

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ДОЗЫ УДОБРЕНИЙ, ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И КАЛИЯ В ПОЧВЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БАЛАНСА

Ю.П. Жуков, д.с.-х.н., РГАУ – МСХА, О.В. Чухина, к.с.-х.н., ВГМХА

Представлены методики расчётов максимально допустимых доз удобрений под отдельными культурами и в севообороте с научно обоснованным соотношением между элементами питания, определения темпов снижения содержания подвижного фосфора и обменного калия без удобрений и затрат (расходов) питательных элементов для увеличения их содержания на 1 мг/100 г дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы.

Ключевые слова: баланс, балансовые коэффициенты, доза удобрений, севооборот, хозяйственный вынос.

Определение предельной, или максимально допустимой, дозы (насыщенности) удобрений под отдельными культурами и в севооборотах с научно обоснованным соотношением между элементами – чрезвычайно важная задача всех производителей растениеводческой продукции и природоохранных организаций. Эти величины могут значительно колебаться в зависимости от почвенно-климатических условий, вида, сорта, уровня продуктивности отдельной культуры и севооборота, а также культуры земледелия и экологических ограничений [1].

При этом необходимо выполнять следующие требования [1,5]:

максимально планируемая урожайность отдельных культур и сортов и продуктивность севооборотов должны соответствовать среднепогодным (не менее 5-7 лет) погодно-агротехническим условиям (приход ФАР, сумма положительных температур, количество и распределение осадков, сроки и способы обработки почвы и т.д.). Эта величина может быть определена расчетным путем, но лучше по среднепогодным показателям урожайности конкретных культур (сортов) на типичных почвах данной зоны, полученным на лучших вариантах опытов в НИИ или НИУ, а при отсутствии таковых – в производственных посевах передовых хозяйств;

учет фактического средневзвешенного плодородия почвы всех полей севооборота по результатам предыдущего и последнего почвенно-агрохимического обследования территории позволит обосновать необходимость и направленность изменений агрохимических показателей эффективного плодородия почвы до оптимальных уровней для всей совокупности возделываемых культур;

оптимизация показателей эффективного плодородия осуществляется с помощью дифференцированных балансовых коэффициентов использования удобрений, т.е. по балансу элементов. При обеспеченности почв элементами питания выше оптимальной для возделываемых культур, почвы постепенно истощаются до оптимума, при оптимуме – баланс нулевой. При недостатке элементов в почве – баланс положительный с целью повышения обеспеченности почв до оптимума (табл. 1, 2) [2, 5].

Рассмотрим методику расчётов максимальной дозы удобрений под картофель (с оптимальным соотношением элементов), возделываемый в условиях Вологодской области на хорошо окультуренной почве.

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, средневзвешенная, обеспеченность питательными элементами соответствует 4-й группе. Среднепогодная максимальная урожайность картофеля, по данным многолетнего опыта (1991–1994 гг.), 21,0 т/га, ежегодная обеспеченность органическими удобрениями 10 т/га, содержание в них азота 0,45%, фосфора 0,23 и калия 0,5% (Чухина, 1999 г.) [4].

Определим вынос питательных элементов урожайностью клубней с 21,0 т/га и соответствующим количеством ботвы

(по результатам ежегодных анализов или по справочным данным). Вынос 1 т клубней картофеля с соответствующим количеством ботвы, по результатам опытных исследований предыдущих лет, составляет 5,8 кг N, 1,5 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 7,7 кг K<sub>2</sub>O. Вынос N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O планируем урожай картофеля (21,0 т/га) составил, соответственно, 122 кг/га (5,8 × 21) (примерно 120 кг/га), 32 кг/га (1,5 × 21) (примерно 30 кг/га), 162 кг/га (7,7 × 21) (примерно 160 кг/га).

## 1. Балансовые коэффициенты использования элементов минеральных удобрений в зависимости от уровня эффективного плодородия почв (по данным Жукова)

Группа почв по содержанию питательных веществ	Использование элементов по годам, %							
	1-й	2-4-й	всего	1-й	2-й	3-й	4-й	всего
	N*			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O				
1	70-75	5-10	75-85	30-40 60-70	30-25 10-15	5-10 10-5	-	65-75 80-90
2	70-75	5-10	75-85	35-45 65-75	30-25 10-15	5-10 10-5	-	70-80 85-95
3	75-80	5-10	80-90	35-45 70-75	30-25 10-20	10-15 10-5	-	75-85 90-100
4	75-80	10-15	85-95	40-50 70-75	30-25 25-15	10-15 5-10	5 0-10	85-95 100-110
5	85-90	10-15	95-105	45-55 75-80	35-25 30-20	10-15 10-15	5-10 5-10	95-105 120-130
6	90-95	10-15	100-110	50-60 80-85	40-30 35-25	20-15 15-20	10-5 10-15	110-120 140-150

\*Последствие минеральных азотных удобрений невелико, поэтому учитывается в сумме за 2-й-4-й годы.

