

## УЧЕТ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

*Рассматривается проблема влияния уровня минерального питания растений на урожайность. Получены расчетные уравнения влияния вносимых доз удобрений на урожайность общей сухой биомассы растений. Все параметры уравнений несут точную физиологическую нагрузку. Дана оценка влияния уровня минерального питания на процессы фотосинтеза и дыхания. Расчет может быть использован при программировании урожайности сельскохозяйственных культур.*

**Ключевые слова:** минеральное питание, азот, фосфор, калий, урожайность, продукционный процесс.

**Введение.** На колебания урожайности от года к году существенное влияние оказывают агрометеорологические условия произрастания сельскохозяйственных культур. В то же время, на прибавку урожая заметное влияние оказывает внесение удобрений. Учет этой составляющей (минеральное питание растений) в современных динамических моделях продукционного процесса растений осуществляется различными способами. Так, А.Н. Полевой [1] предлагает рассматривать потребление азота на уровне отдельных фитомеров растения. При этом, предполагается некоторый оптимальный уровень потребления азота для роста фитомера делением и растяжением. Абашина Е.В. [2], Сиротенко О.Д. и Нестерова Ж.А. [3] предлагают рассматривать процесс поглощения азота корнями растений. Для этого создан специальный блок «Азот» в динамической модели продукционного процесса растений. При этом, в работах [1,2,3] рассматривается динамический подход движений азота и его влияние на элементы продукционного процесса. Для этого вводятся функции влияния, прежде всего температурного фактора, на динамические процессы движения азота из почвы в растение и его участие в продукционном процессе. Других элементов минерального питания растений в работах [1,2,3] не рассматривается. Дж. Франс и Дж.Х.М. Торнли [4] рассматривают влияние удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур с помощью обратных полиномов. Типичным является соотношение

$$\frac{1}{Y} = \frac{1}{\left(1 - \frac{N}{\alpha}\right)} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{B_N N} + \frac{1}{B_P P} + \frac{1}{B_K K} \right), \quad (1)$$

где  $Y$  – урожайность культуры;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий снижение урожайности от избытка азота в почве;  $A$ ,  $B_N$ ,  $B_P$ ,  $B_K$  – константы;  $N$ ,  $P$ ,  $K$  – соответственно нормы внесения азота, фосфора и калия. Это уравнение учитывает влияние внесения минеральных удобрений на конечный урожай культуры. Такой подход несколько ближе к исследованиям по программированию урожая сельскохозяйственных культур, развиваемый в работах И.С. Шатилова, М.К. Каюмова [5], Шатилова И.С., Чудновского А.Ф. [6], Ивановой Т.И. [7] и других [8]. В то же время, в работах [5,6,8] предлагается линейный подход к определению влияния удобрений на урожайность. Множество нелинейных статистических зависимостей предложены в работе [7] и такие зависимости учитывают влияние различных сочетаний внесения минеральных удобрений на конечный урожай сельскохозяйственных культур

$$Y = a_0 + a_1 N^{0.5} + a_2 N + a_3 P^{0.5} + a_4 P + a_5 K^{0.5} + a_6 K + a_7 (NP)^{0.5} + a_8 (NK)^{0.5} + a_9 (PK)^{0.5}, \quad (2)$$

где  $Y$  – урожайность, ц/га;  $a_0$  – свободный член, характеризующий урожайность без удобрений;  $a_1, a_2$  и т.д. – коэффициенты, предназначенные для описания направленности, силы действия удобрений и их взаимодействия;  $N, P, K$  – доза удобрений, соответственно азота, фосфора, калия. Отметим, что уравнения (1) и (2) рассчитаны в абсолютных единицах и не могут быть использованы в динамических моделях продукционного процесса растений. Кроме того, коэффициенты в уравнениях (1) и (2) не несут физиологической нагрузки. Поэтому, **целью** данной работы является установление влияния внесения доз минеральных удобрений на элементы продукционного процесса растений: фотосинтез и дыхание. К **задачам** работы следует отнести параметризацию предлагаемого расчета.

