

УДК 631.452:631.811

## ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И БАЛАНСА ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Ю.П. ЖУКОВ, С.Н. ШВЫРКИН

(Кафедра агрономической и биологической химии)

**Показана взаимосвязь продуктивности с.-х. культур с агрохимическими показателями почв и балансом питательных элементов на примере хозяйства АО «Назарьево»: степень соответствия (или несоответствия) продуктивности выращиваемых культур плодородию почв при существующей насыщенности посевов удобрениями, мелиорантами и средствами защиты растений в 1986-2003 гг. Приведены расчеты, рекомендации и некоторые результаты по оптимизации доз удобрений с применением балансовых коэффициентов.**

Получение высоких урожаев, соответствующих стандартным качественным показателям и экологически безопасных как для человека, так и для с.-х. животных, является актуальнейшей проблемой современного агропромышленного комплекса.

При растущих потребностях народонаселения создается необходимость отказа от экстенсивных методов земледелия и перехода на интенсивные, наукоемкие и менее энергозатратные методы хозяйствования. Решающую роль в получении более высоких урожаев культур на меньших площадях играет регуляция плодородия почв с помощью удобрений, мелиорантов и средств защиты растений. Множество методов, разработанных на базе различных исследований, к сожалению, не позволяют при достижении желаемой продуктивности с.-х. культур одновременно контролировать содер-

жание в почве питательных и сопутствующих элементов, а также токсичных загрязнителей продукции и окружающей среды.

Метод с использованием балансовых коэффициентов (питательных и токсичных биогенных и абиогенных элементов), дифференцированных в зависимости от средневзвешенных агрохимических показателей почв, в отличие от всех известных расчетно-нормативных методов, позволяет наиболее обоснованно оценить степень соответствия продуктивности культур плодородию почв при существующей насыщенности удобрениями в любом агроценозе [4].

Связи с этим целью наших исследований явилось определение степени соответствия продуктивности культур плодородию почв при существовавшей технологии применения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений в АО

«Назарьево» Одинцовского р-на Московской обл. в периоды между тремя турами агрохимического обследования почв в 1986-2003 гг. по указанной выше методике.

Среднегодовые уровни урожайности культур с учетом структуры посевов и количество применявшихся удобрений, мелиорантов и средств защиты растений определяли по материалам годовых отчетов хозяйства за 1986-2003 гг. Средневзвешенные агрохимические показатели плодородия почв хозяйства определяли по материалам агрохимического обследования пахотных земель хозяйства в 1986, 1990 и 1997 гг., выполненным ГЦАС «Московский», а в 2003 г. — на кафедре агрохимии МСХА.

Наряду с агроэкологическим анализом фактического применения удобрений в хозяйстве в 1986-2003 гг., нами определены возможные уровни урожайности возделываемых культур за исследуемые периоды при оптимальных требованиях к балансу питательных элементов, выраженных в виде балансовых коэффициентов, по которым в 2003 г. рассчитаны оптимальные дозы и соотношения удобрений под многолетние травы и проведен производственный опыт на площади 35 га.

В случаях совпадения результатов баланса фосфора и калия в периоды между турами с датами агрохимического обследования почв рассчитывали нормативы затрат указанных элементов удобрений и почв, вызвавших эти изменения в расчете на 10 мг в 1 кг почвы.

В ходе исследований требовалось провести балансовые расчеты с привлечением описательной и технической документации анализируемого хозяйства, определить оптимальные дозы удобрений под опыт-

ные культуры для получения максимально возможного и выровненного по качеству урожая, оценить токсическую нагрузку на растения и установить ее взаимосвязь с балансом питательных элементов, а также влияние физических факторов и системы обработки почвы на приход и расход элементов питания и разработать программу по снижению потерь или перенасыщению почвенного профиля питательными составляющими.

Расчеты проводили по методу относительных показателей баланса с учетом средневзвешенных агрохимических показателей [4]. По сведениям некоторых окрестных хозяйств данного региона, наиболее острой проблемой является перенасыщенность почв фосфорными и калийными удобрениями при высокой загрязненности тяжелыми металлами и низкой их оструктуренности. При общей средневзвешенной обеспеченности почв фосфором и калием, соответствующей VI классу, ежегодно в период с 1986 по 1998 гг. вносили до 950 кг д.в./га удобрений, из которых 3/4 приходилось на калийные и фосфорные. При ежегодном внесении, например, в ОАО «Малино» под картофель более 400 кг д.в./га РК [10] создается заведомо положительный баланс этих элементов в почве и даже при урожайности картофеля 40 т/га и выносе с 1 т урожая 9,5-9,7 кг РК наблюдается пергобеспеченность данными элементами питания. Обогащение фосфором способствует повышению эффективности азотных и калийных удобрений [5], однако выявление оптимального фосфатного уровня почв — очередная задача агрохимии, так как перефосфачивание почв отрицательно влияет на урожайность и качество

возделываемых культур. При избыточном содержании подвижного фосфора снижается подвижность органических комплексов кальция, магния и железа и на нейтральных почвах образуются нерастворимые маломигрирующие по профилю фосфаты, а на кислых, слабокислых и даже близких к нейтральным почвах — довольно хорошо растворимые гидро- и дигидрофосфаты, что способствует повышению подвижности тяжелых металлов, особенно кадмия, цинка и марганца. В кислой среде в присутствии больших количеств подвижного фосфора закрепляется подвижный алюминий, что является положительным фактором для роста растений.

