

7. Некрасов Р.В., Чабаев М.Г., Карташов М.И., Воинова Т.М. Продуктивные качества лактирующих коров при использовании в рационах силоса, приготовленного с внесением биологического консерванта «Фермасил» // Кормопроизводство. – 2015. – № 10. – С. 34–40.

8. Торжков Н.И. Программный комплекс «Рацион 2+» для составления и балансирования рационов для сельскохозяйственных животных / Н.И. Торжков, Ж.С. Майорова, Д.А. Благов // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 5–2. – С. 216–217.

9. Шарифьянов Б.Г., Хазиахметов Ф.С., Набиев А.Т., Ханнанов В.М. Заготовка, хранение и выемка силоса и сенажа из бобовых культур // В сборнике: Актуальные проблемы и пути развития животноводства материалы Всероссийской научно-практической конференции в честь 75-летия основания кафедры физиологии и биохимии животных, памяти профессора П.Я. Гущина. – 2009. – С. 246–250.

## FORECASTING CROPS YIELDS ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELS OF HUMUS BALANCE, SOIL ACIDITY, NPK

**D.A. Blagov**, candidate of biological Sciences, Senior Researcher

**S.V. Mitrofanov**, candidate of agricultural Sciences, Leading Researcher

**V.S. Nikitin**, specialist of consultation office

**N.S. Panfyorov**, candidate of technical Sciences, Senior Researcher

**E.V. Pestryakov**, research worker,

Institute of engineering support of agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”

**Abstract.** In this paper consideration is given to mathematical models of calculation of potential productivity of crops, based on the correlation between the level of crop yield and agrochemical indicators of soil fertility. The developed mathematical models constitute the basis for the software package for forecasting crop yields, which can be successfully applied in agricultural enterprises of Central, Central Black Earth, Northwestern, Volga, Volga-Vyatka and Ural economic regions of the Russian Federation.

**Keywords:** crop productivity, humus, soil acidity, mathematical model, coefficients of equation, forecast.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БАЛАНСА ГУМУСА, КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ, NPK

**Д.А. Благов**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник

**С.В. Митрофанов**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник

**В.С. Никитин**, специалист консультационного отдела

**Н.С. Панферов**, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник

**Е.В. Пестряков**, научный сотрудник

Институт технического обеспечения сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

**Аннотация.** В статье рассматриваются математические модели расчета потенциально возможных урожаев сельскохозяйственных культур, основанные на взаимосвязи урожайности с агрохимическими показателями плодородия почв. Разработанные математические модели легли в основу программного комплекса по прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур, который может с успехом применяться в сельскохозяйствен-

ных предприятиях Центрального, Центрально-Черноземного, Северо-Западного, Поволжского, Волго-Вятского, Уральского экономических районов Российской Федерации.

**Ключевые слова:** урожайность, гумус, кислотность почвы, математическая модель, коэффициенты уравнения, прогноз.

**Введение.** Решение проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства является одной из важнейших задач, стоящих перед страной. Особое значение для повышения устойчивости производства в АПК имеют прогнозы урожайности сельскохозяйственных культур. Разработка математической модели прогнозирования должна учитывать ряд важнейших факторов, оказывающих влияние на количество и стабильность получаемых урожаев, в частности почвенно-климатические условия региона, состояние материально-технической базы хозяйства и т. д. [2]. Существует много различных методик для прогнозирования урожайности. Если не учитывать различные модификации в подходе к прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур, то можно констатировать, что в настоящее время оно осуществляется двумя путями. Первым является путь экстраполяции тех тенденций, которые сложились в динамике урожайности производственных предприятий, предшествующие составлению прогноза.

Для прогнозирования ожидаемой урожайности по прошлым значениям временного ряда используются также различные авторегрессионные модели. С увеличением заблаговременности надежность методов прогноза, основанных на экстраполяции тенденции, снижается.