## 2. Балансовые коэффициенты использования элементов органических удобрений в зависимости от эффективного плодородия почв (по данным Жукова)

Группа почв по содержанию питательных веществ	Использование элементов по годам, %				
	1-й	2-й	3-й	4-й	всего
Азота (N)					
1	30-40	15-25	5-15	-	60-70
2	30-40	20-30	10-20	-	70-80
3	35-45	20-30	10-20	5	80-90
4	35-45	20-30	10-20	5-10	90-100
5	35-45	30-40	15-25	10-15	100-115
6	35-45	30-40	20-30	15-20	110-125
Фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )					
Калия (K <sub>2</sub> O)					
1	35-45 60-70	30-25 10-15	5-10 5-10	-	70-80 80-90
2	35-45 65-75	35-25 10-15	5-15 5-10	-	75-85 85-95
3	40-50 70-75	35-25 10-20	5-15 5-10	-	80-90 90-100
4	40-50 70-75	35-25 25-15	10-15 10-15	5-10 5-10	90-100 105-115
5	45-55 75-80	35-25 30-20	10-15 10-15	10-15 5-15	100-110 120-130
6	50-60 80-85	30-40 35-25	15-20 15-20	10-15 10-20	115-125 140-150

Так как фактическое плодородие почвы соответствует оптимальному для этой культуры, то баланс питательных элементов должен быть нулевым по всем элементам, если за счет почвенной и растительной диагностики и совершенствования сроков и способов внесения азотных удобрений потери азота будут исключены. Если учесть возможные потери его около 20 %, то Кб по азоту может соответствовать 80%. Следовательно, балансовые коэффициенты использования фосфорных и калийных удобрений должны быть равны 100 %, а азотных – 100 или 80 %, т. е. общая доза азота 120 (или 150) кг, фосфора 30 и калия 160 кг. Так как 10 т/га навоза обеспечивает 45 кг азота, 23 кг фосфора и 50 кг калия, то на долю минеральных удобрений остается 75 (или 105) кг азота, 7 фосфора и 110 кг калия. В сумме это составляет 192 (или 222) кг/га NPK. Таким образом, предельная общая насыщенность удобрениями (максимально допустимая доза) для картофеля в указанных почвенно-климатических условиях равна 310 (или 340) кг д. в/га. Увеличение дозы возможно только за счет фосфорно-калийных удобрений не более чем на 10 % (при 3-м классе обеспеченности) или на 20 % (при 2-м классе обеспеченности соответствующими элементами). Уменьшение его возможно на 10 % при повышении обеспеченности почвы фосфором или калием на один класс и на 20 % – на два класса.

Рассмотрим пример расчёта максимальной предельно допустимой насыщенности посевов удобрениями в севообороте длительного стационарного полевого опыта, заложенного в 1990 г. на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина (г. Вологда, с. Молочное). Почва хорошо окультуренная дерново-подзолистая среднесуглинистая. Севооборот – четырехпольный, среднегодовая максимальная урожайность за 8 лет (1991-1998 гг.) на лучшем варианте (5-й вариант с положительным и нулевым балансом азота и фосфора и отрицательным – калия) составила: озимой ржи 3,7 т/га, картофеля 20,0, ячменя 4,1 и зелёной массы однолетних трав (горохоовсяной смеси) 22,0 т/га. Требуется определить максимальную допустимую насыщенность удобрениями при сохранении (поддержании) исходного плодородия (содержание фосфора и калия, соответственно, 26,6 и 11,4 мг/100 г почвы), т. е. при нулевом (или практически нулевом для азота) балансе питательных элементов. Рассчитаем ежегодный хозяйственный вынос питательных элементов всеми культурами севооборота (табл. 3).