В 2003 г. нами в АО «Назарьево» был проведен расчет баланса питательных элементов в почве, заложен производственный эксперимент по потреблению азота многолетними травами, а также выполнен сравнительный агроэкологический анализ применения удобрений. Расчет баланса питательных элементов в почвах хозяйства проводили за три периода: 1986-1990 гг., 1991 — 1996 гг., 1997-2003 гг. Были отмечены интересные тенденции изменения почвенного плодородия и продуктивности выращивания культур.

Площадь АО «Назарьево» составляет 238 га, под пашней занято около 100 га, а остальную площадь занимают многолетние травы, сенокосы и пастбища. Направление хозяйства — овощеживотноводческое. В структуре посевов преобладают: многолетние травы, кукуруза на силос, однолетние травы; из овощных — картофель и капуста. Почвы хозяйства дерново-подзолистые, в пониженных участках дерново-подзолистые слабо- и среднеоглеенные, местами слабо- и среднесмытые.

Средневзвешенный класс почв по обеспеченности подвижным фосфором в хозяйстве по состоянию на 2003 г. составляет 6, по обеспеченности обменным калием — 5,9, по обменной кислотности ( $pH_{KCl}$ ) — 5,7. При указанной специализации хозяйства и данном составе выращиваемых культур обеспеченность фосфором и калием должна соответствовать 5-му, а по кислотности — 5,5-6-му классу. По результатам агрохимического обследования 2003 г. средневзвешенное содержание гумуса в почвах составляет 2,83%, содержание серы, марганца, цинка, меди, молибдена соответствует высокому, а кальция и магния — повышенному.

Прирост содержания подвижных форм фосфора и обменного калия отмечен в почвах уже в 80-х гг. XX в. Высокие темпы прироста содержания подвижных форм фосфора и калия с 1986 г. были связаны с запасным внесением высоких доз фосфорных и калийных удобрений (табл. 1). В то же время при достаточно высокой урожайности культур качество производимой продукции по результатам лабораторных испытаний не соответствовало многим показателям ГОСТов и не допускалось к реализации.

Важнейшей причиной превышения содержания в продукции растениеводства некоторых экологически опасных элементов оказался сильный дисбаланс элементов питания и неправильное распределение имеющихся в хозяйстве удобрений в 1986-1990 гг. Внесение в запас калийных и фосфорных удобрений в этот период не способствовало повышению качества получаемого урожая, так как значительную часть запасов питательных элементов растения использовали

Т а б л и ц а 1

**Хозяйственный вынос культурами питательных элементов  
и расчетные показатели баланса в АО «Назарьево», 1986-1990 гг.**

Культура	Средняя урожайность, т/га	Площадь посева, %	Хозяйственный вынос с учетом структуры посевов, кг/га		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Картофель	42,55	10,59	26,13	7,66	36,49
Капуста (белокочанная ранняя и поздняя, краснокочанная, цветная)	105,58	2,02	5,96	1,92	7,45
Кукуруза (на силос и зеленый корм)	55,10	17,14	27,39	8,50	34,00
Многолетние травы (боб./злак.; сено)	5,80	28,07	13,76	5,13	30,60
Многолетние травы (боб./злак.; зелен. корм)	22,54	14,92	28,58	10,76	63,88
Многолетние травы (бобовые; зелен. корм)	21,56	3,78	3,29	2,53	15,57
Однолетние травы (вика-овес, овес, оз. рожь + оз. пшеница)	50,00	7,94	36,45	25,01	86,96
Кормовая свекла	94,20	8,61	21,91	5,68	48,68
Столовая свекла	56,10	1,47	4,13	1,49	6,11
Морковь	72,40	2,39	5,03	2,08	7,11
Корневые овощные (петрушка, редька, редис)	28,48	0,17	0,19	0,05	0,34
Зеленные овощные и прочие (кабачок, тыква, патиссон, укроп, петрушка лист., капуста пекинская)	104,40	0,23	0,95	0,36	1,09
Лук репка	14,80	0,53	0,12	0,10	0,17
Культурные пастбища (злаки)	21,40	2,14	7,34	1,61	10,09
Хозяйственный вынос совокупности культур, кг/га			223,6	87,3	386,9
Ежегодное внесение удобрений, кг д.в./га			255,3	241,7	446,0
Среднегодовая общая обеспеченность удобрениями, кг д.в./га				943,0	
Фактический баланс, кг/га			+31,7	+154,4	+59,1
Фактический балансовый коэффициент, %			87,6	36,1	86,8
Оптимальный балансовый коэффициент, %			100	120	150
Требуется удобрений, кг д.в./га			17,0	5,0	21,5
Сумма требуемых удобрений, кг д.в./га				43,6	
Соотношение питательных элементов в требуемом удобрении				3,4 : 1 : 4,3	
Сумма соотношений питательных элементов в удобрении				8,7	
Отношение общего количества применявшихся удобрений к сумме удобрений, обеспечивающих максимальный урожай					943/43,6 = 21,7

