

# ПРОГНОЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД КАРТОФЕЛЬ ПО АГРОХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

В.А. Прошкин, к.с.-х.н., С.В. Швыркина, ВНИИА

Разработана стохастическая малокомпонентная модель прогноза эффективности азотных удобрений под картофель. Использование модели позволяет выбрать оптимальную дозу азота для получения максимальной прибавки урожайности в зависимости от обеспеченности почвы легкогидролизуемым азотом, подвижными формами фосфора и калия.

Ключевые слова: картофель, азотные удобрения, модель, прогноз прибавки урожайности.

В современном земледелии при невысоких дозах применения минеральных удобрений формирование урожаев сельскохозяйственных культур в значительной мере определяется запасами элементов питания в почве. В связи с этим безусловный интерес представляет оценка влияния агрохимических свойств почвы на продуктивность культур и эффективность удобрений.

Обзор литературных сведений показал, что для прогноза эффективности удобрений используют эмпирические и полупрогнозные зависимости, параметры которых на основании экспериментальных данных приводят в соответствие с описываемой реальной системой. В этом случае использование моделей продуктивности обеспечивает решение задач, связанных с выбором оптимальных доз питательных веществ с учетом агрохимических свойств почвы [1-6].

Цель исследований – разработка модели, предусматривающей возможность прогноза эффективности азотных удобрений при внесении под картофель с учетом влияния факторов системы почва–растение–удобрение в их динамическом состоянии и обеспечивающей получение максимального прироста урожайности за счет оптимизации доз азота.

**Методика.** Объектом исследования выбран картофель. В качестве исходной информации для оценки влияния агрохимических свойств почвы на эффективность азотных удобрений использовали сопряженные данные урожайности картофеля и агрохимических показателей почвы. Эти данные получены в полевых опытах агрохимслужбы. Для анализа использовали опыты, схема которых позволила вычленить действие азотных удобрений на фоне РК. В работе проанализированы и обобщены результаты полевых опытов с удобрением картофеля на дерново-подзолистых песчаных, средне- и тяжело-суглинистых почвах Центрального округа. Характеристика выборок приведена в таблице 1.

## 1. Характеристика выборок полевых опытов по изучению эффективности азотных удобрений при внесении под картофель

Показатель	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Доза, кг/га
<i>Дерново-подзолистые песчаные почвы</i>						
Интервалы значений	1,9-2,15	4,1-6,4	56-123	50-241	30-205	60-150
Объем выборки	48	48	48	48	48	48
<i>Дерново-подзолистые средне- и тяжело-суглинистые почвы</i>						
Интервалы значений	1,6-2,0	4,3-6,5	13-140	34-325	38-252	60-150
Объем выборки	96	96	96	96	96	96

Влияние факторов системы на изменчивость результативного признака оценивали по коэффициентам корреляции и корреляционным отношениям, долю изменчивости – по коэффициентам и индексам детерминации. Выбор формы корреляции осуществляли по критерию линейности корреляции.

**Результаты исследований и их обсуждение.** При изучении закономерностей связи эффективности минеральных

удобрений с агрохимическими свойствами почв важно выявить, в какой мере вариация свойств отдельных типов почв влияет на изменчивость прибавки урожая. Необходимость этого обусловлена тем, что степень варьирования агрохимических свойств проявляется по-разному на отдельных типах почв [7, 8].

Результаты статистического анализа приведены в таблице 2.

## 2. Связь прибавки урожая картофеля от азотных удобрений с агрохимическими свойствами почв

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная				
	коэф-фициент		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости	Fф	Fт
	корреляции	детерминации						
Дерново-подзолистые супесчаные почвы								
Гумус	0,23	0,05	0,200	0,63	0,40	0,001	25,7	251
pH	-0,31	0,10	0,050	0,33	0,11	0,001	0,6	251
N	-0,25	0,06	0,100	0,66	0,44	0,001	3,0	3,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29	0,08	0,100	0,56	0,31	0,001	2,1	3,8
K <sub>2</sub> O	0,44	0,19	0,010	0,52	0,27	0,001	0,9	4,5
Дозы	0,15	0,02	0,400	0,73	0,53	0,001	9,0	4,5
Дерново-подзолистые средне- и тяжело-суглинистые почвы								
Гумус	0,17	0,03	0,100	0,32	0,10	0,001	7,6	253
pH	-0,37	0,14	0,001	0,35	0,12	0,001	-	-
N	-0,67	0,45	0,001	0,85	0,72	0,001	8,0	2,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,18	0,001	0,58	0,34	0,001	1,8	2,6
K <sub>2</sub> O	0,34	0,12	0,001	0,47	0,22	0,001	6,1	19,5
Дозы	0,32	0,10	0,01	0,52	0,27	0,001	4,8	5,7

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель от вариации содержания гумуса в почве практически отсутствует: линейная корреляция характеризуется как слабая ( $r = 0,17-0,23$ ), криволинейная – как средняя ( $\eta = 0,32-0,63$ ), но гипотеза криволинейности корреляции отвергается ( $F_f < F_t$ ). Линейность значима на 5%-ном уровне.