Второй путь - это расчет тенденции изменения уровня урожайности. Расчет может быть более точным, если при составлении прогноза учитывать динамику факторов, от которых зависит урожайность сельскохозяйственных культур. В этом случае представляется возможным построить многофакторные зависимости, позволяющие рассчитать ожидаемую величину урожая в каждом году исследуемого периода с учетом запланированной (ожидаемой) величины указанных факторов [4].

Методика на основе трендовой модели позволяет рассчитать вероятные границы прогнозируемой урожайности, но при этом не дает возможности выйти на достоверный результат. Это связано с тем, что учет по растениеводческой продукции ведется на различных типах почв имеющих различные физические и химические показатели [1].

**Основная часть.** Важнейшей задачей при разработке математической модели стало нахождение взаимосвязей агрохимических показателей почвы с урожайностью сельскохозяйственных культур [3].

Разработанный алгоритм прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур основан на агрохимических показателях почвы – гумус, обменный калий (К), доступный фосфор (Р) и рН солевой вытяжки. Расчет прогнозирования состоит из следующих этапов. На первом этапе при помощи разработанной математической модели производится расчет прогноза урожайности по азоту, фосфору, калию в зависимости от содержания в почве гумуса, калия, фосфора, соответственно.

Математическая модель расчета представлена в виде уравнения:

$$Y_{NPK} = \frac{A_1 X_1 (1 + X_2)}{1 + A_2 X_2 + A_3 X_1 X_2}, \quad (1)$$

где  $Y_{NPK}$  – прогноз урожайности (по азоту, фосфору, калию), ц/га;

$X_1$  – гумус почвы (из данных агрохимического обследования), т/га;

$X_2$  – агрегированная переменная, включающая все основные источники поступления азота, фосфора, калия в почву (из нормативно-справочной информации);

$A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты уравнения, полученные в процессе оценки параметров аппроксимирующей функции.

На втором этапе производится расчет урожайности по кислотности почвы по ниже представленной формуле:

$$Y_{pH} = \frac{Y_{\max}}{1 + Ae^{-B \cdot pH}}, \quad (2)$$

где  $Y_{pH}$  – прогноз урожайности, ц/га;

$Y_{\max}$  – максимально возможная урожайность с.-х. культуры, ц/га;

$e$  – основание натурального логарифма;

$A, B$  – коэффициенты уравнения, полученные в процессе оценки параметров;

$pH$  – кислотность почвы (из данных агрохимического обследования).

Стоит отметить, что высокая кислотность почвы является ограничивающим фактором урожайности сельскохозяйственных культур. Для выращивания культурных растений оптимальной границей  $pH$  является диапазон от 5,5 до 6,5. Однако при снижении оптимального предела  $pH$  почвы биодоступность основных элементов питания либо значительно уменьшается, либо увеличивается до критической концентрации, так что содержащиеся элементы становятся токсичными для растений. Поэтому кислотность почв всегда была и остается одним из потенциально ограничивающих факторов получения урожая.

На заключительном этапе выбирается наименьший из выше указанных прогнозов в соответствии с известным законом минимума (зависимость урожайности различных культур от находящегося в минимуме одного из элементов питания почвы).

Рассчитать прогноз урожайности по такой методике можно для любого сельскохозяйственного предприятия, с учетом сложившихся условий производства и на различных типах и подтипах почв в различных вариантах:

без внесения удобрений;

с внесением только органических;

с внесением только минеральных;

с внесением органических и минеральных удобрений.

Для того чтобы реализовать предложенные математические модели на практике, был разработан программный комплекс. Вид экранной формы при активации программы представлен на рисунке 1.