непродуктивно; вынос с урожаем ниже поступления этих элементов фосфора и калия был значительно с удобрениями на фоне повышен-

ной обеспеченности почв как фосфором, так и калием. О данном обстоятельстве убедительно свидетельствуют и рассчитанные нами балансовые коэффициенты использования фосфора и калия культурами за 1986-1990 гг. (табл. 1).

Для основной и побочной продукции, в которой содержится 6 кг  $P_2O_5$  и соответствующее количество азота и  $K_2O$  рассчитали с учетом структуры посевов средневзвешенный вынос питательных элементов: 17,0 N; 6,0  $P_2O_5$  и 32,3  $K_2O$  (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Вынос элементов эквивалентным по потреблению фосфора количеством продукции в АО «Назарьево», 1986-1990 гг.**

Культура	Средняя урожайность, т/га	Площадь посева, %	Вынос элементов эквивалентным по потреблению фосфора количеством продукции, кг/га					
			общий			с учетом структуры посевов		
			N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Картофель	42,55	10,59	20,5	6,0	28,6	2,17	0,64	3,03
Капуста (белокочанная ранняя и поздняя, краснокочанная, цветная)	105,58	2,02	18,7	6,0	23,3	0,38	0,12	0,47
Кукуруза (на силос и зеленый корм)	55,10	17,14	19,3	6,0	24,0	3,31	1,03	4,11
Многолетние травы (боб./злак.; сено)	5,80	28,07	16,1	6,0	35,8	4,52	1,68	10,05
Многолетние травы (боб./злак.; зелен. корм)	22,54	14,92	15,9	6,0	35,6	2,38	0,89	5,31
Многолетние травы (бобовые; зелен. корм)	21,56	3,78	7,8	6,0	37,0	0,30	0,23	1,40
Однолетние травы (вика-овес, овес, оз. рожь + оз. пшеница)	50,00	7,94	8,7	6,0	20,9	0,69	0,48	1,66
Кормовая свекла	94,20	8,61	23,1	6,0	51,4	1,99	0,52	4,43
Столовая свекла	56,10	1,47	16,7	6,0	24,7	0,25	0,09	0,36
Морковь	72,40	2,39	14,5	6,0	20,5	0,35	0,14	0,49
Корневые овощные (петрушка, редька, редис)	28,48	0,17	24,0	6,0	42,0	0,04	0,01	0,07
Зеленные овощные и прочие (кабачок, тыква, патиссон, укроп, петрушка лист., капуста пекинская)	104,40	0,23	16,0	6,0	18,4	0,04	0,01	0,04
Лук репка	14,80	0,53	6,9	6,0	10,2	0,04	0,03	0,05
Культурные пастбища (злаки)	21,40	2,14	27,4	6,0	37,7	0,59	0,13	0,81
Хозяйственный вынос совокупности культур, кг/га			235,7	84,0	410,0	17,0	6,0	32,3

Трансформировали этот вынос в количество необходимых удобрений через оптимальные балансовые коэффициенты использования элементов (см. табл. 1): N — 17,0; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 5,0; K<sub>2</sub>O — 21,5 и определяли их сумму (I = 43,6). Далее определяли соотношение элементов в удобрениях и сумму соотношений. Разделив общую обеспеченность удобрениями на сумму удобрений ( $943/43,6 = 21,7$ ), получили число, показывающее возможное увеличение принятых (исходных) величин продукции всех культур, т. е. возможную урожайность культур при научно обоснованном применении имевшихся ресурсов (табл. 3).