Влияние реакции почвенной среды на изменчивость величины прибавки урожая картофеля, как правило, незначительно. Коэффициенты детерминации не превышали 0,10–0,14, индекс детерминации 0,11–0,12, то есть 86–90% вариации величины прибавки урожая картофеля определяются изменчивостью прочих факторов системы, а не состоянием кислотности почвы.

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах от обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом однозначно проявляется как обратная по направлению ( $r = -0,25 \dots -0,67$ ), криволинейная по форме, сильная по тесноте связи ( $\eta = 0,66-0,85$ ) и достоверная по значимости ( $t = 0,001$ ).

Влияние действия азотных удобрений на прибавку урожая картофеля в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором характеризуется как среднее по тесноте. При этом, судя по значениям индексов детерминации, более трети изменчивости прироста урожая картофеля (31–34%) обусловлены вариацией содержания подвижного фосфора в почве.

Связь эффективности азотных удобрений под картофель с содержанием подвижного калия в почве проявляется как кри-

волинейная по форме, средняя по тесноте ( $\eta = 0,47-0,52$ ) и достоверная по значимости ( $t = 0,010-0,001$ ).

Эффективность доз азотных удобрений под картофель на супесчаных почвах проявляется как криволинейная по форме и сильная по тесноте ( $\eta = 0,73$ ), на средне- и тяжелосуглинистых – как средняя ( $\eta = 0,52$ ). Доля варьирования прибавки урожая, обусловленная вариацией доз азота, довольно значительна – 52 и 27% соответственно.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы для разработки концептуальных моделей прогноза прибавки урожая [9-11].

В общем виде модель прогноза прибавки урожая можно представить следующим алгоритмом:

$$Y = (A + b/X_1) + (A + b/X_2) + (A + b/X_3) + (A + b/X_4),$$

где  $X_1$  – обеспеченность почв легкогидролизующим азотом;  $X_2$  – содержание в почве подвижного фосфора;  $X_3$  – содержание в почве подвижного калия;  $X_4$  – дозы азота.

Верификация модели позволяет определить долю участия каждого из них в формировании прибавки урожая картофеля. В данном случае она проведена на примере возделывания картофеля на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах.

Отправной точкой в расчетах является прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в интервале низкого содержания легкогидролизующего азота в почве (<50 мг/кг). В нашей выборке она составила 74 ц/га.

Принимая указанную величину прибавки урожая картофеля за 100% и используя предлагаемый Т.Н. Кулаковской метод комплексной оценки, можно рассчитать вклад каждого из факторов системы в формирование прибавки урожая [12].

Формула расчета вклада любого из факторов имеет следующий вид:

$ОВФ_1 = \eta \Phi_1 \cdot 100 / \sum (\eta \Phi_1 + \eta \Phi_2 + \eta \Phi_3 + \eta \Phi_4)$ , где ОВ – относительный вклад фактора, %;  $\eta$  – индекс детерминации  $\Phi_1-\Phi_4$  – изучаемые факторы.

Количественный вклад изучаемых факторов определяют по величине их относительного вклада и прибавке урожая:

$КВ = ПОВ$ , где КВ – количественный вклад, ц/га; П – прибавка урожая, ц/га.

Расчеты по определению относительного и количественного вкладов в формирование прибавки урожая картофеля выполняют отдельно по каждому фактору. В таблице 3 приведен вклад факторов в формирование прибавки урожая.

### 3. Факторы модели, их вклад в формирование прибавки урожая

Факторы	Корреляционное отношение	Относительный вклад, %	Прибавка урожая, ц/га	Количественный вклад, ц/га
Содержание легкогидролизующего азота	0,85	35	74	25,9
Содержание $P_2O_5$ в почве	0,58	25		18,5
Содержание $K_2O$ в почве	0,47	19		14,06
Дозы азота	0,52	21		15,54
$\Sigma$	2,42	100		74

Следующим этапом является количественная оценка вклада изучаемых факторов в формирование прибавки урожая картофеля в зависимости от вариации характеристик комплекса агрохимических свойств почв. Для этого выводят уравнения регрессии отдельно для каждого фактора системы.

Рассмотрим уравнения регрессии, используемые в моделях прогноза эффективности азотных удобрений под картофель.

#### Уравнения регрессии

Аргументы системы	Дерново-подзолистые средне- и тяжелосуглинистые почвы
Легкогидролизующий азот	$Y = 34,1744 + 0,0024X^2 - 0,5487X$
$P_2O_5$	$Y = 0,276X - 0,00056X^2 - 15,03834$
$K_2O$	$Y = 0,2233X - 0,0005X^2 - 10,2757$
Дозы азота	$Y = 0,1212X - 0,0000689X^2$

По уравнениям регрессии последовательно рассчитывают вклад отдельных факторов системы с учетом их вариации в пределах общепринятых градаций (табл. 4).