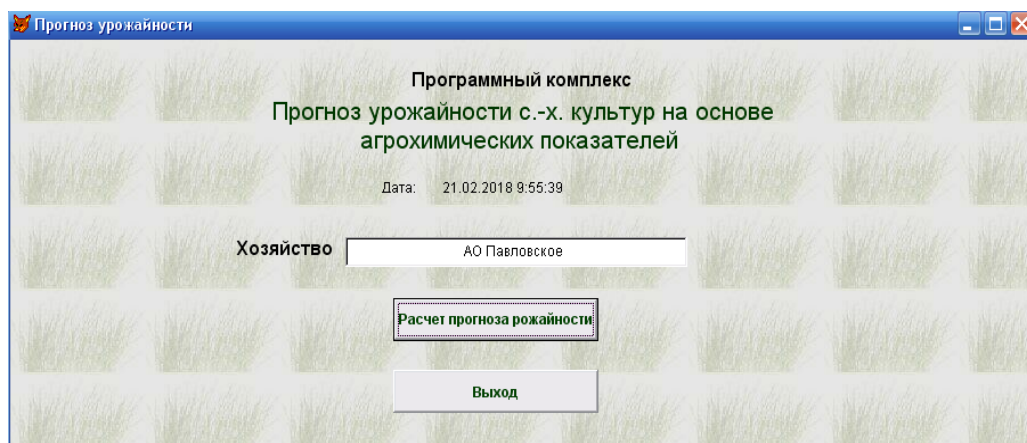


Рисунок 1 – Главная форма

Далее в этой форме активируется кнопка «Расчет прогноза урожайности» и на экране появится форма (рисунок 2).

Прогноз урожайности с.-х. культур

Подразделение: 4      Севооборот: 1      Год: 2018

Ввод данных

№ севооборота	№ поля	№ участка	Культура	Тип почвы	Мех. состав	Агрохимические показатели почвы				Площадь поля, га	Предшественник	Урожайность предш., ц/га	Запахка остатков предш., да, нет	Внесение удобрений				Азот почвы, мг/100 г
						Гумус, %	Кислотность, рН	Фосфор, мг/100г	Калий, мг/100г					Орг. д.в., кг/га	Азот, д.в., кг/га	Фосфор, д.в., кг/га	Калий, д.в., кг/га	
1	1	1	1420	160	3	1.60	5.60	5.00	6.00	83.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	2	1	1420	160	3	2.00	5.70	10.00	12.00	3.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	3	1	1420	160	3	1.70	5.70	7.00	8.00	22.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	4	1	1420	160	3	1.90	6.00	9.00	11.00	9.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	5	1	1420	160	3	1.80	5.80	8.00	10.00	52.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	6	1	1420	160	3	2.50	5.90	10.00	12.00	16.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	7	1	1420	160	3	2.40	6.10	12.00	14.00	4.0	1140	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	

Расчет прогноза

Выход

Рисунок 2 – Входная информация

В этой форме пользователю предлагается заполнить таблицу с данными, которые включают в себя следующие показатели: номер севооборота, поля, участки; код культуры; код типа почвы; код механического состояния, почвенный гумус, рН, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O; площадь поля, урожайность предшественников; запахка остатков предшественника; внесение органических, фосфорных и калийных удобрений.

После заполнения входной информации активируется кнопка «Расчет прогноза» и появится форма с расчетной информацией (рисунок 3).

Прогноз урожайности с.-х. культур

Прогноз урожайности с.-х. культур (ц/га)

№ севооборота	№ поля	№ участка	по рН	по азоту	по фосфору	по калию
1	1	1	37.70	22.59	20.26	24.76
1	2	1	40.38	32.11	42.20	50.58
1	3	1	40.38	25.03	29.20	33.60
1	4	1	47.94	29.79	37.93	46.43
2	5	1	43.00	27.43	33.59	42.21
2	6	1	45.53	43.08	42.20	50.58
2	7	1	50.21	40.97	50.57	58.71
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00