В результате исследований выявили наряду с дисбалансом фосфора и калия дисбаланс азота, хотя балансовый коэффициент по данному элементу составлял 87,6% (см. табл. 1). Однако возможный прирост запасов азота в почве в 1986-1990 гг. вряд ли мог бы осуществиться. Без применения новых технологий в хозяйстве в эти годы потери от внесенного азота, по нашим расчетам, могли составлять до 25 %. Непродуктивные траты азота почвы и удобрений складываются из газообразного улетучивания аммиака, газообразных потерь продуктов денитрификации, поверхностного и внутрпочвенного смыва и вертикальной миграции. Наиболее существенная доля потерь приходится на процессы денитрификации. Полевые наблюдения показали, что за теплый период пашня теряет 4 кг/га аммиачного азота. Потери почвенного азота за счет эрозионных процессов в отдельные годы на склоновых землях могут быть достаточно велики [2]. К тому же использование высоких доз азотных удобрений влечет за собой усиление

процессов денитрификации и выделение в атмосферу газообразных азотистых соединений: N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub> [7, 8]. По данным Дженика [3], потери азота от денитрификации могут находиться в пределах 44,8-56 кг/га, а от эрозии — в пределах 22,4-28 кг/га. Таким образом, слабоположительный баланс азота в почвах хозяйства был обеспечен с 1986 г. Естественные и вызванные структурой посевов (вкладом бобовых) причины способствовали уравниванию выноса и поступлению азота в систему почва - растение.

Ориентируясь на оптимальные балансовые коэффициенты использования элементов, мы рассчитали возможные уровни урожайности возделываемых культур в хозяйстве за 1986-1990 гг. Из-за высокой обеспеченности почв элементами питания и достаточного количества влаги за вегетационный период в Центральном Нечерноземье урожайность культур могла лимитироваться только уровнем общей технологической культуры земледелия и ресурсами тепла и света. В теоретических расчетах возможных уровней урожайности культур в АО «Назарьево» в 1986-2003 гг. в качестве лимитирующих факторов приняли только среднесезонные естественные погодно-климатические причины, связанные с недостатком тепла и света в данном регионе.

При высокой агротехнике и степени окультуренности пашни среднесезонная фактическая урожайность большинства возделывавшихся культур оказалась весьма близкой к возможному климатически обеспеченным по ресурсам тепла величинам (см. табл. 3). Исходя из расчетов по оптимальным балансовым коэффициентам использова-

**Фактическая и возможная агрохимически  
и климатически обеспеченная урожайность культур**

Культура	Средняя урожайность, т/га						Потенциальная климатически обеспеченная урожайность	
	1986–1990 гг.		1991–1996 гг.		1997–2002 гг.			
	1	2	1	2	1	2	по приходу ФАР, т/га	по ресурсам тепла, т/га
Картофель	42,6	923,3	42,6	669,1	40,8	534,5	59,9	49,7
Капуста (белокочанная ранняя и поздняя, краснокочанная, цветная)	105,6	2291,1	112,5	1927,8	117,6	1539,9	157,1	139,6
Кукуруза (на силос и зеленый корм)	55,1	1195,7	48,6	954,2	58,2	762,2	58,6	50,6
Многолетние травы (боб./злак.; сено)	5,8	125,9	4,8	86,9	5,3	69,4	8,4	5,2
Многолетние травы (боб./злак.; зелен. корм)	22,5	489,1	24,4	399,3	24,4	319,0	72,2	55,1
Многолетние травы (бобовые; зелен. корм)	21,6	467,9	22,5	410,0	25,0	327,5	74,4	43,9
Однолетние травы (вика-овес, овес, оз. рожь + оз. пшеница)	50,0	1085,0	50,5	843,3	51,4	673,6	52,8	51,8
Кормовая свекла	94,2	2044,1	91,6	1537,2	93,7	1227,9	99,2	95,1
Столовая свекла	56,1	1217,4	52,0	935,5	57,0	747,2	65,3	64,2
Морковь	72,4	1571,1	74,5	1213,3	74,0	969,1	80,2	74,9
Корневые овощные (петрушка, редька, редис)	28,5	618,0	32,1	502,7	30,7	401,5	38,4	32,4
Зеленные овощные и прочие (кабачок, тыква, патиссон, укроп, петрушка лист, капуста пекинская)	104,4	2265,5	104,1	1687,2	102,9	1347,7	158,6	105,3
Лук репка	14,8	321,2	14,6	246,0	15,0	196,5	55,4	49,7
Культурные пастбища	21,4	464,4	21,0	328,0	20,0	262,0	72,4	35,6

Примечание. 1 — фактически, 2 — агрохимически возможная урожайность.

ния питательных элементов агрохимически возможная (исходя из обеспеченности удобрениями и уровня плодородия почвы) урожайность культур в АО «Назарьево» во все периоды исследований (1986—1990, 1991-1996, 1997-2003 гг.) значительно превысила соответствующие значения климатически обеспеченной, т. е. реально невозможна, что является наиболее убедительным доказательством неоправданно высокой и экологически опасной насыщенности посевов удобрениями.