### 4. Прогноз вклада факторов системы в формирование прибавки урожая картофеля от азотных удобрений

Факторы	Градации	Прогнозируемый вклад, ц/га
Легкогидролизующий азот ( $X_1$ ), мг/кг	<50	26,0096
	50-75	9,2557
	76-100	4,5382
	>100	4,3964
$P_2O_5$ ( $X_2$ ), мг/кг	<50	-5,359
	50-100	2,5117
	101-150	10,7117
	>150	17,7617
$K_2O$ ( $X_3$ ), мг/кг	<80	0,6611
	80-120	7,0543
	121-170	11,5903
	171	14,6333
Доза азота ( $X_4$ ), кг/га	60	6,2683
	90	9,5943
	120	12,7962
	150	15,8741

На основании прогнозируемого вклада факторов в формирование прибавки урожая картофеля осуществляют табличную интерпретацию модели (табл. 5).

Выходная информация, представленная в таблице 5, бесспорно свидетельствует, что концептуальная модель прогноза эффективности азотных удобрений позволяет учесть степень неоднородности агрохимических свойств почв и одновременно оценить влияние их комплекса на формирование прибавки урожая картофеля.

### 5. Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений	Дозы азота, кг/га			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг						
<50	<80	102	28	31	34	37
	>170	107	42	45	48	51
>150	<80	107	51	54	57	60
	>170	112	65	68	71	74
Содержание легкогидролизуемого азота 50-75 мг/кг						
<50	<80	119	11	14	17	20
	>170	126	25	28	31	34
>150	<80	125	34	37	40	44
	>170	131	48	51	54	58
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг						
<50	<80	136	6	9	13	16
	>170	144	20	23	27	30
>150	<80	143	29	33	36	39
	>170	151	43	47	50	53
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	145	6	9	12	16
	>170	153	20	23	26	30
>150	<80	152	29	32	36	39
	>170	160	43	46	50	53

**Заключение.** Особенностью предлагаемой модели является то, что она обеспечивает возможность объективного прогноза эффективности азотных удобрений в зависимости от вариации агрохимических свойств почв, доз удобрений, то есть при динамическом состоянии аргументов системы.

Важно отметить принципиальный момент – получаемые таким образом данные по прибавкам урожая и окупаемости азотных удобрений этими прибавками следует рассматривать как нормативные показатели, которые можно использовать при определении доз азота. В этом и заключается их практическая значимость.

#### Литература

1. Варалля Д. Итоги моделирования производительности почв в Венгрии. Проблемы почвенного плодородия в интенсивном земледелии стран-членов СЭВ // Бюллетень Почвенного института им. В.В.

Докучаева. - 1989. - Вып. 53. - С.19-23.

2. Войтович Н.В. Агрохимические модели плодородия почв и их оценка // Химия в сельском хозяйстве. - 1995. - № 6. - С.31-33.

3. Гончар-Зайкин П.П. Моделирование плодородия почв. Интегрированные приемы повышения плодородия почв Нечерноземной зоны. - Л., 1988. - С.24-77.

4. Иванова Т.И. Оптимизация системы удобрения в севообороте с использованием математических моделей// Автореферат дисс. на соискание ученой степени докт с.-х. наук. - М., 1990. - 37 с.

5. Литвак Ш.И. Системный подход к агрохимическим исследованиям. - М.:Агропромиздат, 1990. - 220 с.

6. Орехова Н.П., Володин В.М., Юринская В.Ф. Модели плодородия чернозема типичного// Тезисы докладов VII Всесоюзного общества почвоведов. - Ташкент, 1985. -16 с.

7. Малыгина Л.П., Южаков А.И. Математическое моделирование оптимального состояния почв в интенсивном земледелии // Тезисы докладов VIII Всесоюзного общества почвоведов. - Новосибирск, 1989. - С. 277.

8. Блауберг И.В. и др. Проблемы методологии системного исследования. - М., 1970. - С.7.

9. Прошкин В.А., Адрианов С.Н., Шаброва Е.В. Модель прогноза прибавки урожайности озимой пшеницы при применении фосфорных удобрений // Агрохимия. - 2011. - № 6. - С.22-29.

10. Прошкин В.А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы// Агрохимия. № 7. - 2012. - С. 16-27.

11. Адрианов С.Н., Прошкин В.А., Шаброва Е.В., Широкова С.В. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность фосфорных удобрений при внесении под картофель. - М.: ВНИИА, Материалы Всероссийской конференции учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями 26-27 июня 2012 г. «Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями», 2012.-С.44-46.

12. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. - Минск: Ураджай, 1978. - 272 с.

## **PREDICTING THE NITROGEN FERTILIZER EFFICIENCY ON POTATO FROM THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SODDY-PODZOLIC SOILS**

**V.A. Proshkin, S.V. Shvyrkina**

***Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences,  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia***

*A stochastic few-component model has been developed for predicting the nitrogen fertilizer efficiency on potato. The use of the model allows selecting an optimum nitrogen application rate for the maximum gain in crop yield depending on the soil supply with easily hydrolysable nitrogen and mobile phosphorus and potassium.*

*Keywords: potato, nitrogen fertilizers, model, predicting the yield gain.*