и расхода, что и при определении баланса фосфора (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Баланс калия ( $K_2O$ ) в специализированных севооборотах за ротацию по данным 1974—1977 гг. (кг/га)

Показатели	Севообороты				
	1	2	3	4	5
Поступление					
с удобрениями	1064	424	432	520	544
с семенами	18	5	6	5	14
с осадками	40	20	20	25	15
всего	1122	449	458	550	573
Расход					
хозяйственный вынос с урожаем	785	342	274	508	295
потери со стоковыми водами	45	22	22	28	17
всего	830	364	296	536	312
Баланс					
по севообороту	292	85	162	14	261
в среднем за 1 год	37	21	41	3	87

Баланс калия во всех севооборотах складывался положительно (табл. 9). Превышение поступления калия над расходом способствовало накоплению его в почве севооборотов, благодаря чему обеспеченность подвижным калием к 1976 г. изменялась от низкой до повышенной и высокой. Так, содержание калия по Масловой в почве севооборотов в 1976 г. колебалось от 22,0 до 29,2 мг на 100 г сухой почвы, причем наибольшим оно было в пропашном севообороте, а наименьшим — в зернотравяном.

Следовательно, в специализированных севооборотах с разной долей зерновых использование доз удобрений, рассчитанных на получение запланированного урожая культур, обеспечивало не только их высокую урожайность, но и систематически повышало содержание питательных элементов в почве.

## Выводы

1. Систематическое применение удобрений (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) в расчете на запланированный урожай в специализированных севооборотах с разным процентом зерновых культур на дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой слабокультуренной почве обеспечивало положительные хозяйственный и почвенный балансы азота, фосфора и калия. Для создания положительного почвенного баланса азота в чисто зерновом севообороте дозу азота следует увеличить на 15—20%.

2. Соотношение азота, фосфора и калия в урожаях культур в севооборотах колебалось от 2,3 : 1 : 1,6 до 3,0 : 1 : 2,3.

3. Увеличение насыщенности севооборота зерновыми культурами с 50 до 75 и 100% его площади при внесении удобрений на запланированный урожай и применении гербицидов мало сказывалось на урожайности ячменя, однако урожайность овса и особенно озимой пшеницы при площади зерновых колосовых более 75% снижалась.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арнаутова Н. И., Саламашенко В. С. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии Рязанской области. «Агрохимия», 1977, № 7, с. 35—39. — 2. Возбудская А. Е., Химия почвы. М., «Высшая школа», 1968. — 3. Воробьев С. А., Иванов Ю. Д. Баланс азота в прифермских севооборотах на дерново-слабоподзолистой почве. «Изв. ТСХА», 1968, вып. 6, с. 43—54. — 4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., «Колос», 1968. — 5. Зубенко В. Ф., Гулковский В. В. Баланс азота, фосфора и калия в севооборотах с зерновыми и кукурузой. «Агрохимия», 1975, № 3, с. 10—18. — 6. Кулаковская Т. Н., Детковская Л. П. Баланс питательных веществ в земледелии БССР. «Химия в сельск. хоз-ве», 1970, № 4, с. 72—77. — 7. Михновский В. К. и др. Роль симбиотической фиксации азота бобовыми растениями в азотном балансе дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. В сб.: Биолог. азот и его роль в земледелии. М., «Наука», 1967, с. 51—79. — 8. Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии. М., «Колос», 1963. — 9. Петербургский А. В., Кудеярова А. Ю. Применение удобрений и баланс питательных веществ в земледелии

ли страны. «Агрохимия», 1977, № 11, с. 18—21. — 10. 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, с. 5—33. — 11. Трепачев Е. П. О методике исследования азотного баланса почвы в длительных опытах. «Почвоведение», 1976, № 3, с. 137—149. — 12. Трепачев Е. П., Атрашкова Н. А., Хабарова А. И. Оценка методов учета симбиотической фиксации азота в растениях. «Докл. ВАСХНИЛ», 1968, № 6, с. 16—18. — 13. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М., «Наука», 1965. — 14. Шапошникова И. М., Листопадов И. Н. Баланс азота, фосфора и калия в интенсивных зерновых севооборотах. «Агрохимия», 1978, № 4, с. 49—52. — 15. Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Химический состав атмосферных осадков и поверхностно стекаемых вод. «Докл. ВАСХНИЛ», 1977, № 6, с. 1—3. — 16. 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.

*Статья поступила 27 июля 1978 г.*

## SUMMARY

In soddy-podzolic soils of Moscow region the balance of nutrient substances in field crop rotations with different portions of grain crops has been studied. A regular application of fertilizers to the crops calculating on the expected yield provided a positive balance of nitrogen, phosphorus and potassium in all the rotations. Fertilizers being applied in accordance with the expected yield, the high percentage of grain crops in the rotation did not much affect the yield of barley, while that of oats and especially of winter wheat was reduced, if the area of grain crops was more than 75%.