Слабое варьирование уровней урожайности культур по анализируемым периодам (см. табл. 3) обусловлено очень высокой обеспеченностью посевов элементами питания при существующем уровне агротехники. Именно поэтому в хозяйстве АО «Назарьево» необходимо разработать систему удобрения, при которой не снижается достигнутая близкая к потенциальным уровням урожайность культур и обеспечивается получение качественной и экологически безопасной продукции при существующей насыщенности агроценозов удобрениями, мелиорантами и средствами защиты растений.

Положительные результаты баланса калия и фосфора (см. табл. 1) в первый период экологически негатив-

но проявились на качестве получаемой продукции, в частности, содержание калия в сухой массе кормов достигло 2,2—2,6%, а концентрация его более 2,5% [1], что приводит к тяжелым заболеваниям животных.

Таким образом, в 1986-1990 гг. в АО «Назарьево» обнаружен заметный дисбаланс определявшихся питательных элементов. Значительное избыточное количество фосфора и калия в соответствии с их балансовыми коэффициентами использования (см. табл. 1) привело к увеличению средневзвешенного содержания в почве подвижного фосфора сверх оптимального уровня, а обменного калия — к оптимальному для наиболее требовательной группы возделываемых культур в данном хозяйстве. Все указанные изменения агрохимических показателей выявлены при агрохимическом обследовании почв, проведенном ГЦАС «Московский» в 1990 г. (табл. 4).

По результатам положительного баланса изучавшихся элементов питания за 1986—1990 гг. было оптимизировано содержание в почвах хозяйства обменного калия в отношении культур овощной группы, но одновременно это привело к перенасыщению почв избыточным фосфором. Избыточное накопление в почвах фосфора и калия в анализируемый период в дальнейшем может

Таблица 4

**Динамика содержания подвижных форм фосфора и калия  
– в почвах хозяйства АО «Назарьево», 1986-1990 гг. . .**

Показатель	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Средневзвешенное содержание, мг/кг почвы, 1986 г.	465,1	148,6
То же, мг/кг почвы, 1990 г.	611,5	176,4
Разность содержания, мг/кг почвы	146,4	27,8
Суммарный баланс за период, кг д.в./га	772,0	295,4
Показатель затрат удобрений на изменение в почве питательного элемента на 10 мг/кг почвы, кг/га	52,7	106,2



быть резервом питания для культур и стабилизирующим фактором в поддержании их высокой урожайности. Однако частичная оптимизация почвенного плодородия только по содержанию обменного калия не может быть показателем благополучия агроэкологической обстановки. Только научно обоснованное управление всеми компонентами агроценоза является залогом успешного выращивания культур. Используя оптимальные балансовые коэффициенты (см. табл. 1), хозяйство могло сократить применение удобрений примерно в 4,5 раза, обосновав заранее их соотношение, соответствующую культурам агротехнику, виды, формы, сроки и способы внесения и заделки и получить такие же урожаи.

В 1991-1996 гг. среднегодовая урожайность возделываемых культур в хозяйстве АО «Назарьево» также оказалась довольно близка к максимально возможной (см. табл. 3), однако насколько агроэкологически обоснованы дозы и соотношения применявшихся удобрений биологическим потребностям культур и фактическому плодородию почв можно установить по результатам баланса элементов и соответствующих анализов продукции и почв. При уменьшении суммарного количества применявшихся удобрений в хозяйстве в 1991-1996 гг. по сравнению с предыдущим периодом заметно снизилась химическая нагрузка на агроценозы, однако соотношения питательных элементов в удобрениях, по-прежнему, оказались не оптимальными для выращиваемых культур и не соответствовали фактической обеспеченности почв питательными элементами (табл. 5). Чрезмерная насыщенность посевов удобрениями подтвержда-

ется и расчетами нереальных уровней урожайности культур в этот период (см. табл. 3).

Сопоставляя показатели содержания подвижных форм определявшихся элементов в почвах хозяйства с результатами баланса их за 1991-1996 гг., мы обнаружили заметный прирост (+ 89,9 мг/кг) содержания калия в почве при отрицательных результатах его баланса (-58,2 кг д.в./га), при этом средневзвешенное содержание обменного калия в почве в 1997 г. (в 1990 г. — 176,4 мг/кг) составило 266,3 мг/кг

Повышение содержания подвижного калия в почвах хозяйства происходило за счет известных причин мобилизации почвенных его запасов [1, 6] и, вероятно, может продолжаться до тех пор, пока не установится определенное равновесное состояние процессов мобилизации и иммобилизации. Интенсивный прирост (+326,1 мг/кг) содержания подвижного фосфора в почве в данный период обусловлен результатами его положительного баланса (122,4 кг д.в./га) за это время (см. табл. 5). Содержание подвижного фосфора при этом в почвах хозяйства в 1990 г. составляло 611,5 мг/кг, а в 1997 г. — 937,6 мг/кг.