**Материалы и методы исследования.** Для анализа влияния внесения доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры рассмотрим полученные данные эксперимента в работе [7]. На рис.1 представлены экспериментальные данные внесения различных доз минеральных удобрений в различных сочетаниях под озимую пшеницу. При этом, на рис.1 рассматривается не урожайность, а прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  согласно формуле

$$Y_{NPK} = Y_0 + \Delta Y_{NPK}, \quad (3)$$

где  $Y_0$  – урожайность без удобрений;  $\Delta Y_{NPK}$  – прибавка урожайности за счет внесения удобрений;  $Y_{NPK}$  – полная урожайность.

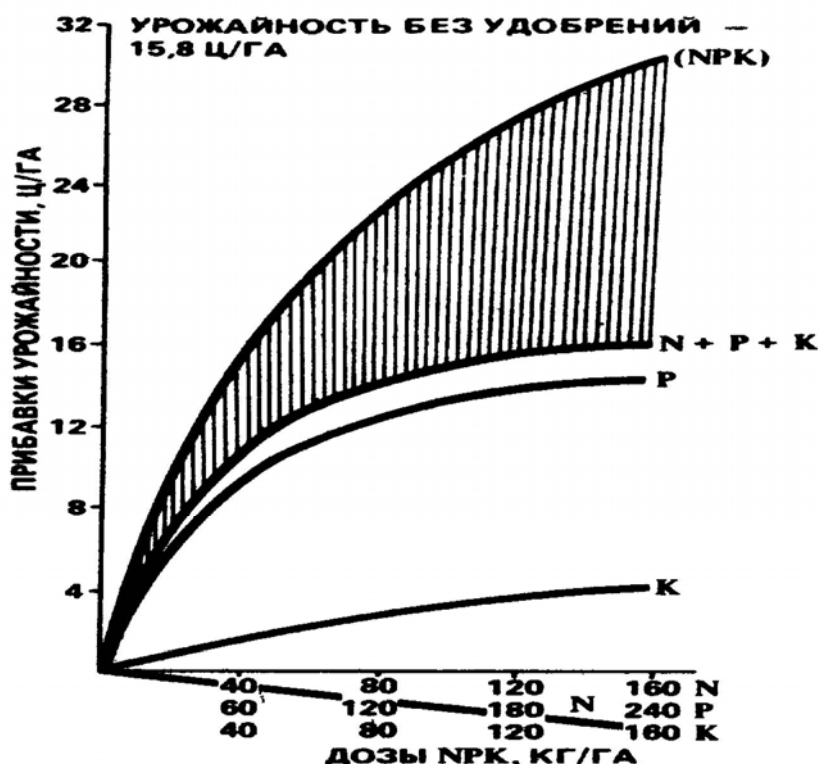


Рисунок 1 - Прибавка урожайности озимой пшеницы  $\Delta Y_{NPK}$  под действием минеральных удобрений (по данным [7]):

$N, P, K$  – при раздельном внесении;  $N+P+K$  – сумма прибавок от раздельного применения;  $(NPK)$  – при совместном внесении; заштриховано – величина взаимодействия.

Согласно данным, представленным на рис.1, отдельное внесение азота N снижает урожайность. Совместное внесение азота, фосфора и калия (N,P,K) увеличивает прибавку урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  до каких-то оптимальных значений. То есть существует оптимальный предел внесения доз минеральных удобрений. Превышение этого предела уже будет снижать прибавку урожайности  $\Delta Y_{NPK}$ . Дальнейшее увеличение вносимых доз удобрений приведет к перенасыщению почвы минеральными веществами, и мы получим нулевую и даже отрицательную прибавку урожайности  $\Delta Y_{NPK}$ . Таким образом, весь диапазон изменения вносимых доз удобрений и реакция на эти дозы со стороны растений заключается в следующем: с постепенным увеличением доз удобрений прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  постепенно увеличивается от нулевого значения, достигает своего максимума и затем снижается до нуля и даже в сторону отрицательных значений. Теперь рассмотрим эту схему и введем некоторые показатели согласно работам [5,6,8,9,10].