№ севооборота	№ поля	№ участка	Продукция растениеводства	Тип почвы	Агрохимические показатели почвы				Площадь поля, га	Наименование предшественника	Урожайность предш., ц/га	Запахка остатков предш., да, нет	Внесено удобрений				Азот почвы, мг/100 г
					гумус, %	кислотность, рН	фосфор, мг/100г	калий, мг/100г					Орг. д.в., кг/га	Азот, д.в., кг/га	Фосфор, д.в., кг/га	Калий, д.в., кг/га	
1	1	1	Ячмень яровой	160	1.60	5.60	5.00	6.00	83.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	20.26
1	2	1	Ячмень яровой	160	2.00	5.70	10.00	12.00	3.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	32.11
1	3	1	Ячмень яровой	160	1.70	5.70	7.00	8.00	22.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	25.04
1	4	1	Ячмень яровой	160	1.90	6.00	9.00	11.00	9.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	29.80
2	5	1	Ячмень яровой	160	1.80	5.80	8.00	10.00	52.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	27.44
2	6	1	Ячмень яровой	160	2.50	5.90	10.00	12.00	16.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	42.21
2	7	1	Ячмень яровой	160	2.40	6.10	12.00	14.00	4.00	Рожь озимая	25	Нет	0.0	0.0	0.0	0.0	40.97
0	0	0		0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

Выход

Рисунок 3 – Выходная информация

Расчеты проведены без внесения удобрений. Для прогноза урожайности была выбрана культура – ячмень яровой. Предшественником для ячменя являлась рожь озимая. В этой форме представлены две таблицы. Верхняя таблица показывает прогноз урожайности по основным показателям, а нижняя содержит конечный прогноз.

Как видно из рисунка 3, в нижней таблице выделен столбец, содержащий результаты конечного прогноза. Лимитирующим фактором урожайности ячменя ярового выступает подвижный фосфор.

Минимальный прогноз урожайности ячменя ярового, представленный в первой строке этого столбца составляет – 20,26 ц/га.

**Заключение.** Разработанные математические модели и программный комплекс на их основе по прогнозированию потенциально возможных урожаев сельскохозяйственных культур могут использоваться в работе специалистов предприятий АПК Центрального, Центрально-Черноземного, Северо-Западного, Поволжского, Волго-Вятского, Уральского районах. Получившиеся в ходе расчетов результаты могут быть использованы для разработки и корректировки технологий возделывания сельскохозяйственных культур, системы удобрения.

#### **Библиографический список**

1. Каюмов, М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур [Текст] / М.К. Каюмов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
2. Личман, Г.И. Программа определения оптимальных доз внесения удобрений с учетом статистических показателей почвенного азота [Текст] / Г.И. Личман, И.Г. Смирнов, А.И. Козлова, С.А. Белых // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: сб. докл. международной научно-технич. конф. (15–16 сентября 2015 г., г. Москва). – М.: Изд. «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», 2015. – С. 156–161.
3. Никитин, В.С. Математическая модель динамики гумуса почв Нечерноземной зоны Центрального региона РФ [Текст] / В.С. Никитин, В.Б. Любченко // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: сб. науч. тр. ФГБНУ ВНИМС. – Рязань: ФГБНУ ВНИМС, 2015. – №7. – С. 134–138.
4. [https://vuzlit.ru/1528871/metody\\_prognozirovaniya\\_urozhaynosti](https://vuzlit.ru/1528871/metody_prognozirovaniya_urozhaynosti)

### **REVIEW OF THE OPTIMAL PROGRAMMING LANGUAGES AND DEVELOPMENT ENVIRONMENT UNDER CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION FOR RESEARCH INSTITUTIONS**

**E.V. Pestryakov**, research worker

**S.V. Mitrofanov**, candidate of agricultural Sciences, Leading Researcher

**N.S. Panfyorov**, candidate of technical Sciences, Senior Researcher

**D.A. Blagov**, candidate of biological Sciences, Senior Researcher

Institute for Engineering Support of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”

**Abstract.** In this paper consideration is given to the plan for the transition of state organizations to domestic software products and legal acts regulating this process. The authors have carried out an analysis of programming languages and development environments, meeting new criteria for inclusion of software products in the Unified register of computer programs and databases, in which public and state-financed organizations can continue working for the purpose of import substitution.

**Keywords:** development environment, import substitution, legislation, programming languages, open source software.