В 1991-1996 гг. следовало бы снизить дозы фосфорных удобрений не менее чем на 30-40%, а потребность культур в калии компенсировать удобрениями, как и в предыдущий период (1986-1990 гг.). Использование при научно обоснованном соотношении в 2,4 раза меньшего количества удобрений при существовавшей технологии возделывания культур позволило бы получить такую же продуктивность культур и во второй исследуемый период.

Т а б л и ц а 5

**Хозяйственный вынос культурами основных питательных элементов  
в агроценозах и важнейшие расчетные показатели их баланса хозяйства  
в АО «Назарьево», 1991-1996 гг.**

Культура	Средняя урожайность, т/га	Площадь посева, %	Хозяйственный вынос с учетом структуры посевов, кг/га		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Картофель	42,60	9,58	23,67	6,94	33,06
Капуста (белокочанная ранняя и поздняя, краснокочанная, цветная)	112,45	2,86	9,00	2,89	11,25
Кукуруза (на силос и зеленый корм)	48,59	20,88	29,43	9,13	36,53
Многолетние травы (боб./злак.; сено)	4,75	24,75	9,93	3,70	22,10
Многолетние травы (боб./злак.; зелен. корм)	24,40	14,03	29,11	10,96	65,06
Многолетние травы (бобовые; зелен. корм)	22,45	4,54	4,12	3,16	19,46
Однолетние травы (вика-овес, овес, оз. рожь + оз. пшеница)	50,45	11,47	53,12	36,46	126,73
Кормовая свекла	91,56	6,93	17,14	4,44	38,09
Столовая свекла	52,00	1,18	3,06	1,10	4,53
Морковь	74,50	2,14	4,63	1,92	6,55
Корневые овощные (петрушка, редька, редис)	32,10	0,34	0,43	0,11	0,76
Зеленные овощные и прочие (кабачок, тыква, патиссон, укроп, петрушка лист., капуста пекинская)	104,10	0,29	1,22	0,46	1,41
Лук репка	14,58	0,25	0,06	0,05	0,08
Культурные пастбища (злаки)	21,00	0,76	2,54	0,56	3,49
Хозяйственный вынос совокупности культур, кг/га			223,6	87,5	388,4
Ежегодное внесение удобрений, кг д.в./га			236,3	112,0	330,2
Среднегодовая общая обеспеченность удобрениями, кг д.в./га				678,5	
Фактический баланс, кг/га			+12,7	+24,5	-58,2
Фактический балансовый коэффициент, %			94,6	78,2	117,6
Оптимальный балансовый коэффициент, %			100	150	150
Требуется удобрений, кг д.в./га			16,6	4,0	20,8
Сумма требуемых удобрений, кг д.в./га				41,3	
Соотношение питательных элементов в требуемом удобрении				4,1 : 1 : 5,2	
Сумма соотношений питательных элементов в удобрении				10,3	
Отношение общего количества применявшихся удобрений к сумме удобрений, обеспечивающих максимальный урожай				678,5 / 41,3 = 16,4	

В 1997-2003 гг. в связи с внесением необоснованно повышенного количества фосфора с удобрениями по сравнению с хозяйственным выносом культурами содержание подвижных его форм в почве достигло экологически опасного уровня, при котором даже полное прекращение применения фосфорных удобрений позволит, вероятно, еще в течение 20 — 30 лет получать урожаи, приближенные к максимально возможным для данного региона. Однако резко отрицательный баланс калия в почвах хозяйства АО «Назарьево» в этот период является серьезной предпосылкой возможного снижения продуктивности культур в связи с тем, что группа, выращиваемых в хозяйстве культур, превалирует по выносу с урожаем именно этого элемента.

После значительного прироста содержания обменного калия в почвах хозяйства на фоне отрицательного его баланса в 1991-1997 гг. наблюдается резкое снижение этого показателя в 2002-2003 гг., что обусловило необходимость в применении такого балансового коэффициента его использования (табл. 6), который позволит остановить это падение. Оптимальный же баланс фосфора (1997-2003 гг.) должен быть, напротив, более отрицательным по сравнению с предыдущим периодом для обеспечения интенсивного использования почвенных запасов фосфора растениями. Для обеспечения максимальной продуктивности культур и оптимизации показателей плодородия почвы на 1 га следовало бы вносить минеральных удобрений 160,5 N; 5,0 P; 260,5 K кг д.в. на 1 га для получения достигнутых уровней продуктивности возделываемых культур. С внесением такого количества минеральных удобрений (426 кг д.в./га)

можно поддерживать продуктивность культур на достигнутом уровне и нормировать агроэкологические показатели получаемой продукции и агрохимические показатели плодородия почвы.