Согласно этим работам, можно выделить несколько показателей, характеризующих условия питания растений: 1. Величина вносимой дозы удобрения данного вида  $X_k$  ( $k=N, P, K$ ) (кг действующего вещества на га); 2. Величина содержания  $k$ -го питательного вещества в корнеобитаемом слое почвы перед внесением удобрения  $S_k$  (кг действующего вещества на га); 3. Оптимальная величина содержания  $k$ -го питательного вещества в корнеобитаемом слое почвы  $S_k^0$  (кг действующего вещества на га). Выделенные показатели, согласно приведенным выше работам, влияют на рост растений с поправочными коэффициентами:  $k_k^u$  – коэффициент использования  $k$ -го питательного вещества из удобрения;  $k_k^p$  – коэффициент использования  $k$ -го питательного вещества из почвы. Обобщенная характеристика условий питания растений  $Arg_k$ , таким образом, может иметь вид

$$Arg_k = \frac{X_k \cdot k_k^u + S_k \cdot k_k^p}{S_k^0 \cdot k_k^p}, \quad (4)$$

где нижний индекс  $k$  означает тот либо иной вид удобрения: N, P, K. Здесь в числителе общий уровень используемых веществ, а в знаменателе – его оптимальное значение. В целом, переменная  $Arg_k$  будет принимать значения от 0 до 1 и выше. В момент  $Arg_k=1$  условия питания растения будут оптимальными. Пусть мы внесли некоторую дозу удобрений под выращиваемую культуру. При этом, если значение обобщенной характеристики условий питания растений  $Arg_k$  будет находиться в диапазоне  $[0;1]$ , то прибавка урожая  $\Delta Y_{NPK}$  будет положительна.

Пусть обобщенная характеристика условий питания растений  $Arg_k$  постепенно изменяется от 0 до 1. Тогда прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  будет постепенно возрастать, достигнет максимума, а при подходе величины  $Arg_k$  к значению, равному 1, прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  будет нулевая. После того, как условия питания растений превысят оптимальное значение ( $Arg_k>1$ ) прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  будет падать в отрицательных значениях. Таким образом, мы построили функцию (рис.2). При этом, прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  в диапазоне  $0<Arg_k<0.5$  такая же как на рис.1. Вид функции, представленной на рис.2, состоит в следующем

$$\Delta Y_{NPK} = -4Arg_k^2 + 4Arg_k. \quad (5)$$

Понятно, что значение  $Arg_k=0$  не может быть, так как в почве всегда находится некоторое количество  $k$ -го питательного вещества. Тем самым, обеспечена некоторая ненулевая прибавка урожайности  $\Delta Y_{NPK}>0$ .

Теперь, в уравнении (5) перейдем к пределу  $\Delta Y_{NPK} \rightarrow dY_{NPK}$  и запишем аргумент  $Arg_k$  по уравнению (4)

$$\frac{dY'_{NPK}}{dX_k} = -4 \left( \frac{X_k \cdot k_k^u + S_k \cdot k_k^p}{S_k^0 \cdot k_k^p} \right)^2 + 4 \frac{X_k \cdot k_k^u + S_k \cdot k_k^p}{S_k^0 \cdot k_k^p}. \quad (6)$$

Тем самым мы получили дифференциальное уравнение, выраженное в относительных единицах измерения. При этом мы сразу перешли к изменению прибавки урожайности  $dY'_{NPK}$  в зависимости от изменения независимой переменной  $dX_k$  – изменения дозы удобрения. Чтобы перейти от относительных единиц измерения к единицам  $\text{кг} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$  действующего вещества, необходимо уравнение (6) целиком умножить на константу максимальной скорости  $dY_{\max}/dX_k = C_{k\max}$ .