### 3. Среднегодовой хозяйственный вынос питательных элементов культурами

Культура	Урожайность, т/га	Хозяйственный вынос, кг/га		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Озимая рожь	3,7	104	30	78
Картофель	20,0	104	26	164
Ячмень	4,1	123	41	98
Однолетние травы (зелёная масса)	22,0	79*	22	97
Среднее с 1 га		102	30	109

\*30% фактического содержания (70% за счет азотфиксации).

По предъявляемым к балансу питательных элементов требованиям среднегодовые максимально допустимые дозы составят:

100-120 кг/га азота, 30 фосфора и 110 кг/га калия, а суммарная насыщенность удобрениями 240-260 кг д.в/га.

Максимально допустимые дозы для получения возможной урожайности отдельных культур следующие:

под озимой рожью – N<sub>105-130</sub>P<sub>30</sub>K<sub>80</sub>, в сумме 215-240 кг/га;

под картофелем – N<sub>105-130</sub>P<sub>30</sub>K<sub>165</sub>, в сумме 300-325 кг/га;

под ячменём – N<sub>120-150</sub>P<sub>40</sub>K<sub>100</sub>, в сумме 260-290 кг/га;

под однолетними травами – N<sub>80-100</sub>P<sub>20</sub>K<sub>100</sub>, в сумме 200-220 кг/га.

При дробном внесении азотных удобрений возможно максимальное приближение к нулевому балансу по азоту, при этом необходима обязательная коррекция доз этого элемента

перед каждым внесением по результатам почвенной (перед посевом) и растительной (перед подкормками) диагностики.

Аналогично можно определить максимально допустимые дозы удобрений с оптимальными соотношениями в них питательных элементов и в производственных посевах под отдельными культурами в севооборотах, и в бессменных посевах, в среднем по севообороту, хозяйству, району, области и т.д.

Наряду с контролем за охраной окружающей среды, на интенсивно удобряемых участках, полях и агроценозах возрастает потребность в наблюдении за состоянием почв и в не-удобряемых и малоудобряемых агроценозах, так как интенсивная и длительная эксплуатация почв без удобрений способствует снижению плодородия, а в большинстве сельскохозяйственных предприятий количество применяемых удобрений очень низкое. Поэтому важно контролировать и возможное снижение агрохимических показателей плодородия почв. Методика контроля и прогноза возможного снижения плодородия почв при отсутствии удобрений и недостатке их, основанная на результатах баланса питательных элементов, довольно проста.

Научно обоснованные экспериментальные данные для прогнозов темпов падения плодородия почв во всех почвенно-климатических зонах могут быть получены из материальных длительных стационарных полевых опытов НИИ и НИУ, а также в производственных посевах. Необходимо сопоставить исходное содержание питательных элементов в почве с фактическим через различные промежутки времени в вариантах без удобрений (контроль) и в мало удобрявшихся вариантах и полях с дефицитным балансом по анализируемым питательным элементам.

За 8 лет исследований (2 ротации севооборота) среднегодовой хозяйственный вынос всеми культурами в вариантах без удобрений составил 18 кг/га фосфора и 56 кг/га калия. Следовательно, за 8 лет из почвы было потреблено культурами 144 кг/га (18 × 8) фосфора и 448 кг/га (56 × 8) калия. Исходная обеспеченность пахотного горизонта почвы (перед закладкой опыта, 1990 г.) фосфором – 26,6 и калием 11,4 мг/100 г почвы. Перед третьей ротацией (1998 г.) в среднем по четырем полям контрольных вариантов обеспеченность этими элементами равна, соответственно, 15,9 и 5,9 мг/100 г почвы, т. е. снизилась на 10,7 и 4,5 мг/100 г почвы.

Таким образом, для снижения обеспеченности соответствующим питательным элементом на 1 мг/100 г пахотного горизонта дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в течение 8 лет растения должны потреблять (вынести из почвы) 13 кг/га фосфора (144:10,7 = 13) и 100 кг/га (448:4,5 = 100) калия. Разумеется, эти величины приемлемы только для конкретных (ранее указанных) почвенно-климатических и агротехнических условий. Подобные расчеты следовало бы проводить не только для пахотного, но и для нижележащих горизонтов почв, так как культуры потребляют питательные элементы по всему профилю проникновения корней.