Экспериментальным подтверждением обоснованности наших расчетов стал заложенный в хозяйстве АО «Назарьево» в 2003 г. производственный опыт с многолетними травами на площади 35 га (табл. 7). Основная цель опыта — показать нецелесообразность применения повышенных доз азотных удобрений на фоне высокой средневзвешенной обеспеченности почвы легкогидролизующим азотом (141,8 мг/кг). Аммиачную селитру вносили рано весной, причем, по нашим рекомендациям, удобряли 3 участка поля, по применяемой системе удобрений в хозяйстве — 3 и 2 участка не удобряли. Урожай зеленой массы трав, полученный во всех вариантах, оказался практически одинаковым. На фоне очень высокого содержания подвижных форм фосфора и калия количество легкогидролизующего азота во всех вариантах было не ниже 106 мг/кг, что существенно выше потребностей многолетних трав в данном элементе питания. Следовательно, агрохимические показатели эффективного плодородия почвы для нормального роста многолетних трав почти не различались, что подтверждается одинаковой урожайностью. Зато существенно различался качественный состав урожая. На полях, где применяли аммиачную селитру по системе хозяйства, содержание нитратов в зеленой массе трав составило 1096, 949 и 1038 мг/кг, что превышало ПДК, а количество нитратов в зеленой массе растений с полей, обработанных по нашим расчетам, лишь немного отличалось от такового в зеленой массе культуры с

Таблица 6

Хозяйственный вынос культурами питательных элементов  
и расчетные показатели баланса в АО «Назарьево», 1997-2002 гг.

Культура	Средняя урожайность, т/га	Площадь посева, %	Хозяйственный вынос с учетом структуры посевов, кг/га		
			N	РА	K <sub>2</sub> O
Картофель	40,80	8,61	20,38	5,97	28,47
Капуста (белокочанная ранняя и поздняя, краснокочанная, цветная)	117,55	2,77	9,13	2,93	11,41
Кукуруза (на силос и зеленый корм)	58,18	18,36	30,98	9,61	38,46
Многолетние травы (боб./злак.; сено)	5,30	26,60	11,91	4,44	26,50
Многолетние травы (боб./злак.; зелен. корм)	24,35	19,83	41,05	15,45	91,75
Многолетние травы (бобовые; зелен. корм)	25,00	3,74	3,78	2,90	17,86
Однолетние травы (вика-овес, овес, оз. рожь + оз. пшеница)	51,42	10,71	50,58	34,71	120,65
Кормовая свекла	93,73	5,55	14,04	3,64	31,19
Столовая свекла	57,04	0,84	2,40	0,86	3,55
Морковь	73,98	1,93	4,15	1,72	5,86
Корневые овощные (петрушка, редька, редис)	30,65	0,16	0,19	0,05	0,33
Зеленные овощные и прочие (кабачок, тыква, патиссон, укроп, петрушка лист., капуста пекинская)	102,88	0,24	1,00	0,38	1,15
Лук репка	15,00	0,40	0,09	0,08	0,13
Культурные пастбища (злаки)	20,00	0,25	0,81	0,18	1,11
Средневзвешенный хозяйственный вынос совокупности культур, кг/га			227,8	89,7	397,6
Ежегодное внесение удобрений, кг д.в./га			241,2	200,9	85,2
Среднегодовая общая обеспеченность удобрениями, кг д.в./га			527,3		
Фактический баланс, кг/га			+ 13,4	+111,3	-312,4
Фактический балансовый коэффициент, %			94,4	44,6	466,7
Оптимальный балансовый коэффициент, %			100	200	150
Требуется удобрений кг д.в./га			16,4	3,0	20,9
Сумма требуемых удобрений, кг д.в./га				40,3	
Соотношение питательных элементов в требуемом удобрении				5,5 : 1 : 7	
Сумма соотношений питательных элементов в удобрении				13,4	
Отношение общего количества применявшихся удобрений к сумме удобрений, обеспечивающих максимальный урожай			527,3/40,3=	13,1	

неудобренных полей и было ниже, чем во 2-м варианте, в 2,5-5 раз

(см. табл. 7). К тому же продукция, полученная в варианте, где многолет-

**Влияние доз азота на урожайность многолетних трав  
и содержание нитратов в них**

Вариант		Легкогидроли- зуемый азот, мг/кг (в слое 0-20 см)	Доза аммиач- ной селит- ры, кг/га	Урожай- ность зеленой массы, т/га	Содержание нитратов, мг/кг сухой массы
<b>1. По нашим рекомендациям</b>	1	133,6	50	44,0	374
	3	167,2	50	43,6	221
	6	163,8	50	43,9	362
<b>2. Согласно системе применения удобрений в хозяйстве АО «На- зарьево»</b>	2	116,4	120	43,8	1096
	7	105,8	120	43,7	949
	8	150,6	120	43,7	1038
<b>3. Без удобрений</b>	4	112,1	0	44,1	220
	5	185,2	0	43,9	257

ние травы удобряли по нашим ре-  
комендациям, была наиболее вы-  
ровненной по содержанию сырого  
протеина, клетчатки, жира, кальция  
и фосфора (ГЦАС «Московский»,  
2003).