$\Delta Y_{NPK}$

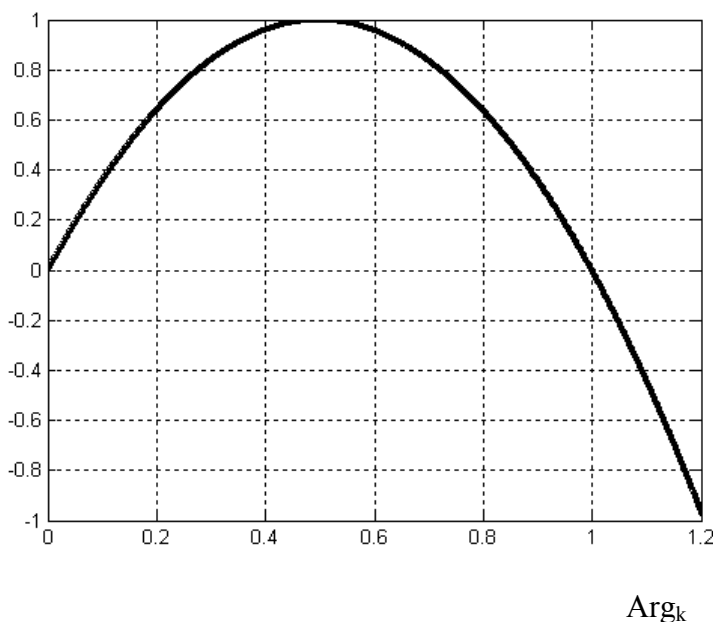


Рисунок 2 – Относительное изменение прибавки урожайности  $\Delta Y_{NPK}$  в зависимости от условий питания растений  $Arg_k$ .

Константа максимальной скорости прибавки урожайности культуры  $C_{k\max}$  характеризует максимальную отзывчивость культуры на внесение того либо иного вида удобрения

$$\frac{dY_{NPK}}{dX_k} = -4C_{k\max} \left( \frac{X_k \cdot k_k^u + S_k \cdot k_k^p}{S_k^0 \cdot k_k^p} \right)^2 + 4C_{k\max} \frac{X_k \cdot k_k^u + S_k \cdot k_k^p}{S_k^0 \cdot k_k^p}. \quad (7)$$

Для нахождения явной зависимости  $Y_{NPK}$  от величины вносимой дозы удобрения  $X_k$  необходимо проинтегрировать последнее уравнение (7) по независимой переменной  $X_k$  при остальных постоянных величинах. После интегрирования и приведения подобных членов получаем

$$Y_{NPK} = \frac{4C_{k\max}}{S_k^0 \cdot k_k^p} \left[ -\frac{1}{3} (k_k^u)^2 \cdot X_k^3 + \left( \frac{1}{2} k_k^u \cdot k_k^p \cdot S_k^0 - k_k^u \cdot k_k^p \cdot S_k \right) \cdot X_k^2 + \right. \\ \left. + \left( k_k^p \cdot k_k^p \cdot S_k^0 \cdot S_k - (k_k^p \cdot S_k)^2 \right) \cdot X_k \right] + C_{const}, \quad (8)$$

где  $C_{const}$  – константа интегрирования. Эта константа является свободным членом и характеризует урожайность без внесений удобрений по типу константы  $a_0$  в уравнении (2). Таким образом, мы получили существенно нелинейное уравнение по отношению к вносимой дозе удобрений  $X_{NPK}$ . Для нахождения свободного члена  $C_{const}$  в уравнении (8) рассмотрим балансовое уравнение [5,10], используемое при программировании урожая

$$X_k = \frac{V_k - k_k^p \cdot S_k}{k_k^u}, \quad (9)$$

где  $V_k$  – вынос  $k$ -го питательного вещества с урожаем,  $кг \cdot га^{-1}$ . Вынос питательных веществ складывается из величины массы урожая  $Y$  и содержания  $k$ -го питательного вещества в единице массы урожая  $k_k$

$$V_k = Y \cdot k_k. \quad (10)$$

Тогда уравнение (9) с учетом (10) принимает вид

$$X_k = \frac{Y \cdot k_k - k_k^p \cdot S_k}{k_k^u}. \quad (11)$$

После преобразования получаем

$$Y = \frac{k_k^u}{k_k} X_k + \frac{k_k^p \cdot S_k}{k_k}, \quad (12)$$

где урожай зависит от вносимой дозы удобрения  $X_k$  и свободного члена. Для сохранения балансового подхода в уравнении (8) нам необходимо принять константу интегрирования  $C_{const}$  равной свободному члену в уравнении (12)

$$C_{const} = \frac{k_k^p \cdot S_k}{k_k}, \quad (13)$$

то есть мы получили уравнение

$$Y_{NPK} = \frac{4C_{k \max}}{S_k^0 \cdot k_k^p} \left[ -\frac{1}{3} (k_k^u)^2 \cdot X_k^3 + \left( \frac{1}{2} k_k^u \cdot k_k^p \cdot S_k^0 - k_k^u \cdot k_k^p \cdot S_k \right) \cdot X_k^2 + \left( k_k^p \cdot k_k^p \cdot S_k^0 \cdot S_k - (k_k^p \cdot S_k)^2 \right) \cdot X_k \right] + \frac{k_k^p \cdot S_k}{k_k}. \quad (14)$$