Теоретически 1 мг/100 г почвы соответствует 30 кг/га (при массе пахотного горизонта 3 млн кг/га). Затраты элементов на снижение их обеспеченности в любых почвах зависят от гранулометрического и минералогического состава, исходных показателей потенциального и эффективного плодородия не только пахотных, но и подпахотных горизонтов, набора культур (сортов) в севообороте, систем применения удобрений, обработки почв и ухода за посевами, погодных особенностей и общей культуры земледелия. Используя результаты длительных исследований, можно реально определить и применить эти прогнозные величины для установления темпов (скорости) снижения плодородия (деградации) почв в любом конкретном сельскохозяйственном регионе России. Это позволит природоохранным организациям и производителям сельскохозяйственной продукции бережнее относиться к почвам, и к вносимым удобрениям.

Результаты балансов питательных элементов можно использовать для прогнозирования уровня плодородия почв и эффективности удобрений.

Так, по данным ряда авторов, для повышения содержания

фосфора на 1 мг/100 г почвы (по Кирсанову) на дерново-подзолистых песчаных почвах сверх выноса урожаями культур требуется внести фосфора 40-60 кг/га, на легко- и среднесуглинистых – 60-90, на тяжелосуглинистых почвах – 90-120 кг/га; в среднем на дерново-подзолистых – около 80 кг/га [3]. По результатам наших исследований (Чухина, 1999), на дерново-подзолистой среднесуглинистой хорошо окультуренной почве в условиях Вологодской области при минеральной и органоминеральной системах удобрения для повышения обеспеченности на 1 мг/100 г почвы расход фосфора сверх выноса составил 62-68 кг/га [4].

Для повышения содержания в почве калия на 1 мг/100 г почвы требуется внести 30-60 кг K<sub>2</sub>O на 1 га [3]. По результатам наших исследований на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве при минеральных системах удобрения расход калия сверх выноса составил 84 кг/га почвы, а при органоминеральной системе удобрения снизился до 25 кг/га [4].

Бездефицитный баланс органического вещества можно иметь только при внесении высоких доз органических удобрений совместно с минеральными. Одни минеральные удобрения, как правило, не повышают содержание гумуса в почве, а следовательно, и валового азота. Считается [2, 3, 5], что увеличить содержание гумуса на 0,03-0,04% можно внесением на связных почвах органических удобрений в дозе 10-11 т/га, на легких (супесях и песках) – 17-18 т/га. По результатам исследований [4] при совместном применении минеральных и

органических удобрений (10 т/га торфонавозного компоста в 4-польном севообороте) наблюдалось увеличение содержания гумуса на 0,11%, т.е. ежегодный его прирост составляет примерно 0,03%.

Положительный баланс питательных элементов и веществ необходим для повышения потенциального и эффективного плодородия почв, а нередко и общей продуктивности посевов.

Таким образом, по результатам балансов элементов можно контролировать и прогнозировать изменения продуктивности культур при внесении различных доз и комбинаций удобрений, содержание в почве подвижных форм фосфора и калия, качество природных вод и других сопредельных сред с целью охраны окружающей среды и устранения возможных негативных последствий.

#### *Литература*

1. Жуков Ю.П. Определение экологической оценки основных положений выпускной квалификационной работы. – М.: Изд-во МСХА, 2004. – 62 с.
2. Жуков Ю.П. Система удобрения в хозяйствах Нечерноземья. – М.: Московский рабочий, 1983. – 145 с.
3. Лебедева Л.А. Система применения удобрений в Нечерноземной зоне РСФСР. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 95 с.
4. Чухина О.В. Продуктивность культур и обеспеченность дерново-подзолистой почвы питательными элементами при расчётных дозах удобрения в севообороте: Дис. ... канд. с.-х. н.- М., 1999. – 154 с.
5. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Мир, 2004. – 584 с.

### **DETERMINATION OF THE MAXIMUM PERMISSIBLE FERTILIZER RATE AND THE PREDICTION OF CHANGES IN THE CONTENTS OF MOBILE PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE SOIL FROM BALANCE DATA**

**Yu.P. Zhukov<sup>1</sup>, O.V. Chukhina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences,  
ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia

<sup>2</sup>Vologda State Dairy Academy, ul. Shmidta 2, Molochnoe, Vologda oblast, 160555 Russia

*Methods have been presented for the calculation of the maximum permissible rates of fertilizers for individual crops and crops in a crop rotation with scientifically reasonable proportions of nutrients, the rates of decrease in the contents of mobile phosphorus and exchangeable potassium without fertilization, and the consumption of nutrients for increasing their contents by 1 mg/100 g loamy podzolic soil.*

*Keywords: balance, balance coefficients, fertilizer rate, crop rotation, economic removal.*