Фактическое изменение обеспе-  
ченности почв хозяйства фосфором  
и калием в период с 1997 по 2003 гг.  
было обусловлено резко отрица-  
тельным балансом калия и резко  
положительным балансом фосфора.  
Однако в последние годы данного  
периода исследования в почвах рез-  
ко снизилось содержание подвиж-  
ных форм не только калия, но и  
фосфора. Наряду с выносом урожа-  
ем культур в хозяйстве заметно

возросли и другие потери пита-  
тельных элементов. Проведенное в  
2003 г. выборочное обследование  
почв на 77% территории хозяйства  
АО «Назарьево» показало, что по  
сравнению с 1997г. в почвах про-  
изошло катастрофическое сниже-  
ние содержания подвижного фос-  
фора (на отдельных полях разница  
между двумя турами обследований  
составляет до 250 мг/кг). Произош-  
ло также заметное снижение со-  
держания обменного калия (табл. 8).

Основными факторами, вызвав-  
шими резкое снижение содержания  
подвижных форм фосфора, вероят-  
но, являются отсутствие должных  
противоэрозионных мероприятий в

Т а б л и ц а 8

**Нормативы затрат элементов, вызвавших изменения содержания подвижных форм  
фосфора и калия в обследованных почвах хозяйства АО «Назарьево»,  
в расчете на 10 мг/кг почвы, 1997-2003 гг.**

Показатель	РА	К <sub>2</sub> O
Средневзвешенное содержание в 1997 г., мг/кг почвы	937,6	266 3
Средневзвешенное содержание в 2003 г., мг/кг почвы	705,3	254 1
Разность содержания, мг/кг почвы	-232,3	-12 2
Суммарный баланс за весь период, кг д.в./га	556,4	-1561 9
Затраты элементов, кг/га	-24,0	1280 2

хозяйстве, ухудшение водно-воздушного режима почвы, химическое закрепление с алюминием и железом и др.

#### Выводы

1. В 1986-2003 гг. в хозяйстве АО «Назарьево» насыщенность посевов удобрениями не соответствовала продуктивности возделываемых культур и обеспеченности почв питательными элементами.

2. Хозяйство АО «Назарьево» могло сократить применение удобрений в 1986—1990 гг. в 4,4 раза, а в 1991 — 1996 гг. в 2,4 раза при соотношении в них N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O соответственно 13,6 : 1 : 28,4 и 20 : 1 : 36,4 и получить достигнутые уровни продуктивности культур. В 1997 — 2003 гг. для получения достигнутой продуктивности культур следовало бы применять 426 кг д.в./га удобрений в соотношении N — 32,1; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 1; K<sub>2</sub>O — 52,1.

3. Для поддержания продуктивности культур, близкой к климатически обеспеченной с одновременной оптимизацией агрохимических показателей плодородия почв, в хозяйстве АО «Назарьево» следует резко снизить дозы фосфорных удобрений в соответствии с рекомендуемым балансовым коэффициентом (200%), а потребность в калии частично компенсировать удобрениями (баланси-

вый коэффициент 150%) для предотвращения снижения содержания обменного калия в почвах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимия / Под ред. Б.А. Ягодина. М.: Колос, 2002. — 2. Гамзиков Г.П. Агрохимия азотных удобрений. Современное развитие научных идей Д.Н. Прянишникова. М.: Наука, 1991. — с. 127. — 3. Дженик Дж. Основы садоводства / Пер. с англ. Н.С. Тарасенко / Под ред. и с предисл. З.А. Метлицкого. М.: Колос, 1975. — 4. Жуков Ю.П. Баланс питательных веществ, как прогнозно-экологический показатель плодородия почв и продуктивности культур // Агрохимия, 1996, № 7. — 5. Казьмин В.М. и др. Как поддержать почвенное плодородие? // Земледелие. 2001, № 5. — 6. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. — 7. Макаров Б.Н. и др. Влияние газообразных потерь азота почвы и удобрений на размер загрязнения атмосферы газообразными соединениями азота / / Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пушкино, 1982. — 8. Макаров Б.Н. и др. Газообразные потери азота почв и удобрений // Агрохимия, 1976, № 12. — 9. Прямое С.Б. и др. Высокое качество продукции — марка компании «Малино». // Картофель и овощи, 2001, № 6.

*Статья поступила  
17 февраля 2004 г.*

#### SUMMARY

Interrelation of crop productivity and agrochemical soil indices with food elements balance was studied taking AO «Nazaryevo» farm as an example — the degree of balance and disbalance of crops grown, their productivity, and soil fertility including proper amount of fertilizers, meliorants and means of plant protection in 1986-2003. Calculations, recommendations and some results are given to optimize a fertilizer dose using balance coefficients.