Это уравнение рассчитывает урожайность культуры  $Y_{NPK}$  в единицах  $кг \cdot га^{-1}$ . Для перехода к единицам урожайности  $ц \cdot га^{-1}$  либо  $т \cdot га^{-1}$  необходимо полученный результат умножить на переходной коэффициент: 0.01 либо 0.001. Полученную зависимость урожайности культуры  $Y_{NPK}$  от вносимой дозы удобрения  $X_k$  мы не можем непосредственно включить в динамическую модель продукционного процесса растений, так как она рассчитана в абсолютных единицах измерения:  $ц \cdot га^{-1}$ . Нам необходима относительная величина изменения урожайности в зависимости от вносимой дозы удобрений. Для этого функция (14) нормируется по отношению к своему максимуму. Интересующий нас максимум функции (14) будет наблюдаться тогда, когда её производная будет равна нулю, то есть в точке  $Arg_k=1$ . Тогда значение вносимой дозы удобрения  $X_k$  в точке максимума  $X_{k \max}$ , согласно уравнению (4), будет равно

$$X_{k \max} = \frac{k_k^p}{k_k^u} (S_k^0 - S_k). \quad (15)$$

Таким образом, по уравнению (15) мы можем рассчитать максимальную дозу удобрений, при которой может быть получен наивысший урожай  $Y_{NPK\max}$ . Качество урожая здесь не рассматривается. Подставляя найденное  $X_{k\max}$  в уравнение (14) мы получаем  $Y_{NPK\max}$

$$Y_{NPK\max} = f(X_{k\max}). \quad (16)$$

Окончательно функция влияния условий питания растений на общую урожайность (урожайность общей биомассы) может быть рассчитана как отношение текущей урожайности  $Y_{NPK}$  к максимальной урожайности  $Y_{NPK\max}$  по формуле

$$\alpha_k = \frac{Y_{NPK}}{Y_{NPK\max}}, \quad (17)$$

где выбор индекса  $k$  означает расчет функции влияния  $\alpha_k$  для каждого действующего вещества удобрения: N, P либо K.

Таким образом, мы получили безразмерные функции, описывающие влияние внесения азота, фосфора и калия на урожайность общей биомассы культуры.

Рассмотрим теперь влияние этих функций на процессы фотосинтеза и дыхания. Общая биомасса посева складывается из приростов биомассы за каждый шаг роста. Шаг может быть как конечным (например, одни сутки) так и бесконечно малым. Поэтому уравнение накопления общей биомассы имеет вид

$$M = \int_{t_n}^{t_k} dM, \quad (18)$$

где  $M$  – общая биомасса посева растений;  $t_n$  – момент начала роста;  $t_k$  – момент завершения роста. В то же время дифференциальная форма этого уравнения, согласно исследованиям Давидсона и Филиппа [11] имеет вид

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d\Phi}{dt} - \frac{dR}{dt}, \quad (19)$$

где  $\frac{d\Phi}{dt}$  – скорость процесса фотосинтеза растений;  $\frac{dR}{dt}$  – скорость процесса дыхания растений. Согласно основополагающему принципу Либиха говорящему о том, что факторы среды являются взаимозаменяемыми и фактор, находящийся в минимуме определяет урожайность культуры, мы можем записать

$$Y_{NPK} = M_{NPK} = M_0 \cdot \alpha_N \cdot \alpha_P \cdot \alpha_K, \quad (20)$$

где  $M_0$  – урожайность общей биомассы культуры без удобрений. Согласно свойствам интегралов, функции влияния внесения минеральных удобрений  $\alpha_k$  мы можем внести под знак интеграла. Поэтому окончательно мы получаем влияние функций  $\alpha_k$  на процессы фотосинтеза и дыхания в виде

$$\frac{dM_{NPK}}{dt} = \left( \frac{d\Phi}{dt} - \frac{dR}{dt} \right) \cdot \alpha_N \cdot \alpha_P \cdot \alpha_K. \quad (21)$$

Следует отметить, что полученные функции влияния внесения минеральных удобрений на величину урожайности культуры являются стационарными функциями, поскольку рассматривается содержание питательных веществ в почве до внесения удобрений и сам факт внесения удобрений. Динамический процесс движения удобрений в почве к корням растений, динамика содержания данного питательного вещества в почве в процессе вегетации культуры не рассматривается. Получена лишь общая характеристика влияния уровня минерального питания на интенсивность процессов фотосинтеза и дыхания.

**Результаты исследований и их анализ.** Для проведения предложенного расчета учета уровня минерального питания растений необходимо иметь начальные данные по следующим показателям:

1. Содержание данного элемента питательного вещества в почве перед внесением удобрений  $S_k$  ( $k=N,P,K$ ), кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>;
2. Оптимальная величина содержания данного элемента питательного вещества в почве для данной культуры  $S_k^0$  ( $k=N,P,K$ ), кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>;
3. Коэффициент использования данного питательного вещества из удобрений  $k_k^u$  ( $k=N,P,K$ ), относит. ед.;
4. Коэффициент использования данного питательного вещества из почвы  $k_k^p$  ( $k=N,P,K$ ), относит. ед.;
5. Коэффициент содержания данного питательного вещества в общей биомассе растений  $k_k$  ( $k=N,P,K$ ), относит. ед.;
6. Максимальная отзывчивость данной культуры на внесение минеральных удобрений  $C_{kmax}$  ( $k=N,P,K$ ), кг·кг<sup>-1</sup> действ. в-ва.

Такие данные были получены для озимой пшеницы в условиях Одесской области, ст. Буялык, табл.1. Часть начальных данных взята из литературных источников [8,10], при этом, рассматривался пахотный слой почвы.

Таблица 1 - Начальные значения показателей уровня минерального питания озимой пшеницы для условий Одесской области, ст. Буялык

№ п/п	Показатель	Элемент питательного вещества		
		Азот k=N	Фосфор k=P	Калий k=K
1	$S_k$ , кг действ. в-ва·га <sup>-1</sup>	110	140	450
2	$S_k^0$ , кг действ. в-ва·га <sup>-1</sup>	290	450	950
3	$k_k^u$ , относит. ед.	0.70	0.20	0.70
4	$k_k^p$ , относит. ед.	0.70	0.15	0.23
5	$k_k$ , относит. ед.	0.03	0.01	0.04
6	$C_{kmax}$ , кг·кг <sup>-1</sup> действ. в-ва	0.25	0.26	0.19

Опираясь на данные, представленные в табл.1, был проведен численный расчет урожайности общей сухой биомассы озимой пшеницы по уравнению (14)-рис.3, рис.4. При этом, задавалась различная величина вносимой дозы удобрения (азота)  $X_N$  в диапазоне от 0 до 250 кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup> и различное оптимальное значение содержания азота в пахотном слое почвы  $S_N^0$  в диапазоне от 200 до 300 кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>. Полученные численные значения урожайности общей сухой биомассы озимой пшеницы представлены на рис.3. Как видно из рис.3, начальная урожайность общей сухой биомассы озимой пшеницы без внесения удобрения составляет 27 ц·га<sup>-1</sup>. Внесение азота увеличивает урожайность до определенного предела. При этом видно, что максимум урожайности при повышении оптимальных значений содержания азота в почве постепенно сдвигается в сторону увеличения.

Такой же численный эксперимент был проведен с действующим элементом фосфор – рис.4. Однако, на рис.4, исследовалось различное сочетание вносимой дозы удобрения  $X_P$  (в диапазоне от 0 до 400 кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>) и различная биологическая отзывчивость озимой пшеницы на факт внесения удобрения  $C_{Pmax}$ . Как видно из рис.4, чем выше биологическая отзывчивость культуры, тем выше урожайность общей сухой биомассы. При этом видно, что существует свой оптимум вносимой дозы удобрения. Доза удобрения выше оптимума заметно снижает урожайность общей биомассы.

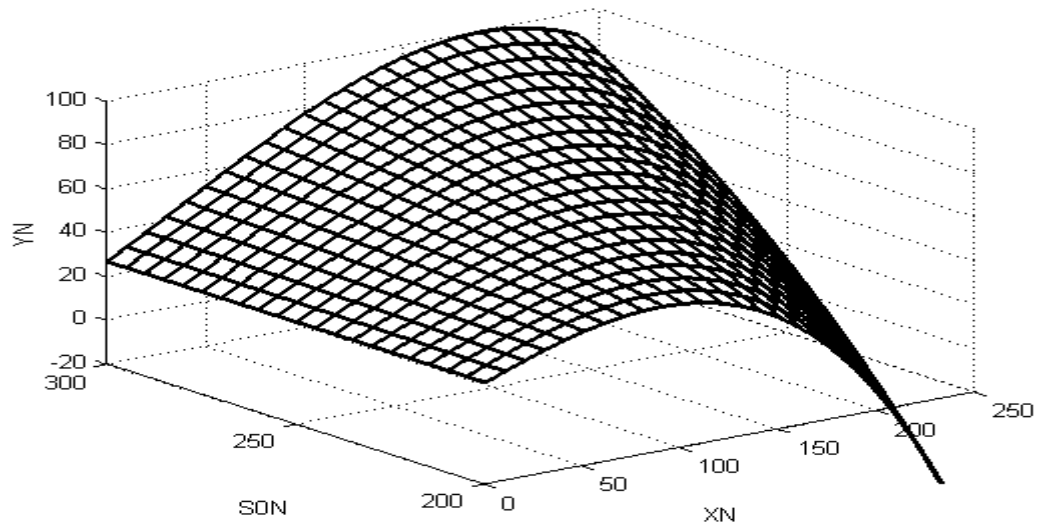


Рисунок 3 - Результаты численного эксперимента по определению урожайности общей сухой биомассы озимой пшеницы в зависимости от различных доз азота и различных оптимальных значений содержания азота в почве:

YN – урожайность общей сухой биомассы, ц·га<sup>-1</sup>;

XN – величина вносимой дозы азота, кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>;

SON – различные значения оптимального содержания азота в пахотном слое почвы, кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>.

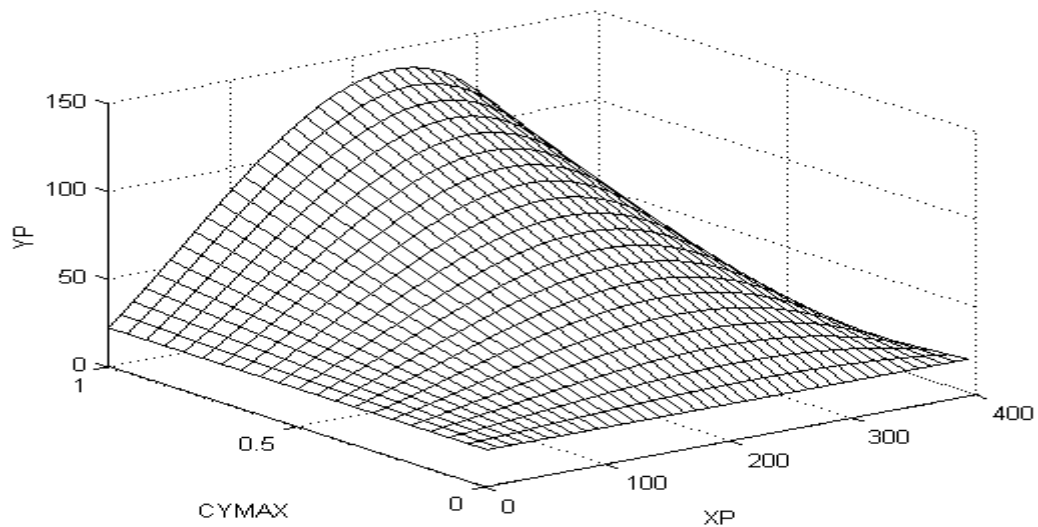


Рисунок 4 - Влияние различных доз фосфора и различной биологической отзывчивости на урожайность общей сухой биомассы озимой пшеницы:

XP – различные дозы фосфора, кг действ. в-ва·га<sup>-1</sup>;

CYMAX – различная биологическая отзывчивость озимой пшеницы на внесение фосфора, кг·кг<sup>-1</sup> действ. в-ва;

YP – урожайность общей сухой биомассы озимой пшеницы, ц·га<sup>-1</sup>.



### **Выводы.**

1. Представлена обобщенная характеристика условий минерального питания растений, где в числителе общий уровень используемых веществ, а в знаменателе – его оптимальное значение.
2. Получено дифференциальное уравнение зависимости прибавок урожайности от изменения вносимых доз минеральных удобрений.
3. Получено расчетное нелинейное уравнение зависимости урожайности культуры от вносимой дозы минеральных удобрений. Все параметры уравнений имеют точный физиологический смысл.
4. Дана оценка влияния доз минеральных удобрений на процессы фотосинтеза и дыхания.
5. Проведены численные эксперименты по оценке влияния различных доз минеральных удобрений и различных параметров на урожайность общей сухой биомассы озимой пшеницы.

### **Список литературы**

1. *Полевой А.Н.* Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Ленинград, Гидрометеиздат, - 1988, -319 С.
2. *Абашина Е.В.* Метод учета азотного питания растений в динамических моделях, предназначенных для оценки агрометеорологических условий формирования урожая яровых зерновых культур.// Труды ИЭМ, - 1979, Вып.13(91), С.101-119.
3. *Сиротенко О.Д., Нестерова Ж.А.* Об учете процессов минерального питания растений в рамках физико-математических моделей «погода - урожай».// Труды ИЭМ, - 1976, Вып.8(67), С.68-76.
4. *Франс Дж., Торнли Дж.Х.М.* Математические модели в сельском хозяйстве. – Москва, Агропромиздат, - 1987, -400 С.
5. Программирование урожая сельскохозяйственных культур. Под ред. Шатилова И.С., Каюмова М.К., - Москва, «Колос», - 1975, - 310 С.
6. *Шатилов И.С., Чудновский А.Ф.* Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Ленинград, Гидрометеиздат, - 1980, - 320 С.
7. *Иванова Т.И.* Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – Москва, Агропромиздат, - 1989, - 235 С.
8. Справочник по определению норм удобрений под планируемый урожай. – Киев, Урожай, - 1989, - 512 С.
9. *Семин В.С., Бондаренко С.Г., Земшман А.Я.* Применение изотопов для быстрой диагностики питания при программировании урожая. В кн.: Программирование урожая сельскохозяйственных культур. Под ред. Бондаренко С.Г., - Кишинев, - 1976, С.141-150.
10. *Каюмов М.К.* Справочник по программированию продуктивности полевых культур. – Москва, Россельхозиздат, - 1982, - 288 С.
11. *Davidson J.L. and Philip J.R.* Light and pasture growth.// In: Climatology and Microclimatology. – UNESCO, - 1958, p.181-187.

**Облік рівня мінерального живлення рослин в динамічних моделях продукційного процесу. Наумов М.М.**

*Розглядається проблема впливу рівня мінерального живлення рослин на врожайність. Були отримані розрахункові рівняння впливу доз добрив, що вносяться, на врожайність загальної сухої біомаси рослин. Всі параметри рівнянь несуть точне фізіологічне навантаження. Дана оцінка впливу рівня мінерального живлення на процеси фотосинтезу і дихання. Розрахунок може бути використаний при програмуванні врожайності сільськогосподарських культур.*

**Ключові слова:** мінеральне живлення, азот, фосфор, калій, врожайність, продукційний процес.

**Consideration of level of plant mineral nutrition in behavioral models for a productional process. Naumov M.M.**

*The problem of influence of level of plant mineral nutrition on productivity is under consideration in the paper. Computation equations for the effect of the application rates of fertilizers on productivity of dry standing crop are derived. All the parameters of the equations are juxtaposed with plant physiology. Estimation of influence of mineral nutrition level on the processes of photosynthesis and respiration is given. The computation can be used at crop capacity sequencing.*

**Keywords:** mineral nutrition, nitrogen, phosphorus, potassium, productivity, productional process.